Учреждение Российской академии наук
Геологический институт Кольского научного центра РАН
Кольское отделение РМО

ТРУДЫ VI ВСЕРОССИЙСКОЙ ФЕРСМАНОВСКОЙ НАУЧНОЙ СЕССИИ

Апатиты, 18-19 мая 2009 г.

Апатиты, 2009 г.

УДК 548.0

ISSN 2074-2479

Труды VI Всероссийской (с международным участием) Ферсмановской научной сессии.
Апатиты, 18-19 мая 2009 г. – Апатиты: Изд-во ООО K & M, 2009. – 308 с.

В сборнике представлены Труды Всероссийской Ферсмановской научной сессии, ежегодно проводимой Геологическим институтом КНЦ РАН и Кольским отделением РМО и традиционно освещающей новейшие результаты в изучении геологии, геофизики, петрологии, геохимии, металлогении, общей, технологической и экспериментальной минералогии, а также истории освоения Кольского региона и сопредельных территорий.

Труды представляют интерес для широкого круга геологов и студентов геологических вузов, а материалы исторической секции, посвящённой в этом году 80-летию ОАО "Апатит" – также для исследователей и любителей истории становления горно-геологической отрасли на Европейском Севере России.

Главный редактор – д.г.-м.н., профессор **Ю.Л. Войтеховский**
Редакторы: к.г.-м.н. **Т.В. Рундквист**, к.г.-м.н. **А.В. Мокрушин**

Подготовка материалов и макетирование: **Н.А. Мансурова, Л.Д. Чистякова, Е.В. Макарова**
Фоторепортаж: **И.С. Красоткин, А.В. Мокрушин, А.Д. Токарев, С.А. Хитров**

Издано при финансовой поддержке
Российского фонда фундаментальных исследований (грант 09-05-06019-г)

РФФИ

и департамента экономического развития правительства Мурманской области.

© Коллектив авторов, 2009
© Учреждение РАН Геологический институт КНЦ РАН, 2009
© Кольское отделение Российского минералогического общества, 2009

ОТКРЫТИЕ VI ВСЕРОССИЙСКОЙ ФЕРСМАНОВСКОЙ НАУЧНОЙ СЕССИИ

Глубокоуважаемые коллеги, гости нашего города и сотрудники Кольского НЦ РАН!

С огромным удовольствием приветствую вас в этом Актовом зале, где проводятся наши самые торжественные мероприятия, и объявляю VI Всероссийскую (с международным участием) Ферсмановскую научную сессию открытой!

Позвольте сообщить некоторые факты из её истории. Ежегодная весенняя ФНС была задумана нами в память о 1-ой Полярной конференции, проходившей в Хибиногорске, Нивастрое и Кандалакше 9-12 апреля 1932 г. и определившей основные направления научного изучения и хозяйственного освоения Кольского полуострова. Открывая конференцию, акад. А.Е. Ферсман сказал следующее: “Разрешите открыть занятия 1-й Полярной конференции научно-исследовательских институтов, входящих в состав и работающих под эгидой НИСа Наркомтяжа. Мы собрались здесь для того, чтобы в деловой обстановке вместе с работниками мест общими силами проработать те большие проблемы, которые стоят на очереди в развитии как Хибинской проблемы, так и связанных с ней округов Кольского полуострова и северной Карелии. Такая конференция, которую мы открываем сегодня здесь, собирается, наверное, впервые во всем мире. Это первая Полярная конференция, где собираются работники научно-исследовательских институтов вместе с учреждениями и практическими работниками с мест. Наша Полярная конференция собирается на том месте, где два года тому назад стоял сплошной лес. Это первая конференция, которая намечает в плановом порядке новые овладения полярным севером, и мы надеемся, что наша конференция проработает и установит ту связь работников мест с работниками центральных учреждений, которая так необходима, и создаст новые стимулы для углубления нашей общей работы, чем мы еще больше укрепим и усилим энтузиазм строителей, работающих над созданием новых строек в условиях полярной тундры” [Стенограмма конференции, Научный архив КНЦ РАН]. Цели ФНС гораздо скромнее. Но объединение усилий различных академических, отраслевых институтов и производственных организаций в комплексном изучении региона сразу было принято в качестве её идейного стержня.

ФНС I состоялась 22-23 апреля 2004 г. в честь 120-летия со дня рождения акад. А.Е. Ферсмана и А.Н. Лабунцова. ФНС II прошла 18-19 апреля 2005 г. в честь 140-летия со дня рождения В. Рамзая, иностранного чл.-корр. РАН. ФНС III состоялась 27-28 апреля 2006 г. в честь 50-летия Кольского отделения РМО. ФНС IV прошла 4-6 июня 2007 г. в честь 90-летия со дня рождения акад. АН СССР А.В. Сидоренко и д.г.-м.н. И.В. Белькова. ФНС V состоялась 14-15 апреля 2008 г. в честь д.г.-м.н. Е.К. Козлова. Структура ФНС менялась, что подчёркивает её живой характер. С ФНС II возникла и набрала силу секция по истории геологического изучения региона. Сегодня в рамках этой секции вас ожидает подлинный подарок – презентация стенограммы 1-ой Полярной конференции, изданной впервые во исполнение резолюции № 16: “Считать необходимым издать труды конференции. В финансировании издания просить участие на равных началах трест «Апатит» и комитет по химизации при Госплане СССР”. В этом году исполняется 80 лет ОАО “Апатит”. Именно поэтому в исторической секции большая часть докладов посвящена апатитовой проблеме. С ФНС V стала постоянной секция лауреатов академической премии им. А.Е. Ферсмана. В этом году в ней выступят д.г.-м.н. А.П. Хомяков и д.г.-м.н. О.Б. Дудкин, заочно примет участие д.г.-м.н. Б.Е. Боруцкий. География участников все время расширялась и перевалила за Урал. В разные годы в ФНС приняли участие коллеги из Германии, Дании, Индии, Канады, Финляндии. В ФНС VI впервые примет участие д-р Дж. Глэсби, Англия, которого я искренне приветствую. Настоящим подарком для нас является участие в конференции к.г.-м.н. Е.Б. Халезовой, детство которой прошло в “Тиетте”. Её воспоминания об акад. А.Е. Ферсмане и его соратниках, заложивших фундамент науки на Кольском Севере, доставят нам истинное наслаждение.

ФНС VI проводится под эгидой Геологического института КНЦ РАН и Кольского отделения РМО при финансовой поддержке РФФИ (грант 09-05-06019-г) и Департамента экономического развития Правительства Мурманской обл. Почётный президиум: акад. РАН В.Т. Калинников – председатель КНЦ РАН, акад. РАН Ф.П. Митрофанов – советник РАН, акад. РАН Д.В. Рундквист – президент РМО. Я рад сообщить, что в адрес конференции поступили приветствия от акад. РАН Ф.П. Митрофанова, акад. РАН Д.В. Рундквиста и лауреатов премии им. А.Е. Ферсмана д.г.-м.н. В.С. Балицкого, д.г.-м.н. Б.Е. Боруцкого, д.г.-м.н. В.В. Дистлера, а также к.г.-м.н. М.Е. Раменской. Все они желают нам успешной работы.

Сегодня – Международный день музеев. В работе ФНС в разные годы принимали участие сотрудники Музея геологии и минералогии Геологического института КНЦ РАН, Музея истории изучения и освоения Европейского Севера КНЦ РАН, участка систематизации и хранения уникального каменного материала Мурманской ГРЭ (г. Апатиты), Музея истории Хибиногорского технического колледжа, Горно-геологического музея ОАО “Апатит”, Историко-краеведческого музея с мемориалом С.М. Кирова (г. Кировск, пос. 25-й км), Музея истории г. Мончегорск, Музея цветного камня им. В.Н. Дава (г. Мончегорск). Поздравляю всех с профессиональным праздником!

Председатель оргкомитета ФНС VI
директор Геологического института КНЦ РАН
председатель Кольского отделения РМО, д.г.-м.н., проф. Ю.Л. Войтеховский

Глубокоуважаемые коллеги!

Искренне поздравляю вас с открытием VI Всероссийской Ферсмановской научной сессии. Стало хорошей традицией собираться в весенние дни в Геологическом институте КНЦ РАН для обсуждения самых актуальных вопросов геологии Кольского полуострова и сопредельных территорий, как бы сверяя свои научные программы перед очередным полевым сезоном. Я весьма удовлетворён тем, что, несмотря на экономические трудности текущего времени, Геологическому институту КНЦ РАН и Кольскому отделению РМО удаётся ежегодно проводить научную сессию, поддерживая исследовательский тонус у всех, кто изучает геологию Кольского Заполярья. Как и в предыдущие годы, эта сессия соберёт широкий круг специалистов – от историков науки до геохимиков, минералогов, геологов и химиков-технологов, занятых переработкой минерального вещества – отражая широчайший круг интересов акад. А.Е. Ферсмана. Характерная черта Ферсмановской научной сессии, которую следует сохранить – её демократичность и преемственность, сочетание докладов маститых учёных и научной молодёжи.

Ещё раз поздравляю всех участников и желаю VI Всероссийской Ферсмановской научной сессии успешной работы.

Советник РАН, акад. РАН Ф.П. Митрофанов

Глубокоуважаемые участники VI Всероссийской Ферсмановской научной сессии!

Приветствую вас в связи с началом работы конференции! С удовлетворением отмечаю, что Ферсмановская научная сессия стала регулярным мероприятием Российской академии наук и Российского минералогического общества. У Ферсмановской научной сессии уже сформировался свой неповторимый стиль. Это сочетание профессионализма, широкого охвата научной проблематики (“минералогия во всём пространстве сего слова”), демократизм и уважительное отношение к истории своего региона, одного из богатейших минеральными ресурсами на просторах нашей огромной страны. В работе сессии ежегодно принимают участие сотрудники геологических, минералогических и исторических музеев, расположенных в Апатитах, Кировске и Мончегорске. Считаю символичным, что открытие Ферсмановской научной сессии в этом году совпало с Международным днём музеев. Благодарю всех за активную работу в Российском минералогическом обществе.

Еще раз поздравляю вас с открытием VI Всероссийской Ферсмановской научной сессии и желаю вам успеха.

Президент РМО, акад. РАН Д.В. Рундквист

ИДЕИ А.Е. ФЕРСМАНА О КОМПЛЕКСНОМ ОСВОЕНИИ КОЛЬСКОГО ЗАПОЛЯРЬЯ: 80 ЛЕТ СПУСТЯ

В.П. Петров
Президиум Кольского научного центра РАН, г. Апатиты

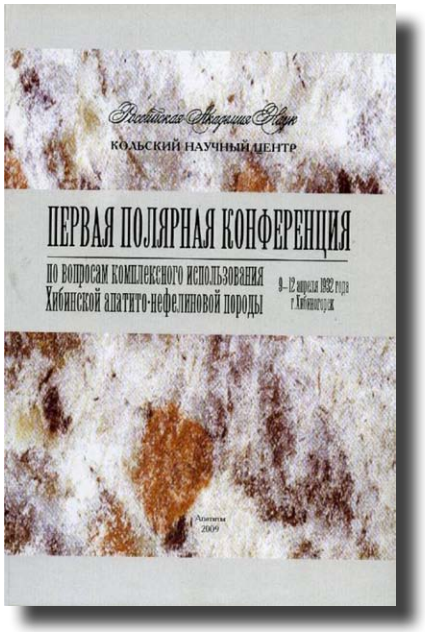
АКАДЕМИЯ НАУК СССР
ХИБИНСКАЯ ГОРНАЯ НАУЧНАЯ СТАНЦИЯ
(название структурной части)
Фонд № 1 /ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ЛАБОРАТОРИЯ /
Опись № 6
Ед. хр. № 559
№ 11
(по номенклатуре–делопроизводственный)
РЕЗОЛЮЦИИ И СТЕНОГРАММЫ
ПЕРВОЙ ПОЛЯРНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ В ХИБИНОГОРСКЕ
1932 год
(заголовок единицы хранения)
Начато "—" 19—г.
Окончено "—" 19 32 г.
На 426 листах.
Хранить ПОСТ. лет (по перечню ст. №—)
г. Кировск, вид. «Кировский рабочий», зак. 761, тир. 10000

Ежегодные Ферсмановские научные сессии, организуемые Геологическим институтом КНЦ РАН, стали хорошей традицией. Первая сессия состоялась в апреле 2004 г. Знаменательно, что именно в апреле, но в 1932 г. состоялась Первая Полярная конференция. Акад. А.Е. Ферсман был её инициатором и творческой душой, вместе с В.И. Кондриковым, тогдашним директором треста «Апатит», он руководил конференцией. Поэтому закономерно, что совместными усилиями Президиума Центра и Геологического института КНЦ РАН к настоящей Ферсмановской сессии подготовлено издание хранившейся в фондах научного архива КНЦ РАН стенограммы Конференции. Она была дополнена различными иллюстративными материалами и научными комментариями наших ведущих специалистов – профессоров А.Ш. Гершенкопа, О.Б. Дудкина, заслуженного геолога РФ Е.А. Каменева, Д.Л. Мотова, В.Н. Переверзева. Своё видение значения конференции и издания её материалов мы попросили высказать председателя КНЦ акад. В.Т. Калинникова и директора ОАО «Апатит» Ю.П. Шапошника.

Полярная конференция 1932 г. имела важное значение для развития Хибинского края. Учитывая живой интерес к Конференции со стороны трудовых коллективов и всех жителей района, её ход подробно освещался

средствами массовой информации. Некоторые газетные и журнальные публикации того времени включены в издание. Они, на наш взгляд, органично дополняют стенограмму Конференции, раскрывают отдельные ракурсы социально-политической обстановки того времени.

Редколлегия выражает особую благодарность за консультации и неоценимую помощь в поиске библиографических материалов об участниках конференции, в предоставлении копий архивных и музейных фотоматериалов сотрудникам Мурманского областного краеведческого и Кировского историко-краеведческого музеев, государственного архива Мурманской области, Музея-архива изучения и освоения Европейского Севера Центра гуманитарных проблем Баренц региона КНЦ РАН, библиотеки КНЦ РАН и Геологического института КНЦ РАН. Основная редакционная работа по подготовке издания выполнена проф. Ю.Л. Войтеховским, к.и.н. Е.И. Макаровой, А.Д. Токаревым и руководителем РИО КНЦ РАН М.С. Строковым.



Полярная конференция 1932 г. была организована и проведена под эгидой Бюро НИСа Народного комиссариата тяжелой промышленности СССР. Она стала не только первой региональной, но и пионерной в мировой практике по целевому назначению и тематическому содержанию научно-практической конференцией. Это был первый новаторский опыт плодотворного объединения усилий ученых Академии наук, работников многочисленных отраслевых научных учреждений, специалистов-хозяйственников Кольского края, Карелии и других регионов страны для решения сложнейших проблем создания мощного горно-химического комплекса в условиях неосвоенного Севера, на базе неведомого мировой практике минерального сырья. Как подчеркивал В.И. Кондриков в своём вступительном слове, «на этой конференции мы имеем в виду создать единение практических работников на местах с научно-исследовательскими организациями и наоборот». Оригинальна и программа конференции, которая включала напряженные пленарные заседания («занятия» – по определению А.Е. Ферсмана) и дискуссии, работу специальных комиссий и рабочих групп, детальное ознакомление с действующим рудником и производственными предприятиями Хибин, а также посещение перспективных геологических объектов Монче-тундры и строительных площадок Кандалакшского района.

Конференция работала с 9 по 12 апреля 1932 г. в Хибиногорске (нынешний Кировск), на базе Горной станции Академии наук, на Нивастрое и в Кандалакше. Фактически она имела своеобразное продолжение в Петрозаводске, где уже на следующий день 13 апреля многие участники Полярной конференции приняли участие в Первой (это было время, когда почти все проводилось впервые) сессии Карельского научно-исследовательского института, которая была посвящена определению главных задач и направлений научно-исследовательских работ по научному обеспечению экономического развития Карелии. Ныне материалы Полярной конференции стали архивными документами специализированных фондов, что ограничивает возможности ознакомления и работы с ними широкого круга научной и производственной общественности. Поэтому сама идея публикации стенограммы Конференции, на наш взгляд, весьма интересна и продуктивна, особенно если учесть, что один из пунктов решения самой Конференции, предусматривавший издание её трудов, не был в свое время выполнен в полной мере. Актуальность и целесообразность издания стенограммы Конференции в наши дни предопределяются и могут рассматриваться в различных аспектах и с различных позиций.

Хибиногорский рабочий

ОРГАН ХИБИНОГОРСКОГО Горкома ВКП(б), Горсовета и Горпрофсовета

2-й год издания

Выходит ежедневно | Цена № 5 к.

1 апреля 1932 г. № 76 (230)

Первая полярная конференция научно-исследовательских институтов в Хибиногорске

В Хибиногорске с 9 по 11 апреля с. г. состоится первая полярная конференция научно-исследовательских институтов и учреждений по вопросам комплексного использования хибинской апатито-нефелиновой породы.

Конференция откроется вступительным докладом тов. Кондрикова о деятельности треста. Будут заслушаны отчеты о работах по апатито-нефелиновым породам следующих организаций: Академии наук, Гос. института прикл. химии (ГИПХ), Научного института по удобрениям (НИУ), Механобра, Лен. геол.-развед. треста (ЛГРТ), а также отчетный доклад Нивастроя. Гипрохим сообщит о состоянии работ по проектированию и постройке Сев. хим. комбината. Будет обсуждаться пятилетний план развития горно-химического комбината.

***

В связи с проведением полярной конференции в Хибиногорске предполагается одновременно открытие Горной станции Академии наук на М. Вудъяре и станции общества пролетарского туризма и экскурсий.

***

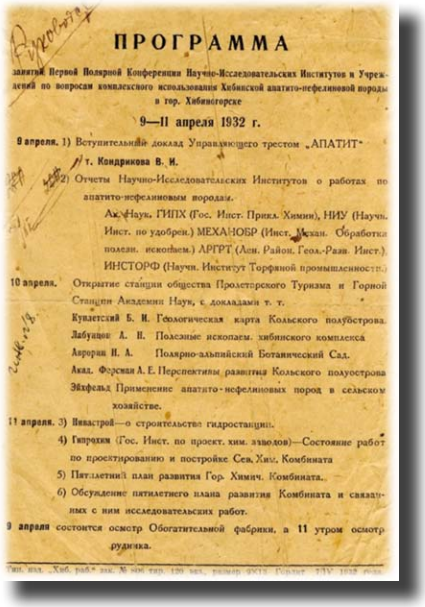
На открытии горной станции акад. А. Е. Ферсман сделает доклад о перспективах развития Кольского полуострова.

П. Семеров.

1. Хибинская эпопея 1920-30-х гг., по праву названная А.Е. Ферсманом героической, освещена в воспоминаниях её участников и специальных научных изданиях. И в наши дни она периодически является одной из волнующих тем различных средств массовой информации. Однако, в отсутствие привычных для современного человека документальных аудио- и видеоматериалов того времени, живым свидетелем минувшей эпохи могут быть только не адаптированные, не приглаженные и не подправленные суровой рукой редактора документы. Именно таким документом является стенограмма Полярной конференции, которая «запечатлела» живую речь её участников, отражает в ощутимой форме и передает колорит, идеологический, морально-нравственный дух времени с его накалом страстей, борьбой и пафосом идей, различных подходов к решению обсуждавшихся на конференции научных и производственных проблем.

2. В работе конференции приняли участие с докладами и выступлениями в дискуссиях многие ученые и специалисты, партийные и хозяйственные руководители. С докладами и в дискуссиях выступили 47 человек. Имена и реальные заслуги некоторых из них широко известны, почитаемы населением Мурманской области и

всей страны. Прежде всего, это относится к выдающемуся ученому, акад. А.Е. Ферсману и руководителю всего хозяйственного освоения юга Кольского полуострова, директору треста «Апатит» В.И. Кондрикову, которые были главными организаторами и «душой» Полярной конференции. Это относится и к ряду других ученых и специалистов – геологов, ботаников, горняков. С другой стороны, информация о многих активных участниках Конференции очень скудна или практически отсутствует. Стенограмма и сопровождающий её справочно-информационный аппарат воскрешают имена ученых, практиков, партийных и хозяйственных работников, вложивших свои знания, опыт, жизненные силы в освоение Кольского края.



ПРОГРАММА

занятий Первой Полярной Конференции Научно-Исследовательских Институтов и Учреждений по вопросам комплексного использования Хибинской апатито-нефелиновой породы в гор. Хибиногорске

9—11 апреля 1932 г.

9 апреля. 1) Вступительный доклад Управляющего трестом „АПАТИТ" т. Кондрикова В. И.

2) Отчеты Научно-Исследовательских Институтов о работах по апатито-нефелиновым породам.

Ак. Наук. ГИПХ (Гос. Инст. Прикл. Химии), НИУ (Научн. Инст. по удобрен.) МЕХАНОБР (Инст. Механ. Обработки полезн. ископаем.) АРГРТ (Лен. Район. Геол.-Разв. Инст.) ИНСТОРФ (Научн. Институт Торфяной промышленности).

10 апреля. Открытие станции общества Пролетарского Туризма и Горной Станции Академии Наук, с докладами т. т.

Куплетский Б. И. Геологическая карта Кольского полуострова.

Лабунцов А. И. Полезные ископаем. хибинского комплекса

Аврорин Н. А. Полярно-альпийский Ботанический Сад.

Акад. Ферсман А. Е. Перспективы развития Кольского полуострова

Эйхфельд Применение апатито-нефелиновых пород в сельском хозяйстве.

11 апреля. 3) Ивастрой—о строительстве гидростанции.

4) Гипрохим (Гос. Инст. по проект. хим. заводов)—Состояние работ по проектированию и постройке Сев. Хим. Комбината

5) Пятилетний план развития Гор. Химич. Комбината.

6) Обсуждение пятилетнего плана развития Комбината и связанных с ним исследовательских работ.

9 апреля состоится осмотр Обогатительной фабрики, а 11 утром осмотр рудника.

3. Стенограмма Конференции содержит ценнейшие материалы для исследователей развития науки начального советского периода, её роли в социально-экономическом развитии страны. Сейчас трудно представить, что минуло только 10 лет после гражданской войны, страна только-только стала подниматься с колен экономической разрухи, а в Конференции уже приняли участие представители более 15 научных институтов, созданных или получивших второе рождение после Октябрьской революции. Некоторые из них в дальнейшем стали флагманами академической и отраслевой науки советского периода. Подобный подъем науки резко контрастирует с её состоянием в наши дни, когда многие институты, особенно отраслевого сектора науки, переживают нелегкую судьбу, а некоторые прекратили существование или находятся на грани исчезновения. Заслуживает внимания и конкурентная среда в научной сфере, которая уже в то время развивалась и стимулировала поиск оптимальных решений при исследовании геолого-поисковых, технологических, энергетических и других проблем.

4. Особый интерес Материалы Конференции представляют для ученых Кольского НЦ РАН, так как именно в 1932 г. начался новый этап становления академической науки в Кольском Заполярье. Состоявшееся на второй день конференции 10 апреля 1932 г. открытие Горной станции Академии наук имело всесоюзное значение. Оно стало первым шагом в создании на периферийных территориях, в удаленных неосвоенных районах сети стационарных учреждений Академии наук, из которых позднее выросли крупные комплексные региональные научные центры. Идея создания «опорной точки» в Хибинах для выполнения, главным образом, летних экспедиционных работ, их логистической поддержки сформулирована А.Е. Ферсманом ещё в 1927 г. в обращении в Президиум АН СССР. А уже в 1930 г. с помощью треста «Апатит» построен первый дом, а затем начато ускоренное строительство здания, получившего название «Тиетта» - по существу, первого лабораторного корпуса комплексного исследовательского учреждения на Кольской земле.

Фото: Открытие Хибинской горной станции АН СССР 10 апреля 1932 г. Участники Первой Полярной конференции во главе с акад. А.Е. Ферсманом. (Музей-архив истории изучения и освоения Европейского Севера ЦГП КНЦ РАН.)

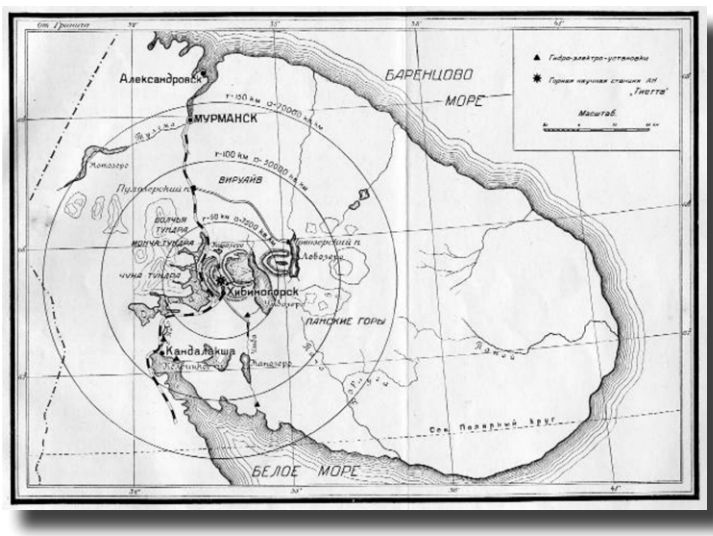
А.Е. Ферсман так определял задачи создаваемой научной станции: «В эти первые годы задача станции заключалась исключительно в том, чтобы обслужить большие летние экспедиционные работы. Но жизнь развивалась, потребности апатитового строительства делались шире и шире, и нам стало ясно, что задача станции в Хибинах заключается не только в том, чтобы быть опорной точкой для летних работ, но и в том, чтобы постепенно врастать в большое строительство, которое идет в Хибиногорске, и вовлекаться в область применения и использования всего сложного переплета химических и технологических процессов, которые должны вытекать из свойства природных тел. Поэтому стала постепенно назревать идея создания лаборатории. Сначала эта лаборатория помещалась всего на 2½ кв. м. в старом доме, но из нее постепенно вырастала идея создания большой лаборатории и постройки большого дома. Наша станция превращалась силой самой жизни из опорной точки для летних экспедиций в более крупную единицу – в стационарное исследовательское учреждение. Так возник проект зданий, сделанный два года тому назад. С весны прошлого года мы могли приступить к началу строительства и надеемся, что к августу этого года мы сможем его окончательно закончить. Этим, в сущности, заканчивается второй этап нашей работы. Первый этап заключался в научном освоении Хибин, а второй – это содействие в техническом освоении и технологическом использовании. Намечается еще 3-й этап – это огромное значение, как известного рода школы, как культурного учреждения научно-просветительского характера … станция должна явиться не только центром,

в котором могли бы многочисленные рабочие экскурсии получать освещение научных проблем, научных постановок тех или иных задач, которые ставятся – она должна явиться пристанищем для научных исследователей, которые приезжают сюда учиться на хибинском материале, учиться на хибинском строительстве и тем достижениям, которые сделаны, а может быть даже и сделанным ошибкам, чтобы содействовать дальнейшему развитии нашей стройки». Именно тогда А.Е. Ферсман дал чёткую трактовку лопарского названия научной станции «Тиетта», объединяющего три понятия – школа, наука, знания.

Именно в эти годы заложены основы тесного плодотворного научно-технического и хозяйственного сотрудничества руководства и коллективов треста «Апатит» и учреждений Кольского научного центра РАН на долгую перспективу.

5. По своей значимости научные и производственные проблемы и решения Полярной конференции выходили за рамки узких региональных интересов, они имели принципиальное значение для развития всей страны, а опыт промышленного освоения северных регионов – воистину мировое значение. Известны два крайних, принципиально различающихся подхода к освоению диких арктических пустошей – так называемый «вахтовый метод» (модифицированный метод римского императора Юлия Цезаря – пришел, увидел, взял и ушёл) и впервые апробированный в Мурманском регионе советский подход, предполагающий комплексное освоение территории с созданием соответствующей производственной, социально-бытовой и культурно-образовательной инфраструктуры. На заре освоения Хибин выбор пути хозяйственного развития был далеко не бесспорен. Вот как характеризует эту проблему В.И. Кондриков: «Был период в первой половине тридцатых годов, т.е. два года тому назад, когда считали, что можно на два-три миллиона рублей выяснить 2-3 десятка пунктов и вывозить апатит. Здесь больше ничего не делать, а обогатительное дело поставить в Ленинграде. При этом считалось, что не нужно даже железной дороги, а подвозить можно на волах или на оленях. Робость, боязнь, неверие в силы – вот то, что окружало первый период работы. Решительная четкость задания ЦК партии о том, что в Хибиногорске надо разворачивать дело иначе, а именно: строить большое хозяйство, комплексное хозяйство, горно-обогатительное, горно-химическое – все эти оппортунистические настроения отбросила в сторону, и Хибиногорское хозяйство вышло на широкую дорогу своего развития».

К началу XXI века в связи с коренной перестройкой социально-экономической системы страны проблема хозяйственного развития Севера вновь стала злободневной. Практика, выкованная в горниле 1930-40-х гг., предполагавшая комплексное развитие северных регионов с созданием крупных промышленных центров с полным объёмом производственной, социально-бытовой и культурно-образовательной инфраструктуры, стала подвергаться суровой, часто неоправданной, критике, совершенно не учитывающей реалии того времени. А ведь по мысли А.Е. Ферсмана, «строительство и освоение Кольского полуострова является … исключительно важной школой, школой методики освоения северных окраин. В чем эта методика? В одном основном принципе – принципе комплексности. Это тот хозяйственный принцип, который является организационным принципом – это тот новый принцип, который подчиняет новые идеи социалистической стройке, комбинируя все хозяйственные силы вместе, он комбинирует от-



дельные разрозненные производства, сливая и переплетая их…».

В целом, знакомясь с материалами Полярной конференция 1932 г., можно сказать, что в историческом контексте она стала рубежным событием, оказавшим большое влияние на социально-экономическое развитие Кольского края на долгие годы. Это был рубеж в стратегии и тактике изучения и освоения природных ресурсов. Он знаменовался переходом от разрозненных ознакомительных и поисковых экспедиций к систематическим изыскательским, геолого-съемочным и геологоразведочным работам широкого фронта. Это был важный рубеж в развитии научных исследований Академии наук и других научных учреждений, работа которых была объединена неформальной целевой программой по решению единой проблемы научного обеспечения комплексного использования различных полезных ископаемых, биологических, энергетических и других ресурсов Кольского полуострова и смежных районов Севера. Это и существенное изменение стиля и механизмов взаимодействия науки и практики, государственных, партийных и хозяйственных органов, местных и союзных. Именно на этой конференции впервые были очерчены контуры и направления будущего развития на Кольском полуострове не только горнорудного и горно-химического производства, но также целого комплекса новых направлений, таких как промышленное и гражданское строительство, энергетика, транспортные системы, северное сельское хозяйство и другие. Намеченные планы зафиксированы в четких пунктах решений Конференции.

Реальная жизнь внесла коррективы в программу индустриального развития Кольского края. Некоторые из планировавшихся строек и производств не были реализованы, некоторые воплощены частично, в редуцированном объеме. Не была реализована главная идея Конференции – создание Кандалакшского химического комбината с заводами по переработке нефелина и апатита. На Кандалакшской площадке планировалось создать не менее восьми связанных заводов с получением окиси алюминия, различных фосфорных продуктов, в том числе несколько типов удобрений, цемента и т.д. Переработка нефелина была позднее организована в Ленинградской области (Пикалевский комбинат). Не были созданы местные предприятия по получению редких металлов из руд Хибин и Ловозера, по добыче и переработке некоторых других полезных ископаемых. Анализ и оценка причин, которые повлияли на реализацию широкой производственной программы Полярной конференции, является задачей специальных исследований.

С уверенностью можно отметить, что идеи А.Е. Ферсмана о создании на Кольском полуострове системы связанных горнорудных и химико-металлургических предприятий, обеспечивающих глубокую переработку уникальных минеральных ресурсов с учётом современной экономической конъюнктуры и требований по защите окружающей среды, живы и остаются в центре внимания учёных, ждут практической реализации. Особенно были усилены исследования, направленные на технологическое и экономическое обоснование решения проблемы комплексного использования полезных ископаемых региона в послевоенные годы. Казалось, что она вот-вот получит свое решение. Уже в 1984 г. по инициативе и под руководством чл. - корр. АН СССР Г.И. Горбунова была разработана «Программа создания в Мурманской области единого межотраслевого горнопромышленного комплекса», которая была одобрена Правительством СССР. В 1984 г. создана Межведомственная территориальная комиссия Госплана СССР по развитию КГПК. В 1985 г. разрабатывается Программа комплексного использования минерального сырья Кольского полуострова, которая в 1986 г. утверждается Постановлением СМ СССР № 1226. Именно в порядке реализации этого Постановления Отдел экономических исследований КФ АН СССР был преобразован в Институт экономических проблем КФ АН СССР, который возглавил чл. - корр. АН СССР Г.П. Лузин. Наши экономисты приняли активное участие в подготовке предложений в широко известное Постановление ЦК КПСС и СМ СССР от 10.03.1988 г. № 338 «О мерах по ускорению экономического и социального развития Мурманской области в 1988-1990 гг. и в период до 2005 г.». Это Постановление имело для нас важное значение, так как именно в ходе его практической реализации КФ АН СССР придан статус регионального научного центра Академии наук, созданы три новых института (ИППЭС, ИИММ, ИФТПЭС), предусмотрены значительные финансовые и кадровые ресурсы для дальнейшего развития. В развитие этого Постановления ЦК КПСС и СМ СССР от 10 марта 1988 г. № 338 создана рабочая группа под руководством Председателя президиума КНЦ акад. РАН В.Т. Калинникова и председателя Кольской межведомственной территориальной комиссии при Госплане СССР П.К. Маркова по разработке Концепции совершенствования управления комплексным использованием сырья Кольского региона. Такая концепция была подготовлена уже в 1988 г. Разработанная схема перспективных межотраслевых связей в Кольском горнопромышленном комплексе основывалась на разработках КНЦ и других институтов, согласованных с основными предприятиями региона.

Но началось разрушение государственной экономической системы, переход её в кризисное состояние, упадок производства. Все обнадеживающие планы и программы были свернуты. На смену принципам рационального комплексного использования полезных ископаемых пришли новые принципы – получение быстрой прибыли любой ценой. Все системообразующие горнорудные и металлургические предприятия Мурманской об-

ласти были акционированы. Их интерес к решению проблемы рационального комплексного использования перерабатываемых руд, использованию отечественных научных инноваций и технологий резко снизился. Только к началу нового века, на стадии выхода из кризиса, наметилась тенденция внимания к науке, началась реализация в промышленных масштабах некоторых инновационных технологий, в частности, гидрометаллургических, обеспечивающих использование более широкого круга полезных компонентов руд, а также интересы охраны окружающей среды. В числе таких примеров можно отметить освоение в ОАО «Апатит» получения коагулянтов-флокулянтов и новых взрывчатых веществ из отходов апатитового производства, планируемое строительство в Прихибинье завода по производству фосфорной кислоты с утилизацией содержащихся в апатите редких элементов и фтора. Созданы новые гидрометаллургические ячейки на комбинате «Североникель» по производству кобальта, меди, редких металлов.

В советский период Мурманская область, как и предсказано А.Е. Ферсманом, была одним из основных поставщиков минерального сырья для производства цветных, редких и редкоземельных элементов и их соединений стратегического назначения. К примеру, поставки лопаритового концентрата из Ловозера (комбинат «Севредмет») обеспечивали потребности «Средмаша» в Nb на 80 %, в Ta – до 50 % и по редкоземельным элементам – до 75 %. После распада СССР два основных переработчика лопаритового концентрата оказались за рубежом (комбинат «Силмет» в Эстонии, Ульбинский металлургический завод в Казахстане), третий – Соликамский магниевый завод, осуществлявший финишное производство высокочистых металлов, превратился в акционерное общество с большой долью иностранного влияния. Это привело к почти полному банкротству бывшего флагмана редкометальной горной промышленности – Ловозерского ГОКа.

Кольский научный центр в новых экономических и правовых условиях активно продвигает идею создания в регионе государственной горно-химической корпорации по производству стратегического минерального сырья и стратегических материалов, в том числе с использованием нанотехнологий, на базе месторождений Ловозера, Хибин, Африканды, а в перспективе и других рудных районов области. Эта идея получила определенное понимание и поддержку в Госдуме и правительстве РФ. В 2008 г. Кольский научный центр разработал Стратегию социально-экономического развития Мурманской области до 2025 г. В разработке Стратегии принимали участие практически все наши институты. Стратегия проанализировала несколько вариантов развития области – инерционный, энерго-сырьевой и инновационный. Два последних в различной мере учитывают необходимость и перспективность диверсификации промышленности региона на принципах, сформулированных А.Е. Ферсманом ещё на Первой Полярной конференции 1932 г., с учетом инновационных предложений институтов Центра, в том числе и по государственной горно-химической корпорации по производству стратегических материалов. Но грянул мировой экономический кризис и возникли новые проблемы, сроки реализации планируемых мероприятий отодвигаются или стали неопределенными.

Вместе с тем можно надеяться, что насущные интересы обеспечения экономической и социальной безопасности, обороноспособности государства, обостряющиеся в условиях глобального экономического кризиса, будут стимулировать реализацию предложений и разработок науки. Нам необходимо быть оптимистами и наращивать свои усилия в этом направлении. И в этом аспекте материалы Первой Полярной конференции позволяют лучше увидеть «подводные камни», понять трудности и проблемы, стоявшие на пути практической реализации принципов комплексного использования полезных ископаемых в начале Хибинской эпопеи и возникающие в изменившихся экономических условиях, с учетом институциональных, экологических, политических требований и ограничений нового времени. Необходимо подчеркнуть ещё один геополитический аспект. Он заключается в том, что опыт и подходы к делу освоения Кольского полуострова пионеров «Хибинской эпопеи» в наши дни вновь приобретают особую актуальность и востребованность. После длительного, почти двадцатилетнего пренебрежения или, мягко говоря, невнимания к своим арктическими территориями, Россия вновь повернулась лицом к Северу. В 2008 г. утверждены «Основы государственной политики Российской Федерации в Арктике на период до 2020 г. и дальнейшую перспективу». Масштабность и сложность задач, поставленных в Концепции, выходят за рамки всех предыдущих программ и планов развития Арктической зоны России. Поэтому необходим выбор новой стратегии, адекватной декларированным целям и принципам. От её решения во многом зависит судьба не только нашего Кольского региона, но и всего Российского Севера.

В заключение стоит отметить, что опубликование материалов Первой Полярной конференции в наступившем 2009 г. является символичным, так как этот год является юбилейным для рожденного 80 лет тому назад первенца горно-химической промышленности на Кольском полуострове треста «Апатит» и города Хибиногорска (Кировска). В 2010 г. исполняется 80 лет и первой стационарной академической организации на Мурмане, выросшей в самый крупный в Заполярье комплексный научный центр РАН.

Доклады лауреатов премии акад. А.Е. Ферсмана

О СООТНОШЕНИИ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА, КРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ И ГЕНЕТИЧЕСКОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ МИНЕРАЛА ПРИ ВЫДЕЛЕНИИ МИНЕРАЛЬНЫХ ВИДОВ И ИХ РАЗНОВИДНОСТЕЙ

Б.Е. Боруцкий
Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН
г. Москва, e-mail: borutzky@ igem.ru

Эта проблема в разных аспектах уже обсуждалась нами в печати [1-5], поэтому остановимся на главном.

Минералогия, так же как и биология - наука *естественно-историческая*. Это означает, что её объекты – минералы должны изучаться как *реальные* образования, возникшие и существующие в конкретной природной обстановке. Мало констатировать, что минерал – это природное химическое соединение, необходимо понимать, что он образовался при сочетании конкретных условий минералообразования и изменялся в соответствии с изменением геологической обстановки в геологическом времени. Тенденция Комиссии по новым минералам, номенклатуре и классификации Международной минералогической ассоциации (КНМНК ММА) ограничить характеристику выделяемых минеральных видов только химическим составом, кристаллической структурой и кристаллохимическими данными, без анализа природной обстановки, в которой минералы данного вида образовались и могут существовать, ведёт к отрыву минералогии от остальных геологических наук, к рассмотрению её как части химии или физики, но не геологии [1].

Предпринятое в последние годы массовое «размножение» минеральных видов по рекомендуемым КНМНК ММА формальным кристаллохимическим критериям (правило доминантности в отдельной структурной позиции), как правило, за счет бывших разновидностей видов, без какого-либо генетического обоснования, ещё более отрывает минералогию от геологии, фактически делает бесполезными с таким трудом получаемые точные минералогические данные для геологической науки. В цикле геохимических наук о природном веществе образуется досадный пробел, а «современный» минералог вновь превращается в кабинетного ученого - алхимика, только вместо золота плодящего когорты формальных новых минеральных видов [1, 3].

Чтобы сразу расставить все точки над «и», согласимся, что и химический состав, и кристаллическая структура, и, следовательно, кристаллохимия как воплощение химического состава в структуре, в пространстве, - есть главные характеристики минералов. Невозможно корректно описать минерал, не охарактеризовав его химического состава и структуры. По особенностям состава и структуры идёт и систематизация минералов, приводящая к выделению таксонов и распределению их по иерархической лестнице. Относительно названия таксонов нет согласия. Но это и не важно. Важно, что систематизация идет по наиболее существенным признакам [4] и в направлении их детализации. Выделяются классы, например: сульфиды, оксиды, силикаты, фосфаты и т.п. При дальнейшей детализации они подразделяются на более мелкие единицы: например, на простые оксиды и сложные, на цепочечные, ленточные, слоистые и каркасные силикаты. Разумеется, возникают случаи, когда не так просто поместить данный минерал в соответствующую иерархическую ячейку. Например, что такое «биопириболы», в структуре которых сочетаются слои биотита, пироксена и амфибола, то есть слоистых, цепочечных и ленточных силикатов? Выделить их в отдельную группу или куда-то «приплюсовать»? Лишний раз нам «напоминают», что минералогия – *естественная* наука, и изучает она то, что есть в природе, а не то, что кому-то хотелось бы видеть. Иногда сталкиваются разные рациональные «логики». Например, ломоносовит – силикат: $Na_{10}Ti_4Si_4P_2O_{26}$, в соболевите $Na_{14}CaMgTi_4Si_4P_4O_{34}F_2$ и квадруфите $Na_{14}CaMgTi_4Si_4P_4O_{34}F_2$ содержание фосфора и кремния равное, а полифит $Na_{17}Ca_3Mg(Ti,Mn)_4Si_4P_6O_{40}F_6$ – без сомнения, уже фосфат. Но три последних «минерала» образуются как *участки* или *зоны в одном и том же* кристаллическом индивиде (?). Их и за самостоятельные минералы то считать нельзя, так как получается, что один и тот же минеральный индивид одновременно принадлежит к нескольким минеральным видам, и даже к разным классам. Но это же «нонсенс» для естественных наук.

Аналогичные трудности, конечно, имеются и в биологии. Например, всем известный утконос – на носу утиный клюв, на лапах перепонки и откладывает яйца – какой же это зверь? Но вылупившихся из яиц утконосят мамка выкармливает молоком, и поэтому утконос – млекопитающее.

Детализация делает своё дело, то есть детализирует. И… (вот, тут – *принципиальный момент*!) однажды она может «перегнуть палку» и посчитать за самостоятельные минералы то, что фактически является уже их химическими, структурными, структурно-химическими или иными разновидностями. Какой же критерий при выделении минерального вида следует принимать за главный, *видообразующий*, если химические и структурные особенности минеральных индивидов, относящихся к данному виду, становятся только дополнительными, сопутствующими, вспомогательно-диагностическими.

Ещё раз вернемся к сопоставлению с биологией [1].

Некоторые минералоги-«химики», принимая тезис, что минералогия – наука естественная (увы, это признают не все минералоги), чтобы обосновать свое патологическое рвение к «размножению» числа минеральных видов, ссылаются на опыт биологии, где описаны миллионы миллионов биологических видов. Там их, действительно, много. Но данные исследователи воспринимают только *количественный*, но не *качественный* аспект данной проблемы. Поскольку минералогия (как часть геологии), и биология – *науки естественные*, то критерии

выделения и разграничения *видов*, как основных классификационных единиц в этих науках, должны быть *не формальными*, а также *естественными*, то есть основываться на реальных, наиболее значимых, выявляемых в природе *биологических или геологических признаках*. Биологи это уже давно поняли, но для нас, минералогов – это тайна «за семью печатями».

В отличие от нас биологи четко поясняют, что *исследуют живое вещество на разных уровнях системности и организации жизни*: молекулярном – клеточном – тканевом – органном – онтогенетическом – популяционном – *видовом* – биогеоценотическом – биосферном, для которых можно выделить собственные элементарные дискретные структуры и явления. Наиболее важными для нашего сопоставления являются: молекулярно-генетический, онтогенетический, популяционно-видовой и биогеоценотический уровни. Выделение *видов* в биологии – это не самоцель в науке, а изучение одной из возможных форм систематизации живого вещества. Минералы также фактически изучаются на различных уровнях организации неживого вещества: на атомно-кристаллохимическом, на онтогенетическом, на видовом, на парагенетическом и т.п.

На а*томно-кристаллохимическом уровне* изучаются закономерности поведения отдельных атомов в структуре минералов, а также могут быть выделены отдельные устойчивые элементарные дискретные их группировки, например, кремнекислородные тетраэдры $[SiO_4]^{4-}$, которые, вступая в химическую связь друг с другом, полимеризуются в орто-, диорто-, различные цепочечные, ленточные, слоистые и каркасные радикалы, связанные с разновеликими и разнозарядными катионами и анионами. Трансляция этих элементарных более крупных группировок (по матричному принципу) в пространстве до бесконечных кристаллических структур позволяет выделить периоды идентичности и *элементарные ячейки*. Как и в биологии, в процессе роста минерала, при переходе от структур ближнего порядка (элементарных ячеек) к структурам дальнего порядка (макрообъемам вещества) возникают и транслируются случайные видоизменения (сравнить с мутациями) − дефекты, дислокации, ошибки в упаковке атомов (политипия), замещение отдельных SiO_4-тетраэдров тетраэдрами AlO_4, FeO_4, BO_4, PO_4, а минералообразующих катионов микропримесными элементами (изоморфизм), включение целых фрагментов одной структуры в другую (домены, полисоматизм), химическое и структурное упорядочение атомов (например, Si/Al-упорядочение в каркасе полевых шпатов и других алюмосиликатов), двойникование и др. Полагаю, что в отношении изучения данных явлений и структуры неживого вещества минералогия существенно обогатила химию, так же как и биология в отношении биохимического изучения живого вещества Земли. Матричное строение кристаллической структуры минералов описывается пространственной *симметрией* в расположении атомов. Кроме 14 известных типов решеток О.Бравэ, 32 видов симметрии и 230 стандартных пространственных групп Е.С.Федорова, в последнее время выделяют нестандартные пространственные группы, кроме общей симметрии структуры – локальную симметрию отдельных её фрагментов. Различают симметрию ближнего и дальнего порядков, отражающих различия в строении микро- (в элементарной ячейке) и макрообъемах минерального вещества. То есть симметрия отражает абстрактный порядок в расположении атомов в структуре, и её изменение может быть вызвано разными причинами - она вторична, и не может быть определяющим фактором для выделения минеральных видов. При изучении минерального вещества на атомно-кристаллохимическом уровне, безусловно, накапливаются фундаментальные данные, которые должны учитываться при разграничении минеральных видов, но не они являются определяющими, видообразующими.

На *онтогенетическом уровне*, как и в биологии, изучаются закономерности роста отдельных индивидов – кристаллов (зерен) и их агрегатов. Детальный обзор исследований на этом уровне дан в «Онтогении» Д.П. Григорьева [7] – от зарождения зародышей до разных видов роста и перекристаллизации индивидов и агрегатов. Для нас важно, что минерал «живёт» - кристалл эволюционирует в ходе роста – может меняться и его морфология, и химический состав, и особенности кристаллической структуры, и симметрия, возникают зоны роста или сектора граней, различающиеся по составу, по симметрии и свойствам. «Лев», естественно, заметно отличается от «Львёнка», но это один и тот же вид. Совершенно не принципиально, меняется ли в ходе роста содержание какой-то изоморфной примеси сверх 50 отн. % или нет (тем более в отдельно взятой структурной позиции). Поэтому выделение, например, внутри кристаллов циркона зон роста, обогащенных гафнием, как самостоятельного минерального вида – *гафнона*, нам представляется нелепостью. Исследования на онтогенетическом уровне должны охватывать также и посткристаллизационные твердофазовые превращения внутри индивидов (упорядочение, фазовый распад, полиморфные переходы, внутреннее микродвойникование) поскольку они происходят при изменении условий минералообразования на поздних стадиях существования минерального индивида. Это вносит свои осложнения в проблему выделения и разграничения минеральных видов. Согласно Е.К. Лазаренко [8], *минеральные индивиды, характеризующиеся непрерывным изоморфизмом, должны быть отнесены к одному минеральному виду* (именно в силу его непрерывности), а при разрыве изоморфного ряда – к разным.

Перейдем теперь непосредственно к *видовому уровню*. Какие выводы можно сделать из аналогий с биологией? Во-первых, *вид* – это основная, *соизмеримая* номенклатурная единица, но *не наименьшая*: в биологии внутри вида выделяют *подвиды* (наши *разновидности*), сорта, расы, популяции, которые, в биологической классификации не менее значимы, чем виды. Во-вторых, разные группы минералов различаются по сложности своей организации не меньше, чем живые организмы, для которых невозможно выделить общие *видообразующие признаки* и главным критерием является *способность воспроизводить себе подобных;* очевидно, что и виды минералов следует выделять по какому-то общему для минералов разной сложности строения критерию. В-третьих, по аналогии с биологией, в минералогии (как *естественной* науке) главным критерием выделения минерально-

го вида должен быть *генетический критерий – генетическое единство химического состава, кристаллической структуры и условий образования минерала в минералообразующих процессах*. Очевидно, что в природе те или иные *сочетания* химических элементов могут образовывать *структуры определенных типов*, устойчивые при определенных параметрах геологической среды, то есть существуют *поля устойчивости минерала*, в пределах которых химический состав и кристаллическая структура могут частично меняться, а за пределами которых он разрушается или замещается другими минералами. При таком понимании *минеральный вид* становится фундаментальным понятием в геологии, «жизнеспособной» единицей вещества в геологических процессах. Что касается *разновидностей*, то они могут выделяться как удобные для описания понятия (термины) более свободного пользования – для обозначения вариаций состава, особенностей структуры, симметрии внутри вида, сопоставляемые с различными геохимическими или геодинамическими обстановками.

В своё время аналогичные «минералогическим» баталиям вокруг понятия *вид* происходили и в биологии. Понятие *вид* было введено Аристотелем (384-322 гг. до н.э.), и после работ Дж. Рея (1628-1705) и К. Линнея (1707-1778) оно стало основополагающим. Однако, представление о постоянстве, неизменяемости видов сразу же привело к креационизму – идее божественного сотворения организмов. В борьбе с креационизмом сформировался трансформизм Ж. Бюффона (1707-1788) и Ж.-Б. Ламарка (1744-1829), и скоро любую изменчивость организмов в природе стали отождествлять с видообразованием. В начале XX в. *типологическая концепция о неделимости вида* рухнула окончательно, и биноминальная номенклатура сменилась триноминальной, куда кроме *рода* и *вида* стали входить ещё и *подвиды,* например: Vulpes vulpes vulpes – лисица среднерусская, Vulpes vulpes stepensis – лисица степная. Затем оказалось, что подвиды тоже непостоянны, так как различаются *сезонные, экологические, физиологические, географические* и др. *расы*. В результате, традиционные «линнеевские» виды распались на сотни и тысячи наследственно устойчивых мелких форм. Например, вид пшеницы мягкой (или пшеницы обыкновенной) – Triticum aestivum L. (Triticum vulgare Vill.) был разделен на несколько тысяч более мелких «видов». Таким образом, основополагающее понятие *вид*, казалось, само себя изжило [9].

Лишь в начале 30-х годов XX в., благодаря работам школ Н.Н. Вавилова в СССР и Дж. Клаузена в США проблема вида стала приближаться к современному её решению – появилась *биологическая концепция вида*. Вид оказался сложной *генетической* системой: особи одного вида имеют общий генофонд и защищены от проникновения генов другого вида естественными барьерами изоляции. Оказалось, что *вид* может включать в себя различные по строению и образу жизни формы (*подвиды*, *популяции*), представители которых могут время от времени скрещиваться и давать плодовитое потомство. То есть между видами, подвидами и популяциями возможны переходы. Такова *современная* концепция *политипического вида*, объединяющая, казалось бы, противоречивые точки зрения на *вид*, как *основную структурную единицу органического мира*, и на *вид*, как сложную развивающуюся *генетическую систему* [9].

Все другие признаки: *морфологические*, *географические, физиолого-биохимические* различия по отдельности не могут служить универсальными видовыми признаками, потому что особи одного и того же вида часто сильно различаются между собой (например, половой диморфизм – самки отличаются от самцов), тогда как особи разных видов по внешнему облику бывают неразличимы (например, случаи мимикрии, когда безобидные мухи маскируются под ядовитых ос); особи одного вида не всегда разделяются обособленными ареалами распространения - существуют виды-космополиты; в разных климатических поясах виды часто сильно различаются как по размеру, так и по окраске (например, белая куропатка – Lagopus lagopus в Шотландии не меняет зимой коричневого оперения на белое в отличие от особей, живущих в Карелии, и выделяется в особый подвид – Lagopus l. scoticus, однако существуют все переходные формы между ними). Есть *агамные* (бесполые), *облигатнопартеногенетические* (воспроизводящие только самок) и *самооплодотворяющиеся* формы, размножение которых идет особым путем. Физиолого-биохимические характеристики для организмов более близких видов действительно ближе, чем для филогенетически более отдаленных, и, казалось бы, являются наиболее существенными критериями для разграничения видов, но и этот вывод неверен, так как существует значительная внутривидовая изменчивость практически для всех физиолого-биохимических показателей, в том числе в строении отдельных участков молекул ДНК и последовательности присоединения аминокислот [9].

О молекулах ДНК нужно поговорить особо. Некоторые минералоги-«химики», показывая на экране молекулу ДНК, говорят: «Вот!», – имея в виду, что все биологические *видовые* отличия можно свести к фундаментальным различиям в строении молекул ДНК. (При этом они, возможно, вспоминают о соотношениях компонентов в неэквивалентных позициях в кристаллической структуре.) Это не так! На *молекулярно-генетическом* уровне молекулы ДНК действительно представляют собой *основные элементарные структуры – гены*, способные передавать хранящуюся в них наследственную информацию внутриклеточным управляющим системам при синтезе макромолекул клеточного белка организмов. Эта передача происходит по *матричному принципу*, но путем *конвариантной редупликации*, то есть путём *самовоспроизведения* – единственным специфическим для жизни на Земле свойством, обеспечивающим появление бесконечного числа новообразований, передающихся по наследству. Но если молекулы ДНК примитивных дискретных живых частиц (вирусы, фаги, бактерии) и свободно размножающихся половых клеток многоклеточных организмов обладают *относительно высокой степенью стабильности*, что обеспечивает возможность *идентичного* самовоспроизведения (*наследственности*), то в иных случаях воспроизведение идет обязательно *с внесением изменений*, что вытекает из физико-химических свойств самих молекул ДНК, поскольку *степень стабильности* любой сложной молекулярной и сверхмолекулярной системы

ограничена и время от времени претерпевает *структурные изменения* в результате движения атомов и молекул. Если эти изменения сразу же не приведут к летальному исходу, то они, согласно закону Тимофеева-Ресовского, будут многократно усиливаться и, в свою очередь, передаваться по наследству. Таким образом, *конвариантная редупликация дает возможность передачи по наследству и дискретных отклонений от исходного состояния*, то есть *мутаций*. В итоге, образование видов связано как со *стабильностью*, так и с *изменчивостью* ДНК. То есть главным *критерием вида* в биологии является его *генетическое единство*. *Виды оказываются не генетически замкнутыми (закрытыми), а генетически устойчивыми системами* [9].

Тот, кто внимательно прочитал выше сказанное, согласится, что главным видообразующим критерием выделения данной совокупности минеральных индивидов в самостоятельный минеральный вид также является генетическое их единство, то есть возможность их образования и последующего существования внутри определенного *поля стабильности*. Не всем нравится этот термин, так как сразу представляется необходимость сложного физико-химического эксперимента, который в «горячке» современного конкурентного «размножения» минеральных видов совсем не хочется выполнять. Некоторые предлагают заменить его на «более мягкий» термин - *область существования.* В этом нет криминала, но меньше конкретики. Я бы просто перевел его на русский язык – *поле устойчивости*. Важно другое: как это поле ограничить? Формально, любую двухкомпонентную систему можно разбить на два минерала, трехкомпонентную – на три и т.д. Также формально, можно выделять области промежуточных минералов. Это мы уже обсуждали [1-5]. Данный формализм – это признание нашего незнания объектов изучения. Поле устойчивости минерального вида должно быть определено объективными естественными методами. Это может быть статистика распределения индивидов с тем или иным химическим составом в анализируемых двойных, тройных и т.д. системах, с выделением, например, ранговых формул, предложенных Т.Г. Петровым [6]. Это могут быть и прямые наблюдения за соотношением минеральных индивидов с теми или иными свойствами в природе – структур роста, замещения, фазового распада. Но, безусловно, предпочтительнее детальнейшее физико-химическое изучение минералов, особенно минералов переменного состава, а возможно еще и с изменением особенностей кристаллической структуры. В результате такого изучения могут быть наиболее точно определены пределы *постепенного изменения* основных химических и структурных характеристик минералов внутри поля устойчивости и *резких переходов* на границах фазовых превращений, областей фазового распада, а также сопоставить эти данные с геологическими данными о распространенности тех или иных конфигураций в реальных природных условиях с тем, чтобы определить геологическую их значимость.

В свое время нами была предложена «естественно-генетическая» классификация полевых шпатов [2]. Сопоставление её с рекомендациями КНМНК ММА показало полную «беспомощность» последних в описании и анализе реальных полевых шпатов и настоятельную необходимость изменения формальных подходов в минералогии. В частности, было показано, что *виды* щелочных полевых шпатов и границы полей их устойчивости меняются в зависимости от реальной природной обстановки их образования. Так, в высокотемпературных вулканитах щелочной полевой шпат представлен единственным минеральным видом – моноклинным *K, Na-санидином*, состав которого варьирует от 100% $KAlSi_3O_8$ до 100% $NaAlSi_3O_8$ (непрерывный изоморфный ряд). При снижении температуры возникают два минеральных вида: моноклинный богатый калием *санидин* и триклинный богатый натрием *анортоклаз*, граница между которыми смещается по температуре и далеко отстоит от рекомендуемого КНМНК ММА соотношения 50%:50%. А в низкотемпературной области сосуществуют триклинные *микроклин* и *альбит*, разделенные областью сольвуса, с составами не более 10% натриевого компонента в микроклине и 5% калиевого компонента в альбите. В случае обогащения минералообразующей среды кальцием (то есть в системе $KAlSi_3O_8$-$NaAlSi_3O_8$-$CaAl_2Si_2O_8$), он входит в состав щелочных полевых шпатов, смещая границы полей устойчивости; поля видоизменяются, но не исчезают, подчеркивая индивидуальность данных совокупностей минералов, как минеральных видов.

Главным выводом данной работы является то, что *минеральные виды* должны выделяться в результате детального изучения фактического материала, а не формальных решений комиссий, сколь бы авторитетными они не были.

Список литературы

1. Боруцкий Б.Е. Очерки по фундаментальной и генетической минералогии: 1. Что же такое «минерал» и «минеральный вид»? // Новые данные о минералах. Вып. 40. М.: ЭКОСТ, 2005. С. 159-166.

2. Боруцкий Б.Е. Очерки по фундаментальной и генетической минералогии: 2. Опыт разработки «естественно-генетической» классификации минералов (на примере систематики полевых шпатов) // Новые данные о минералах. Вып. 41. М.: ЭКОСТ, 2006. С. 162-171.

3. Боруцкий Б.Е. Фундаментальные проблемы древнейшей науки // Природа. 2007. № 2. С. 5-14.

4. Боруцкий Б.Е., Урусов В.С. Нарушения принципа «Бритвы Оккама» в современной минералогии // Природа. 2008. № 6. С. 21-32.

5. Боруцкий Б.Е. Очерки по фундаментальной и генетической минералогии: 3. Минералы переменного состава с переменной структурой и проблемы видообразования в минералогии. Эвдиалит-эвколиты. // Новые данные о минералах. Вып.43. М.: ЭКОСТ, 2008.

6. Булах А.Г., Петров Т.Г. Химическое разнообразие минералов группы эвдиалита, их ранговые формулы и химико-структурные разновидности минеральных видов // Зап. ВМО. 2003. № 4. С. 1-17.

7. Григорьев Д.П. Онтогения минералов. Львов: Изд-во Львовск. ун-та. 1961. 284 с.

8. Лазаренко Е.К. Основы генетической минералогии. Львов: Изд-во Львовск. ун-та. 1963. 410 с.
9. Яблоков А.В., Юсуфов А.Г. Эволюционное учение (Дарвинизм). Учеб. для биол. спец. вузов, 3 изд. М.: Высш. шк., 1989. 335 с. ,

РИССЧОРРИТЫ И ЮВИТЫ ХИБИНСКОГО ЩЕЛОЧНОГО МАССИВА В РЯДУ КАЛИЕВЫХ МАГМАТИЧЕСКИХ ПОРОД МИРА

О.Б. Дудкин
Геологический институт КНЦ РАН, г. Апатиты, e-mail: dudkin@ geoksc.apatity.ru

Генезис пойкилитовых нефелиновых сиенитов центральной дуги Хибинского массива оказался дискуссионным после участия в их изучении минералогов Л.Л. Солодовниковой [14], И.П. Тихоненкова [12], Б.Е. Боруцкого [2]. Наиболее детальное исследование геологии и петрологии рисчорритов и ювитов было выполнено А.В. Галаховым [3, 4]. По его заключению, пойкилитовые нефелиновые сиениты Хибин возникли в результате внедрения калиевой щелочной магмы по коническому разлому в области центральной дуги массива. А.В. Галахов выявил признаки несогласного характера контактов рисчорритов с фойяитами, а позже, с развитием геологоразведочных и горных работ, появились многочисленные свидетельства брекчирования пойкилитовыми нефелиновыми сиенитами апатитовых руд и сопровождающих их ийолитов и уртитов [6]. По А.В. Галахову, калиевая щелочная магма частично ассимилировала вещество фойяитов и фойдолитов, что резко повысило ее щелочность и привело к проявлению в рисчорритах и ювитах редкометальной (агпаитовой) минерализации. К настоящему времени существенно расширились общие сведения о щелочном магматизме, в том числе калиевом [7, 9, 10, 11, 12, 13 и др.]. Это позволяет сопоставить, прежде всего, минеральный и химический состав рисчорритов и ювитов Хибин с близкими им по ряду признаков породами калиевых магматических пород.

Рисчорриты и ювиты Хибин на отдельных участках имеют отношения K_2O/Na_2O масс 1:1 – 2:1 (табл. 1). Это позволяет сравнивать их с псевдолейцитовыми сиенитами Сыннырского щелочного массива в Северном Прибайкалье [7]. Но от псевдолейцит-нефелиновых пород Сыннырского массива хибинские пойкилитовые нефелиновые сиениты отличаются более высоким суммарным содержанием щелочных металлов и характерной редкометальной (агпаитовой) минерализацией. Состав сиенитов Сыннырского массива имеет также меньшие содержания темноцветных компонентов.

Таблица 1. Состав главных химических компонентов существенно калиевых пород Сыннырского и Хибинского массивов.

Массив	Породы	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	FeO	MgO	CaO	Na_2O	K_2O
1	Псевдолейцитит	54,58	0,06	22,85	0,51	0,61	0,18	0,12	0,33	20,42
1	Псевдолейцитовый сиенит	55,78	0,20	23,44	0,55	0,48	0,27	0,39	0,35	15,48
1	Псевдолейцит-нефелиновый сиенит	55,56	0,15	22,59	0,93	0,61	0,34	0,44	2,92	14,96
2	Ювит (Олений Ручей)	48,18	2,65	20,83	1,92	2,54	0,84	3,39	6,60	10,08
2	Ювит (Ньорпахк)	48,77	1,78	19,91	3,87	1,88	1,01	2,36	8,57	9,33
2	Рисчоррит (Партомчорр)	49,98	1,00	23,77	3,22	1,71	0,84	1,88	7,38	9,85

Примечание: данные по составу пород Сыннырского массива приведены по материалам С.И. Зака, автора и В.Н. Горстки, анализы ювитов по А.А. Арзамасцеву и др. [1], анализ рисчоррита по А.В. Галахову [4].

В калиевом полевом шпате псевдолейцит-нефелиновых пород Сыннырского массива и рисчорритов и ювитов Хибин кроме дактилоскопических и графических включений нефелина, присутствуют дактилоскопические включения («симплектиты») кальсилита, установленные впервые в лейцитовых лавах Т. Сахама [17]. Б.Е. Боруцким [2] приводится ряд микрозондовых анализов кальсилита из рисчорритов и ювитов Хибин, которые соответствуют нормативному составу кальсилита. Из этих анализов следует, что заметное присутствие кальсилита в хибинских породах должно сопровождаться кроме высоких отношений K_2O/Na_2O несколько пониженным содержанием SiO_2 при сохранении высоких содержаний Al_2O_3, что подтверждается рядом химических анализов ювитов и рисчорритов (табл. 1).

На рис. 1 приводится структура псевдолейцита Сыннырского массива. Его состав близок составу лейцита из Ниирагонго [17]. В сыннырских псевдолейцитовых и псевдолейцит-нефелиновых сиенитах содержание включений кальсилита меньше, их размер и выделения грубее. Примерно такая же картина (рис. 2) наблюдается и в «симплектитах» рисчорритов г. Партомчорр [4]. Рисчорриты и ювиты Хибин, кроме общей высокой щелочности,

от сиенитов Сыннырского массива отличаются несколько повышенным содержанием темноцветных минералов – биотита и эгирин-диопсида.

В пределах Сыннырского массива калиевые породы располагаются в виде ряда интрузивных дифференциатов от псевдолейцititов к псевдолейцитовым сиенитам, а затем к псевдолейцит-нефелиновым сиенитам. Этот комплекс пород слагает примерно две трети массива общей площадью 600 км^2. Состав псевдолейцитита на 86% представлен псевдолейцитом, состав которого в неизмененном виде (рис. 1) близок составу лейцита [17]. В псевдолейцитовых и псевдолейцит-нефелиновых сиенитах Сыннырского массива включения кальсилита в полевом шпате крупнее, они образуют менее правильный рисунок и объемное содержание их меньше. Такая же картина наблюдается в рисчорритах и ювитах Хибин. По подсчетам в сыннырских пойкилитовых псевдолейцит-нефелиновых сиенитах содержание кальсилита в шлифе составляет от 0 до 10 объемных процентов. В рисчорритах и ювитах Хибин такие оценки не проводились.

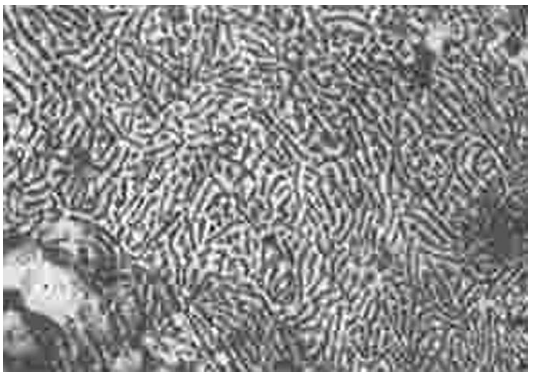


Рис. 1. Структура псевдолейцита Сыннырского массива. Шлиф, с анализатором, × 50.

Очевидно, что только высокие содержания калия и присутствие кальсилита в виде симплектитов в рисчорритах и ювитах Хибинского массива не могут служить однозначным свидетельством проявления в этом полиформационном массиве калиевого щелочного магматизма. Но в калиевых щелочных массивах всегда присутствует не одна калиевая порода, а серия таких пород, как интрузивных, так и дайковых [9]. В отличие от высокощелочных интрузивных пород с редкометальной агпаитовой минерализацией Кольского региона и Гренландии, калиевые щелочные массивы распространены шире. По данным Е.В. Свешниковой [9], наиболее типичной и встречающейся в большинстве интрузивных калиевых щелочных массивов является ассоциация щелочного (биотитового) пикрита, трахита, псевдолейцит-нефелинового сиенита и пуласкита. В Хибинском массиве эти породы присутствуют [1, 8]. Интересно отметить, что В. Гакман [15] (1894 год) при описании шлифов жильных пород г. Ньорпахк в Хибинах определил одну из пород как калиевый тингуаит (нефелиновый фонолит [1]).

Открытие в Сибири крупнейших провинций щелочного магматизма позволило сотрудникам Института геологии и геофизики Сибирского отделения РАН выполнить обобщающие работы по калиевому магматизму Северного Прибайкалья и Алданского щита [10]. В Северном Прибайкалье калиевые массивы Сыннырский, Якшинский, Южносакунский кроме щелочных пикритов, трахитов, псевдолейцит-нефелиновых сиенитов и пуласкитов включают фергусит-порфиры, фергуситы, псевдолейцитовые сиениты и псевдолейцititы (сынныриты). В щелочном Ыллымахском массиве Алданского щита псевдолейцит-нефелиновые и нефелиновые сиениты рассматриваются в качестве поздней и независимой интрузии. В Маломурунском массиве Алдана распространены щелочные пикриты, трахиты, шонкиниты, фергуситы, «мезосынныриты» и пространственно тесно связанные с ними нефелиновые сиениты с повышенным содержанием калия [10]. Псевдолейцит-нефелиновые сиениты присутствуют в калиевых щелочных массивах Каинды и Ирису Южного Казахстана, в Тажсарском массиве Армении [9]. В полиформационном массиве центрального типа Магнет Ков штата Арканзас псевдолейцитовые сиениты располагаются по внешнему краю кольцевой интрузии, в центре которой находятся якупирангиты и ийолиты [16].

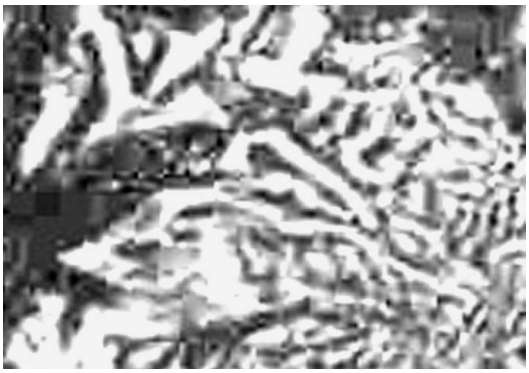


Рис. 2. Микрографичекие («симплектитовые») выделения в рисчоррите г. Партомчорр. Шлиф, с анализатором, × 40.

Таким образом, минеральный состав пойкилитовых нефелиновых сиенитов Хибин и присутствие наряду с ними в этом полиформационном щелочном массиве других калиевых магматических пород, характерных для проявлений калиевого щелочного магматизма, не противоречат заключению А.В. Галахова [3, 4] о внедрении в области центральной дуги Хибинского массива калиевой щелочной магмы.

Минералогами в качестве доказательства метасоматического (гидротермального) процесса формирования рисчорритов указывалась масштабность изменений вмещающих пород, которая, по их мнению, не могла быть вызвана только внедрением магмы [2, 15]. Здесь следует отметить, что еще Т. Сахама [17], а за ним и другие петрологи [9, 13] отмечали, что температура лейцитовой магмы может достигать 1350–1600 °С. Л.И. Паниной [10] по результатам исследования первичных включений в породах Сыннырского массива начальная температура гомогенизации лейцитового расплава оценена в 1250° С, а его распад на кальсилит-полевошпатовый агрегат, по ее заключению, начинался при температуре 1100° С. При этом многие исследователи приходили к выводу о насыщенности лейцитовой магмы летучими компонентами, в первую очередь фтором, CO_2, H_2O [9]. Высокая температура и насыщенность летучими компонентами калиевых щелочных магм указывает на их вероятную агрессивность по отношению к вмещающим породам.

Контакты Хибинского массива относительно «холодные», воздействие со стороны его пород на гнейсы в большинстве случаев привели к фенитизации гнейсов на расстояние не более 20 м от их контакта с массивом [5]. Фенитизация же гранитов на их контактах с псевдолейцит-нефелиновыми сиенитами Сыннырского массива проявлена гораздо масштабней, она наблюдалась на расстоянии до 1 км от массива [13].

Е.В. Свешниковой [9] показано, что в рифтовых системах континентов имеет место совмещение ультракалиевой серии магматических пород и ультраосновных – щелочных массивов с карбонатитами. Нижнепалеозойский Хибинский массив расположен в пределах северо-восточной региональной тектонической зоны Кольского региона, которая в значительной мере выделена по расположению нижнепалеозойских ультраосновных – щелочных массивов с ийолитами и карбонатитами [11]. Сам Хибинский массив включает крупнейшее в мире тело ийолитов и уртитов, типичных пород ультраосновных – щелочных массивов.

Вопрос о процессах формирования уникальной ийолит-уртитовой дуги Хибинского массива, безусловно, по-прежнему будет привлекать внимание специалистов, в том числе и минералогов. Генезис пород и месторождений без изучения их минералогии, конечно, раскрыть невозможно, но в равной степени, как и без привлечения геологических и петрологических данных. В области геологических наук к настоящему времени накоплен огромный объем информации. Она позволяет прослеживать состав, текстурные и структурные особенности близких пород в близких геологических условиях и в геологических структурах разного масштаба. В науке давно утвердился метод выявления естественных рядов природных явлений. С позиций этого метода, заключение А.В. Галахова [3, 4] об участии в формировании полиформационного Хибинского массива калиевой щелочной магмы минералогами не опровергнуто, а с накоплениями материалов по щелочному магматизму получило новые подтверждения.

Список литературы

1. Арзамасцев А.А., Каверина В.А., Полежаева Л.И. Дайковые породы Хибинского масссива и его обрамления. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 1988. 86 с.

2. Боруцкий Б.Е. Породообразующие минералы высокощелочных комплексов. М.: Наука, 1988. 215 с.

3. Галахов А.В. Геолого-петрографический очерк Хибинского щелочного массива и задачи дальнейших научных исследований. Вопросы геологии и петрографии Хибинских тундр. М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1961. С. 5-21.

4. Галахов А.В. Петрология Хибинского щелочного массива. Л.: Наука, 1975. 256 с.

5. Горстка В.Н. Контактовая зона Хибинского массива. Л.: Наука, 1971. 99 с.

6. Дудкин О.Б., Арзамасцева Л.В., Балаганская Е.Г. и др. Апатитоносность щелочных массивов Кольского региона. Апатиты, Изд-во КНЦ АН СССР, 1991. 98 с.

7. Иванова Т.Н. (отв. ред.). Геологическое строение и апатитоносность Сыннырского щелочного массива. Л.: Наука, 1968. 146 с.

8. Иванова Т.Н. (отв. ред.). Химический и минеральный состав пород центральной части Хибинского щелочного массива. Апатиты.: Изд-во КНЦ РАН, 1987. 138 с.

9. Кононова В.А. (отв. ред.). Магматические горные породы. Т 2. Щелочные породы. М.: Наука, 1984. 415 с.

10. Костюк В.П., Панина Л.И., Жидков А.Я. и др. Калиевый щелочной магматизм Байкало-Становой рифтогенной системы. Н.: Наука,1990. 237 с.

11. Кухаренко А.А, Булах А.Г. Ильинский Г.А. и др. Металлогенические особенности щелочных формаций восточной части Балтийского щита. Тр. Ленинградского об-ва естествоиспытателей. Т. XXII. Вып. 2. Л.: Недра, 1971. 277 с.

12. Тихоненков И.П. Нефелиновые сиениты и пегматиты северо-восточной части Хибинского массива и роль постмагматических явлений в их формировании. М.: Изд-во АН СССР, 1963. 247 с.

13. Тихоненкова Р.П., Нечаева Е.Д., Осокин Е.Д. Петрология калиевых щелочных пород (на примере Сыннырского щелочного массива в Бурятской ССР). М.: Наука, 1971. 219 с.

14. Солодовникова Л.Л. Полевые шпаты Кукисвумчоррского месторождения // К минералогии постмагматических процессов. Л.: Изд-во ЛГУ, 1959. С. 7-72.

15. Hackman V. Petroqraphische Beschreibung des Nephelinsyenites vom Umptek // Das Nephelinsyenitgebit auf der Halbinsel Kola. Fennia. 1894. V. 11. № 2.

16. Erickson R.L. Blade L.V. Geochemistry and petrology of the alkaline igneous complex at Magnet Cove, Arkansas. U.S. Geol. Surv. Profes. Paper. 1963. V. 425. P. 1-91.

17. Sahama Th. G. Kalsilite in lavas of Nyiragongo// J. Petrol. 1960. V. 1. № 2. P. 146-169.

ЦИРКОНОСИЛИКАТЫ ГРУППЫ КЕЛДЫШИТА: СТРАНИЦЫ ИСТОРИИ ИХ ОТКРЫТИЯ И РОЛЬ В МИНЕРАЛОГИЧЕСКОЙ ИЗУЧЕННОСТИ КОЛЬСКОГО РЕГИОНА

А.П. Хомяков
Институт минералогии, геохимии и кристаллохимии редких элементов (ИМГРЭ)
г. Москва, e-mail: imgre@imgre.ru.

В описаниях уникальных минералогических провинций мы, как правило, находим немало ярких страниц, связанных с открытием в них ранее неизвестных минералов, а то и целых минералогических групп, специфичных для каждой провинции. К их числу в Кольской провинции могут быть отнесены охарактеризованные в данной заметке минералы группы келдышита, объединяющей природные цирконосиликаты Na и K, а также их искусственные Na-, K-, Rb-, Cs-, Zr-, Hf-, Sc- и REE-аналоги с типовой формулой $A^{+}_{2}BSi_{2}O_{7}$. Хроника запечатленных здесь событий, непосредственно связанных с историей открытия минералов этой группы в щелочных массивах Хибино-Ловозерского комплекса и решающим образом повлиявших на ускорение темпов открытий новых минералов на территории Кольского региона в целом, переносит нас в 1960-е годы и воспроизводится ниже с использованием живых свидетельств участников тех теперь уже далеких событий. Стартовая отметка в их цепи может быть определена довольно строго, поскольку она с точностью до дня привязана к моменту подведения итогов состоявшегося в 1961 г. в Москве общего собрания АН СССР, участники которого единодушно проголосовали за избрание ее президентом акад. М.В. Келдыша.

«Срочно нужен новый минерал келдышит!» - с такими словами сразу же по завершении работы указанного форума взволнованно обратился к активу Института геохимии и аналитической химии АН СССР его тогдашний директор акад. А.П. Виноградов, и уже в следующем году «Доклады АН СССР» опубликовали статью сотрудника этого института В.И. Герасимовского об открытии в Ловозерском массиве нового минерала келдышита (далее «келдышит-1962»), охарактеризованного в ней как цирконосиликат Na состава $(Na,H)_2ZrSi_2O_7$ [2]. С этой статьей мне довелось детально ознакомиться в 1966 г., когда минерал (далее «келдышит-1966»), весьма близкий по целому ряду особенностей келдышиту-1962, был встречен мной в полиминеральных сростках циркониевых минералов не только в Ловозерском, но и соседнем Хибинском массиве. Но все попытки отождествить с минералом В.И. Герасимовского келдышит-1966 или другие цирконосиликаты, находившиеся с ним в тесных срастаниях, не увенчались успехом, что вызвало предположение о недостаточной корректности данных, приведенных в этой работе. Предпринятое мной и другими специалистами сравнительное исследование всего доступного материала, включавшее повторное изучение типовых образцов келдышита-1962 из фондов Минералогического музея им. А.Е. Ферсмана и лично от В.И. Герасимовского, подтвердило это предположение, позволив установить, что келдышит-1962 не является самостоятельным гомогенным минералом, а представляет собой сростки двух разных цирконосиликатов Na – гидратированного $Na_3HZr_2(Si_2O_7)_2$ (фаза I), и безводного $Na_2Zr(Si_2O_7)$ (фаза II), которые при внешнем сходстве существенно различаются по составу, рентгенограмме порошка, оптическим и другим свойствам [5, 13, 16].

Здесь следует сделать небольшое отступление для не посвященных в возникающие в подобных случаях коллизии. Как общее правило, минеральные виды, считавшиеся твердо установленными, но на поверку оказавшиеся смесями разных минералов, официально дискредитируются решением Комиссии по новым минералам Международной минералогической ассоциации. При этом название каждого из дискредитируемых минералов лишается права повторного использования для наименования других минералов, что имеет целью предотвращение возможной путаницы в будущем. В качестве примера дискредитированных минералов такого рода можно упомянуть кольскит, оказавшийся смесью лизардита и сепиолита.

Возвращаясь к основной теме, отмечу, что в момент возникновения проблемы келдышита обо всем этом я мало задумывался, больше заботясь о поиске решения, не наносящего ущерба авторитету уважаемых лиц. Возможность удачного выхода из создавшегося положения я усматривал в особой интриге, заключавшейся в том, что в данном случае обе детально изученные фазы сростков, как первичная безводная, так и вторичная гидратированная, вполне удовлетворяли критериям нового минерального вида. Это, как мне тогда представлялось, открывало реальную возможность сохранения уже вошедшего в справочную литературу названия келдышит путем закрепления его за одной из фаз сростков, для чего больше подходила фаза I, преобладавшая в типовых образцах келдышита-1962.

В 1976 г. комиссиями по новым минералам Всесоюзного минералогического общества и Международной минералогической ассоциации рассмотрено и утверждено наше предложение: термин «келдышит» сохранить в кадастре минеральных видов и в новом значении закрепить за детально изученной фазой I, а для обозначения находящейся с ней в тесных срастаниях фазы II ввести термин «паракелдышит». Принятие данного решения, позволившего предотвратить исключение из минералогической номенклатуры названия келдышит и тем самым

отстоять честь выдающегося советского ученого, я рассматривал тогда как свою большую победу, хотя позже стал относиться к нему более сдержанно. Носившее принципиальный характер изменение сущности сохраненного термина, официально закрепленное данным решением и присуждением мне специального диплома ВМО (рис. 1), не нашло адекватного отражения в справочной литературе, в том числе, к сожалению, и во многих отечественных справочниках. Открытие келдышита по-прежнему приписывается В.И. Герасимовскому, ошибочно описавшему под этим названием не самостоятельный минеральный вид, а сростки двух потенциально новых минералов, которые ему не удалось индивидуализировать.

Таблица. Сравнительная характеристика минералов группы келдышита

Состав (мас. %) и свойства	Хибинскит [1, 14] $K_2ZrSi_2O_7$	Паракелдышит [1, 6] $Na_2ZrSi_2O_7$	Келдышит [4, 10, 13, 16] $Na_3HZr_2(Si_2O_7)_2$	M34 [13] $NaHZr_2Si_2O_7•H_2O$
ZrO_2	37.8	38.7	40.5	40.1
SiO_2	33.8	38.8	39.8	39.5
CaO	Сл.	3.5	1.4	5.0
$Na_2O + K_2O$	27.0	19.1	14.3	11.1
H_2O	–	0.0	2.6	4.1
Сингония	Моноклинная	Триклинная	Триклинная	Не установл.
a (Å)	19.22 (9.61)	9.31	9.00	–
b (Å)	11.10 (5.55)	5.42	5.34	–
c (Å)	14.10 (7.05)	6.66	6.96	–
α (°)	90.0	94.25	92	–
β (°)	116.5	115.33	116	–
γ (°)	90.0	89.58	88	–
Характерные линии рентгенограммы порошка (I и d в ангстремах)	30-4.15 – 30-3.35 70-2.97 – 100-2.76	65-4.18 60-3.93 – – 100-2.91 65-2.71	80-4.18 100-3.93 30-3.38 50-2.97 30-2.90 20-2.74	21-4.18 42-3.99 100-3.40 40-2.98 8-2.90 27-2.74
Плотность, г/см^3	3.4	3.33	3.22	3.28
Твердость, кГ/мм^2	363-687	406-687	344-458	–
Спайность	Совершенная по псевдоромбоэдру и пинакоиду (001)			
Двойникование	Не набл.	Система пересекающихся полисинтетических индивидов		
Цвет	Бесцветный		Снежно-белый	
Блеск	Стеклянный		Матовый, шелковистый	
Прозрачность	Водяно-прозрачный		Просвечивает в тонких сколах	
Np	1.665	1.670	1.662	1.670
Nm	1.715	1.697	1.682	1.704
Ng	1.715	1.718	1.710	1.719
2V (°)	(–)11	(–)83	(+)83	–

Примечание: для элементарной ячейки хибинскита приведены значения периодов и псевдопериодов (в скобках).

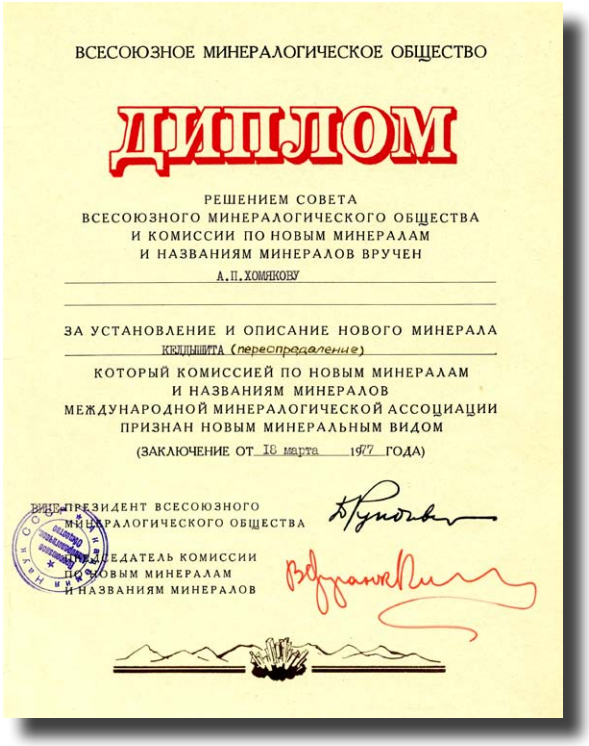
Полный список установленных к настоящему времени минералов группы келдышита представлен только в щелочных массивах Хибино-Ловозерского комплекса, где он включает в себя хибинскит $K_2ZrSi_2O_7$, паракелдышит $Na_2ZrSi_2O_7$, келдышит $Na_3HZr_2(Si_2O_7)_2$ и пока не утвержденную в качестве минерального вида фазу «M34» $NaHZr_2Si_2O_7•H_2O$ [1], зерна которой слагаются агрегатом пересекающихся двойниковых пластинок нанометровой толщины. Все они сопоставлены между собой по составу и свойствам в таблице. Ограничившись общей информацией о самих минералах, рассмотрим далее эпизоды, непосредственно связанные с историей их открытия.

Вначале эти открытия носили ярко выраженный случайный характер. Наиболее важные из них были сделаны в июле-августе 1966 г. при уникальном стечении обстоятельств, сопутствовавших моей первой – скорее ознакомительной, чем рабочей – поездке на Кольский полуостров.[2] Основной ее целью было мое участие в группе

[1] Обозначение M34 для этого минерала используется в наших публикациях с 1990 г. [10]; в более ранних работах [13, 15 и др.] он обозначался как «фаза IV».

[2] Формально это была моя вторая поездка на Кольский полуостров. Первая, совсем короткая, но оставившая неизгладимое впечатление, состоялась в январе-феврале 1954 г. в составе экскурсионной группы студентов Московского геологоразведочно-

сопровождения датского петролога и минералога Х. Соренсена, прибывшего в этот район в ответ на посещение щелочных массивов Гренландии В.И. Герасимовским и Е.И. Семеновым. Но случилось так, что все заботы о госте взяли на себя местные научные и производственные организации, и мое участие в сопровождении Х. Соренсена оказалось невостребованным. Дожидаясь окончания его визита в Полярно-альпийском ботаническом саду, мы с коллектором Чичериным совершил несколько пеших экскурсий по Хибинам, из которых вернулись отнюдь не с пустыми руками. Особенно результативными оказались маршруты в районы оз. Малый Вудъявр и ущелья Гакмана. В первом мое особое внимание привлекли развалы глыб пегматоидных хибинитов у подножья одного из северо-восточных цирков Тахтарвумчорра, насыщенных сростками циркона с неизвестными мне минералами белого цвета, среди которых позднее были установлены М34 и паракелдышит. Во втором наше внимание привлекли полуразвалившиеся ящики с интенсивно минерализованным керном пегматоидных ийолитов. На отдельных интервалах они оказались насыщенными овоидами до 1 см, внешняя зона которых слагалась эвдиалитом, промежуточная – агрегатом неизвестных минералов (будущих хибинскита и паракелдышита) и центральная – зернами циркона. Остаток командировки был использован мной для ознакомления с минералогией Ловозерского массива в основном по керну скважин, пробуренных в районе Аллуайва. Парадоксально, но здесь я вновь столкнулся с пегматоидными породами, насыщенными выделениями келдышитоподобных минералов, внешне не отличимых от тех, что были встречены в Хибинах.



ВСЕСОЮЗНОЕ МИНЕРАЛОГИЧЕСКОЕ ОБЩЕСТВО

ДИПЛОМ

РЕШЕНИЕМ СОВЕТА
ВСЕСОЮЗНОГО МИНЕРАЛОГИЧЕСКОГО ОБЩЕСТВА
И КОМИССИИ ПО НОВЫМ МИНЕРАЛАМ
И НАЗВАНИЯМ МИНЕРАЛОВ ВРУЧЕН

А.П.ХОМЯКОВУ

ЗА УСТАНОВЛЕНИЕ И ОПИСАНИЕ НОВОГО МИНЕРАЛА
КЕЛДЫШИТА (переопределение)
КОТОРЫЙ КОМИССИЕЙ ПО НОВЫМ МИНЕРАЛАМ
И НАЗВАНИЯМ МИНЕРАЛОВ
МЕЖДУНАРОДНОЙ МИНЕРАЛОГИЧЕСКОЙ АССОЦИАЦИИ
ПРИЗНАН НОВЫМ МИНЕРАЛЬНЫМ ВИДОМ
(ЗАКЛЮЧЕНИЕ ОТ 18 марта 1977 ГОДА)

ВИЦЕ-ПРЕЗИДЕНТ ВСЕСОЮЗНОГО
МИНЕРАЛОГИЧЕСКОГО ОБЩЕСТВА

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ КОМИССИИ
ПО НОВЫМ МИНЕРАЛАМ
И НАЗВАНИЯМ МИНЕРАЛОВ

По окончании командировки собранные минералы были исследованы мной методами оптической микроскопии. Затем наиболее загадочные из них были продиагностированы рентгенографически в лаборатории кристаллохимии ИМГРЭ, где сразу обратили внимание на визуальное сходство порошковых рентгенограмм отдельных минералов с имевшейся в лаборатории рентгенограммой келдышита-1962. Так я впервые узнал о существовании термина «келдышит», остававшегося ключевым в моем лексиконе на протяжении по крайней мере двух десятков лет. За это время я детально изучил все минералы группы келдышита, разобрался в законах их срастаний и, наконец, нашёл ответ на вопрос об их природе и положении в данной группе.

Было установлено [7-10, 13, 17, 19, 20], что келдышит и фаза М34 принадлежат особой генетической группе трансформационных минеральных видов, которые в отличие от обычных минералов не могут кристаллизоваться из расплавов или растворов, а образуются исключительно путем псевдоморфизации других фаз (протоминералов). Их природа определяется положением в эволюционном ряду паракелдышит → келдышит → М34, в котором каждый последующий минерал развивается по предыдущему, наследуя от минерала-предшественника основные особенности его состава и структуры. Первичной фазой в рассматриваемом ряду является паракелдышит – магматогенный минерал, образующийся из высокощелочных силикатных расплавов на конечных этапах эволюции нефелин-сиенитовых магм. Два других минерала этого ряда являются продуктами эпитермального или гипергенного изменения паракелдышита. Оба они развиваются по нему с образованием гомоосевых псевдоморфоз с той разницей, что по отношению к своему общему «предку» первый минерал является «сыном», а второй «внуком». Последний является продуктом наиболее глубокой гидратации и декатионирования высокощелочной протофазы. На рентгенограммах внешне неразличимых вторичных цирконосиликатов, как правило, совместно присутствуют линии двух гидратированных фаз. При этом, судя по соотношению интенсивностей линий, в образцах Ловозерского массива существенно преобладает келдышит, а в образцах Хибинского – М34, что может быть связано с более низкой щелочностью растворов, в присутствии которых происходило замещение хибинского паракелдышита его гидратированными аналогами. Это предположение подтверждено экспериментами [15], в которых зерна келдышита после обработки слабой (3%-ной) HCl трансформировались в фазу М34.

Эксперименты позволили выявить принадлежность минералов группы келдышита к соединениям с ярко

го института. После его окончания и распределения в ИМГРЭ в 1957 г. я около 10 лет изучал редкометальные месторождения Сибири под руководством крупного специалиста в этой области проф. Е.И. Семенова, в результате чего ко времени описываемых событий обладал большим опытом детальных минералогических исследований.

выраженными цеолитными свойствами, что согласуется с наличием в их структуре объемных полостей и широких сквозных каналов [1, 4]. В результате лабораторных испытаний фазы М34 доказана возможность его практического использования как высокоэффективного сорбента и на этой основе предложен защищенный авторским свидетельством (рис. 2) способ сухой очистки отходящих газов от двуокиси серы при производстве серной кислоты, тяжелых цветных металлов из сульфидных руд и в теплоэнергетике [18]. В 1983 г. в связи с открывшейся перспективой практического использования цирконосиликатных сорбентов в кадастр полезных ископаемых Хибинского массива внесено обнаруженное автором Тахтарвумчоррское рудопроявление минералов группы келдышита. Залегающее среди трахитоидных хибинитов, оно представлено крупным полого падающим жильным телом и сопровождающей свитой мелких жил. Главная жила мощностью 1.5-2.5 м, прослеженная по выходу на дневную поверхность на протяжении 800 м, сложена пегматоидной породой, состоящей из микроклин-пертита, канкринита, натролита, эгирина. Второстепенные и акцессорные минералы: нефелин, альбит, энигматит, щелочной амфибол, эвдиалит, циркон, лампрофиллит, ловчоррит, апатит, ильменит, флюорит, молибденит. Основным рудным минералом является фаза М34, находящаяся в тесных срастаниях с паракелдышитом и цирконом. Содержание в породе минералов группы келдышита на многих участках достигает 5-10 %. Их ориентировочные запасы в рудопроявлении составляют 25 тыс. т. Согласно устному сообщению О.Б. Дудкина, осмотревшего рудопроявление и прилегающий к нему район, проявления минералов группы келдышита, подобные описанному, прослеживаются не только в северо-восточных цирках, но и на платообразной части горы Тахтарвумчорр, что расширяет перспективы обнаружения крупных концентраций этих минералов в Хибинском массиве.

СОЮЗ СОВЕТСКИХ СОЦИАЛИСТИЧЕСКИХ РЕСПУБЛИК

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СССР ПО ДЕЛАМ ИЗОБРЕТЕНИЙ И ОТКРЫТИЙ

АВТОРСКОЕ СВИДЕТЕЛЬСТВО

№ 1096794

На основании полномочий, предоставленных Правительством СССР, Государственный комитет СССР по делам изобретений и открытий выдал настоящее авторское свидетельство на изобретение:

"Способ очистки газов от двуокиси серы"

Автор (авторы): Челищев Николай Федорович, Хомяков Александр Петрович, Беренштейн Борис Георгиевич, Смола Виктор Иванович и Лукин Виктор Дмитриевич

Заявитель: ИНСТИТУТ МИНЕРАЛОГИИ, ГЕОХИМИИ И КРИСТАЛЛОХИМИИ РЕДКИХ ЭЛЕМЕНТОВ И ВСЕСОЮЗНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ И ПРОЕКТНЫЙ ИНСТИТУТ АЛЮМИНИЕВОЙ, МАГНИЕВОЙ И ЭЛЕКТРОДНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Заявка № 2589962 Приоритет изобретения 15 марта 1976г.

Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений СССР 8 февраля 1984г.

Действие авторского свидетельства распространяется на всю территорию Союза ССР.

Председатель Комитета

Начальник отдела

Здесь необходимо сделать важное отступление, заострив внимание на географических координатах келдышитового рудопроявления, и отметить, что его положение на карте Хибин полностью совпадает в основных контурах с положением Тахтарвумчоррского месторождения молибденита [3]. На базе этого месторождения в 1930-е годы активно работал молибденитовый рудник, оставивший после себя неплохо сохранившиеся отвалы вскрышных пород, в том числе и насыщенных минералами группы келдышита. Рудник располагался в живописной местности недалеко от Ботанического сада и научной станции «Тиетта», возведенной на берегу оз. Малый Вудъявр по инициативе А.Е. Ферсмана, благодаря чему на протяжении многих лет этот район Хибин служил местом паломничества профессиональных минералогов и любителей. С учетом этого приходится удивляться, что неизвестные науке минералы, резко выделявшиеся своей снежно-белой окраской на темно-сером фоне включающей их породы, так долго оставались не замеченными. Скорее всего, они многократно попадали в поле зрения исследователей, но из-за сложности строения полиминеральных агрегатов не привлекали к себе большого внимания. Вероятно, этой сложностью и объясняется то, что начатое мной в 1966 г. исследование минералов группы келдышита, столкнувшись с большими трудностями, растянулось на многие годы и до сих пор остается незавершенным из-за безуспешности попыток описать фазу М34 на уровне современных требований, предъявляемых к характеристике новых минералов.

Изучение минералов группы келдышита потребовало от меня овладения широким комплексом тонких методов исследования кристаллического вещества, что превратило её в стартовую площадку для дальнейших минералогических открытий, определивших основное направление моей научной деятельности на многие десятилетия вперед. О результатах этой деятельности, увенчавшейся весомым вкладом в минералогическую изученность Хибин, Ловозера и Кольского региона в целом, свидетельствует статистика [11, 12] – с 1971 по 2005 гг. в щелочных массивах Хибино-Ловозерского комплекса открыто около 150 новых минералов, из которых более 80 – автором или при участии автора.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект 07-05-00084).

Список литературы

1. Воронков А.А., Шумяцкая Н.Г., Пятенко Ю.А. Кристаллохимия минералов циркония и их искусственных аналогов. М.: Наука, 1978. 182 с.

2. Герасимовский В.И. Келдышит – новый минерал // Докл. АН СССР. 1962. Т. 142. № 4. С. 916-918.

3. Лабунцов А.Н. Месторождения молибденита в Хибинских тундрах // Докл. АН СССР. 1929. № 19. С. 455-457.

4. Халилов А.Д., Хомяков А.П., Махмудов С.А. Кристаллическая структура келдышита $NaZr[Si_2O_6]OH$ // Докл. АН СССР. 1978. Т. 238. № 3. С. 573-575.

5. Хомяков А.П. Типы закономерных срастаний минералов группы келдышита // Геохимия. Минералогия. XXV Межд. геол. конгр. Докл. сов. геологов. М.: Наука, 1976. С. 233-240.

6. Хомяков А.П. Паракелдышит – новый минерал // Докл. АН СССР. 1977. Т. 237. № 3. С. 703-705.

7. Хомяков А.П. Явление наследования кристаллических структур минералов при псевдоморфизации как фактор видообразования // Генетическая информация в минералах. Вып. 31. Сыктывкар: Изд-во КФ АН СССР, 1980. С. 20-21.

8. Хомяков А.П. Типоморфизм минералов ультраагпаитовых пегматитов // Научные основы и практическое использование типоморфизма минералов. М.: Наука, 1980. С. 152-157.

9. Хомяков А.П. Минералогические особенности щелочных пегматитов Хибино-Ловозерской провинции // Развитие минералогии и геохимии и их связь с учением о полезных ископаемых. М.: Наука, 1983. С. 66-82.

10. Хомяков А.П. Минералогия ультраагпаитовых щелочных пород. М.: Наука, 1990. 196 с.

11. Хомяков А.П. Рекордный вклад Кольского региона в общую систему минеральных видов // Тр. III Ферсмановской научн. сессии. Апатиты: Изд-во K & M, 2006. С. 96-98.

12. Хомяков А.П. Ультраагпаитовые породы Хибино-Ловозерского комплекса как неисчерпаемый источник минералов с уникальными свойствами // Тр. Всерос. (с межд. участием) научн. конф. и IV Ферсмановской научн. сессии. Апатиты: Изд-во K & M, 2007. С. 202-205.

13. Хомяков А.П., Воронков А.А., Казакова М.Е. и др. Исследование минералов группы келдышита // Тр. Минер. музея АН СССР. 1975. Т. 24. С. 120-131.

14. Хомяков А.П., Воронков А.А., Лебедева С И. и др. Хибинскит $K_2ZrSi_2O_7$ – новый минерал // Зап. ВМО. 1974. № 1. С. 110-116.

15. Хомяков А.П., Казакова М.Е., Абрамова Т.А. и др. Поведение минералов группы келдышита при кислотной обработке // Новые данные по минералогии и минералогическим методам исследований. М.: Изд-во ИМГРЭ, 1977. С. 14-18.

16. Хомяков А.П., Казакова М.Е., Воронков А.А. Новые данные о келдышите // Докл. АН СССР. 1969. Т. 189. № 1. С. 166-168.

17. Хомяков А.П., Юшкин Н.П. Принцип наследования в кристаллогенезисе // Докл. АН СССР. 1981. Т. 256. № 5. С. 1229-1233.

18. Челищев Н.Ф., Хомяков А.П., Беренштейн Б.Г. и др. Способ очистки газов от двуокиси серы. АС № 1096794 от 08.02.1984 // Бюл. Открытия и изобретения. 1984. №. 21.

19. Юшкин Н.П., Хомяков А.П., Евзикова Н.З. Принцип наследования в минералогенезисе // Сыктывкар: Изд-во КФ АН СССР, 1984. Препр. № 93. 32 с.

20. Khomyakov A.P. Transformation mineral species and their use in palaeomineralogical reconstructions // 30th Int. Geol. Congr. Beijing, China, 1996. V 2/3. P 450.

История науки

К ИСТОРИИ ИЗУЧЕНИЯ ЛОВОЗЕРСКОГО ЩЕЛОЧНОГО МАССИВА: 1935-1976 гг.

И.В. Буссен
г. Санкт-Петербург

Не жалею, не зову, не плачу.
Всё пройдет, как с белых яблонь дым.
Увяданья золотом охвачен,
Я не буду больше молодым.

С. Есенин, 1921 г.

Уважаемые коллеги!

Год тому назад, в дни своего 90-летия, я получила предложение написать воспоминания об исследованиях Ловозерского массива. Тогда я, поблагодарив, отказалась, понимая, что многое забыто, что-то могло сместиться в памяти, события – потерять свое значение или, напротив, оказаться более важными, а кого-то могла невольно обидеть. Но весь этот год я вспоминаю, вспоминаю, обдумываю… Как-то неожиданно я осознала, что из тех, кто весной 1935 г. в составе Ловозерской экспедиции треста «Союзредметразведка» приступил к систематическому изучению геологии Ловозерского массива, живу только я одна. Почти вся «геологическая жизнь» моя и моего мужа и товарища в работе Алексея Сергеевича Сахарова (рис.1), оказалась связаной с этим уникальным массивом. Конечно, я многое узнала, многое знаю и помню, многому научилась, понимаю, что и мы немало сделали для изучения и освоения этого объекта. Генеральный подсчёт запасов, произведенный на основании многолетних работ большого коллектива А.С. Сахаровым, и его утверждение в ГКЗ – тому доказательство. После этого мы продолжили деятельность в Кольском филиале АН СССР (теперь Кольский научный центр РАН), где проработали до ухода на пенсию. Перед этим Алексей Сергеевич составил почти документальную записку об истории освоения Ловозерского массива. По черновикам из его архива Тамара Валентиновна Новохатская с моей помощью восстановила текст. Полагаю, эту записку следует сохранить в фондах КНЦ или архивах Геологического института. И я решила (решилась) поделиться воспоминаниями о некоторых важных, интересных и, может быть, почти анекдотичных событиях, произошедших с нами или коснувшихся нас, в том числе и о «великом противостоянии», странно закончившемся. То, что сделано и делается для познания Ловозерского массива – работа многих исследователей различных учреждений. Работа продолжается и, я уверена, будет продолжаться – этот объект неисчерпаем. Были ли у нас промахи, ошибки, недоработки? Вероятно. Год тому назад я составила список вопросов, ответов на которые мы получить так и не смогли. Может быть, теперь, в эпоху новой техники, новых методов исследования все это выглядит простым и даже моделируется в лабораториях?

Введение

Сегодня, 23 октября 2006 г., я закончила записки, инициатором составления которых являюсь не я – в этом моё оправдание. Получилось длинно, растянуто, но ведь и период, о котором я говорю – большой и важный не только для меня, но и для целого района, для жизни всей страны – с 1935 г. и почти до конца XX века. Мой рассказ – не история исследования Ловозерского массива, для этого необходим труд нескольких специалистов, использование архивов, фондов и литературных источников. Я решила поделиться воспоминаниями о своих, обычно совместных с А.С. Сахаровым, работах на этом уникальном объекте, о тех исследованиях, участниками которых мы были или которые касались нас. Я не пытаюсь хоть немного преуменьшить роль и достижения ученых и практиков, товарищей в огромном труде исследования и освоения месторождений Луяврурта, изучения его строения, состава и минеральных богатств. Работы эти продолжаются и, конечно, будут продолжаться. Я слежу за успехами последних лет, прежде всего, конечно, Геологического института КНЦ РАН и желаю коллегам дальнейших успехов в научных и производственных направлениях.

Я родилась в 1915 г. в Петрограде, выросла и училась в Ленинграде, дошкольницей побывала на Урале – в Златоусте, Тургаяке, Троицке, лазала по отвалам, узнавала «шкварец», «руду» и «шпат», решила стать путешественником. Школьницей знала, что буду геологом, зачитывалась не только записками путешественников, но и Огом, Обручевым, а немецкий «проходила» по «Unterhaltende Mineralogie» А.Е. Ферсмана. Недавно вспомнила, что там упоминалось озеро Сейдъявр в центре Кольского полуострова и была фотография скалы на берегу, видимо – Куйва! А.Е. Ферсман отводил Сейдъявру по красоте второе место после Женевского озера, а он понимал в красоте, и не только озер!

Осенью 1930 г. старшие (восьмые и девятые) классы школ ликвидировали, открыли ФЗУ и техникумы. Я с трудом (мне не было 16 лет) поступила в Геолого-съемочный техникум, окончив который намеревалась идти в Горный институт, но студент I курса Университета Виктор Франк-Каменецкий, очаровательно картавя, убеждал меня: «Ирочка, ну зачем ты идешь в Горный? Что ты там будешь делать? Иди к нам в Университет!..». Убедил. Осенью 1933 г. я поступила на геолого-почвенно-географический факультет. Через год географы создали свой факультет, а почвоведов передали биологам. Занималась я на кафедре кристаллографии – там не только учили и учились, но все занимались исследованиями. На втором курсе мы с Вероникой Соболевой занялись кристаллами нового органического соединения, и вскоре наши результаты были опубликованы, а итог – моя курсовая (III курс) работа о кристаллах лопарита пользуется спросом даже сейчас.

А.Е. Ферсмана я видела только один раз, в Большом коридоре университета в 1933 г. Академию наук уже переводили в Москву, но Музей еще год оставался от нас через дорогу, и мы бегали туда во время «окон». Из тех, кому попадут в руки мои записки, А.Е. Ферсмана наверняка никто не видел, а он играл важную роль в восстановлении геологического факультета в Университете (конец 1920-ых – 1931 гг.). Энергия А.Е. Ферсмана была неисчерпаемой, его прозвали «Шаровая молния». На первых курсах – приём 1931-1932 гг. – А.Е. Ферсман читал «геохимию», у нас же этот предмет вёл его ученик В.В. Щербина, а заканчивал П.В. Грушвицкий, студент IV курса, погибший во время войны. Весной 1935 года я, окончив II курс, попала на практику в Ловозерскую экспедицию треста «Союзредметразведка». Это и стало началом моей геологической жизни.

Начало

Весной 1935 г. несколько студентов геологического факультета ЛГУ попали на практику в организуемую трестом «Союзредметразведка» Ловозерскую экспедицию. Научным руководителем был Н.А. Елисеев, старший геолог ЦНИГРИ (ВСЕГЕИ), позже профессор, чл.-корр. АН СССР. Перед выездом «в поле» он прочёл членам экспедиции серию лекций, посвящённых изучению анатомии эруптивных тел (это мы не проходили), по методике Ганса Клооса в своей интерпретации. Согласно изложенному, по положению разных систем отдельности, линий истечения, слоёв в стратифицированных залежах, плоскостей трахитоидности и т.д. – можно установить форму, тип интрузии и направление движения эруптивного субстрата.

О Ловозерском массиве известно было мало: его посещали отдельные экспедиции, работали отряды АН СССР, руководимые А.Е. Ферсманом (конец 20-х – начало 30-х годов), и ряда других организаций. Открытие О.А. Воробьёвой (АН СССР) лопарита, до этого известного в Хибинах, и его площадного распространения С.Д. Покровским и Н.К. Нефёдовым, привлекло внимание промышленных организаций. До этого их интересовали породы, обогащённые эвдиалитом. Список литературы о Луяврурте, кроме основополагающих статей В. Рамзая, содержал всего несколько наименований. Теперь этот список занимает несколько страниц и продолжает расширяться.

База экспедиции располагалась в с. Ловозеро (Ловозерский Погост), до которого от железнодорожной ст. Пулозеро предстояло идти пешком: дорога еще строилась[1]. Шли 44-48 часов, с одной 6-часовой ночевкой и несколькими короткими остановками. Ловозеро нас поразило – казалось, попали в допетровскую эпоху: тихо, просторно, по улицам не шли, а «плыли» (подобным образом «плывут» танцовщицы ансамбля «Березка») коми-ижемки в своеобразных нарядах, мужчины в тёмных косоворотках или рваных малицах, женщины – и ижемки, и саамки (лопарки) – были в кокошниках и шалях, часто в своеобразных светлых накомарниках. Село речкой Вирма делилось на две стороны – «ижемскую», с добротными пятистенками и даже двухэтажными домами с амбарами, и «лопарскую», с низенькими избушками. На этой стороне был и центр: церковь, превращенная в «кино», райком и школа-интернат (двухэтажные здания), магазин, столовая и пекарня. Новая больница была на «ижемской» стороне (врача не было, а фельдшер отправился ловить сбежавшую жену). Русских было мало – главным образом, сотрудники экспедиций. Преобладающее население – ижемцы и саами, которых ижемцы считали «туземцами», было и несколько семей ненцев – типичных палеоазиатов. Русский язык знали (во всяком случае, понимали и владели «фольклором») все. Было ли электричество – не помню, ведь был круглый день, но автомашин и моторных лодок не было. К осени, когда достроили дорогу, все это появилось.

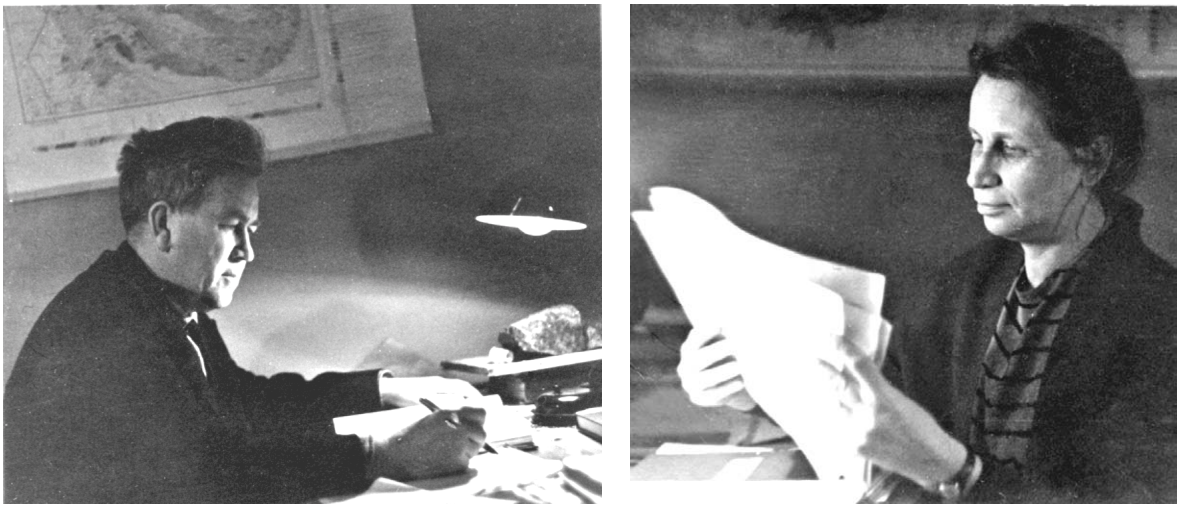


Рис. 1. И.В. Буссен и А.С. Сахаров за работой.

[1] Когда я сказала об этом дома, моя тётушка, работавшая в «УШОССДОРе», заявила, что дорога уже построена. Но мы-то шли эти 93 километра пешком, то по грунтовке, то по гати, по просеке, речки переходили по брёвнам. Осенью возвращались уже на «полуторках».

Задачей экспедиции были поисково-разведочные работы на полосе выходов лопаритовых луявритов – мощных горизонтов, но бедных руд, геологическое картирование масштаба 1:50 000 на глазомерной основе. В экспедиции было три партии: Аллуайвская (северо-западная часть массива), Вавнбедская (северо-восточная часть) и Нинчуртская (в южной половине массива). База экспедиции располагалась в Ловозере. Для каждой партии были ещё зимой подготовлены базы: барак, склад, пекарня и баня. Груз завозился зимой на оленях, приехавшие весной сотрудники расходились по своим участкам пешком – по тропам или на лодках. Я, окончившая два курса, оказалась младшим коллектором геолого-съёмочного отряда Нинчуртской ГРП. Начальником отряда был А.С. Сахаров, старшим коллектором – Костя Трунин из Горного института, рабочим – 18-летний Володя Киенков.

Рис. 2. Нинчуртская ГРП отправляется к месту работы из Ловозера, около 8 июня 1935 г. (я на носу лодки, с белым воротником – Оля Римская-Корсакова, в белом берете – Варя Краснова, стоит на корме – старший коллектор Фосс. Автор снимка неизвестен.

Из Ловозера наша партия отправилась на лодке по Вирме (рис. 2) и оз. Луявр к заливу Мотка-губа (Метх-Лухт)[2]. Перейдя перешеек, мы вышли к оз. Сейдъявр, лежащему в кольце гор почти в самом центре Ловозерских тундр. И остановились, пораженные не только красотой его ярко-синей воды, но, как и наши предшественники – полосчатыми обрывами окружающих его плосковершинных гор (рис. 3 а, б). Здесь эта черта строения массива проявлена наиболее ярко. База партии располагалась на юго-восточном берегу озера, а первый лагерь нашего отряда у озерка, в верховьях долины руч. Чивруай. Забросили нас туда «на людях» (рис. 4), т.е. рабочие геологоразведочного отряда. Следующий лагерь был у южного подножия массива.

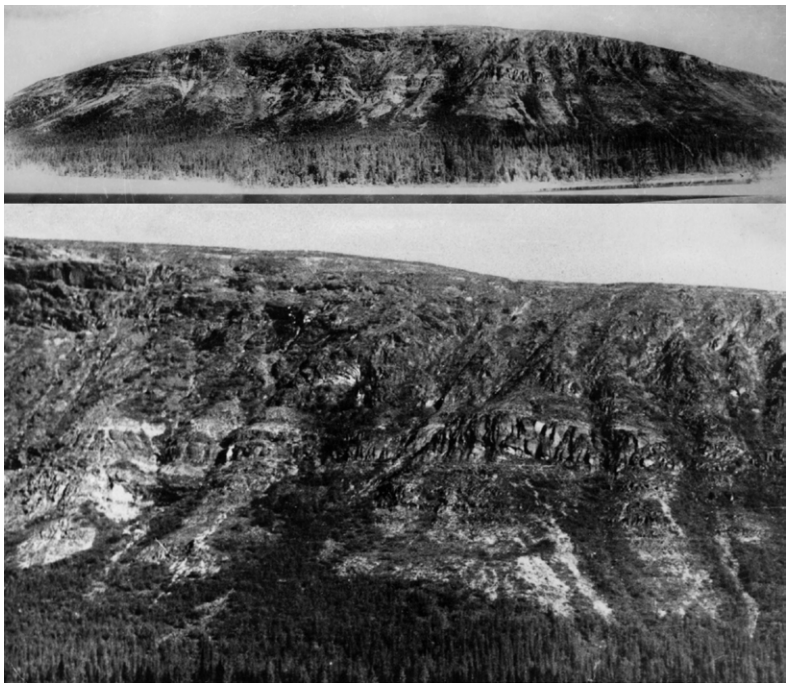


Рис. 3 а. Вверху – «полосчатые» скалы южного обрыва г. Куамдеспахк к Сейдозеру. Темные породы вверху – эвдиалитовые луявриты. Внизу – деталь обрыва. Автор снимка неизвестен.

Я занималась коллекторской работой, прошла несколько самостоятельных маршрутов. Было интересно, необычно. В эруптивной природе массива сомнений не возникало, но о подобном строении интрузивных тел мы не знали, да и щелочные породы в Университете «не проходили». Глобальными вопросами, связанными со щелочными массивами, я раньше не занималась, но один глобальный вопрос меня очень интересовал уже 5 лет. О нём следует сказать особо!

В середине лета, на базе партии, было проведено с участием московского «большого» начальства производственное совещание (рис. 5). На нем Н.А. Елисеев изложил свою схему строения массива, основанную на его интерпретации метода Г. Клооса и данных геологов экспедиции: «Ловозерский массив – сложное пластообразное тело («shield-like body»), внедрившееся с запада на восток (или с востока на запад) в почти горизонтальную полость, состоящее, в основном, из двух расслоенных комплексов, залегающих почти согласно. Относительный возраст этих комплексов был ясен – многочисленные дайки эвдиалитовых луявритов пересекали залегающий ниже расслоенный «лопаритоносный комплекс» луявритов-

[2] Саамы (лопари) гребут, на наш взгляд, странно – сидя лицом по ходу лодки; как гребут ижемцы – не помню, но наш постоянный лодочник, 16-летний саам «Килограмм-Ванька» обгонял дюжих студентов. Но теперь-то у всех «моторки»!

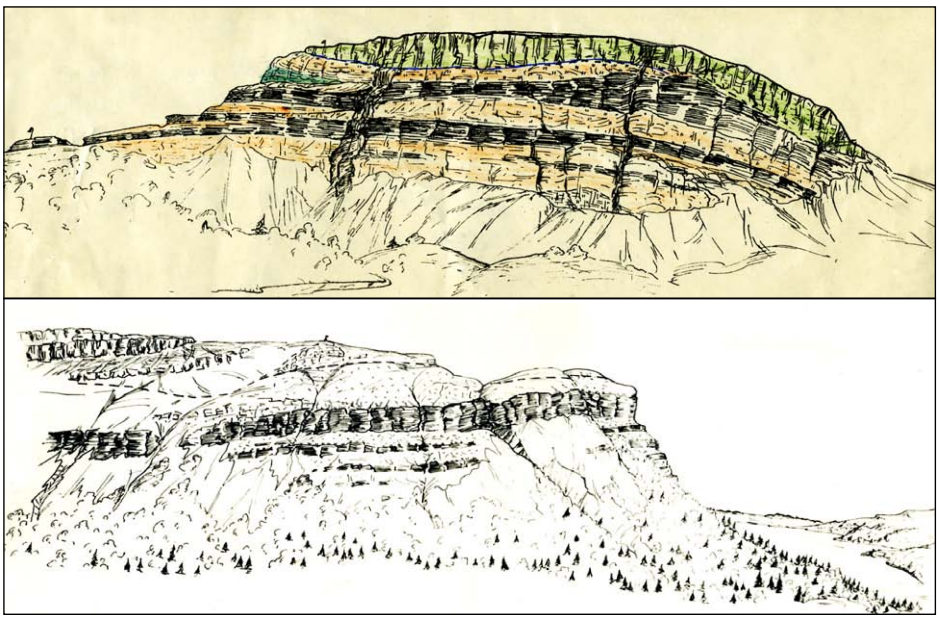


Рис. 3 б. Обрывистые склоны плато г. Куйвчорр к оз. Сейдъявр. Темные скалы вверху обрыва – эвдиалитовые луявриты, ниже – чередующиеся луявриты и фойяиты III-го комплекс-плутона (луявритов-фойяитов-уртитов). Рис. И. Буссен, 1935 г.

фойяитов-уртитов. Слои, обнажающиеся по периферии массива – донные, мощность массива около 1000 метров». Геологи промолчали, и только мой начальник выступил с критикой этого построения, утверждая, что прав В. Рамзай, относивший Хибинский и Ловозерский массивы к лакколитам, что слои пород, обнажающиеся по периферии гор, не являются донными, массив уходит на глубину, всюду, где обнажается контакт, он падает под массив, мощность которого неизвестна; слои пород не параллельны контактным поверхностям, а ведь эти положения и определяют перспективу месторождения.

Так началось «великое противостояние», продолжавшееся почти до самой смерти Н.А. Елисеева, который, вопреки данным геофизических работ, результатам бурения и проходки горных выработок, продолжал отстаивать свою точку зрения. И только в монографии «Основы структурной петрологии»[3] , вышедшей, к сожалению, уже после смерти автора, вскользь, без ссылок, упомянуто, что «Хибинский и Ловозерский плутоны относятся к интрузиям центрального типа».

Последний месяц полевого сезона 1935 г. я проработала с Олей (Ольгой Михайловной) Римской-Корсаковой. Мы проводили детальную (масштаба 1:1000) геологическую съёмку на инструментальной основе разведочного участка на г. Нинчурт и документировали канавы (рис. 6). Я помогала Оле собирать лоренценит (рамзаит) для ее дипломной работы, а она поделилась со мной коллекцией лопарита – для моей курсовой.

Главные результаты полевых работ «Союзредметразведки» этого лета – конечно, открытие Аллуайвской ГРП (боюсь ошибиться) лопаритовых малиньитов – богатого, хотя и маломощного рудного горизонта, что и определило направление дальнейших работ. Были установлены формы и строение главных комплекс-плутонов, оконтурены выходы остальных групп пород, составлены разрезы, опробованы на значительных площадях мощные горизонты лопаритовых луявритов, обнаружены лопаритсодержащие ювиты в комплекс-плутоне эвдиалитовых луявритов. Ещё летом было замечено, что эвдиалит в породах комплекс-плутона эвдиалитовых луявритов идиоморфен, а в породах комплекс-плутона луявритов-фойяитов-уртитов – ксеноморфен. На связь формы двойничков лопарита с породой, откуда они взяты, я обратила внимание зимой, тогда же стало ясно, что лопарит – не кубический, а псевдокубический минерал.

Рис. 4. Переброска лагеря геолого-съемочного отряда Нинчуртской ГРП в долину руч. Чивруай, июнь 1935 г. Автор снимка неизвестен.

Позже связь форм зёрен минералов с породой, откуда они взяты, подтвердилась на многих примерах, и ловозерские геологи по штуфу могли сказать, из какой породы,

[3] М: Наука, 1967, с.211.

какого горизонта он взят – это явление обозначили как «скрытая расслоенность». Изучение слоистого строения комплексов пород, их первичной расслоенности – важная часть работы. Горизонт лопаритовых малиньитов, в северо-западной части массива имеющий мощность до полуметра, прослежен по всей его периферии, хотя в остальных частях его мощность не превышает 3-4 см. Установление постоянства разреза и закономерности чередования слоёв пород комплекс-плутона луявритов-фойяитов-уртитов – важный результат работ лета 1935 г. В комплекс-плутоне эвдиалитовых луявритов расслоенность проявлена менее отчетливо. Различающиеся по составу и структурно-текстурным особенностям породы часто залегают в виде линз, не образуя слоев большой протяженности, хотя определённый порядок чередования горизонтов намечался и здесь. В. Рамзай связывал щелочные интрузии Кольского полуострова с герцинским диастрофизмом. Определение отпечатков растений из ксенолитов вмещающих пород, обнаруженных А.В. Ванидовской и С.Д. Покровским, показало их постдевонский возраст[4]. Последующие радиологические определения не опровергли этого.

Рис. 5. Производственное совещание на берегу оз. Сейдъявр. Слева – Костя Трунин, старший коллектор геолого-съемочного отряда; еще левее – Варя Краснова, коллектор разведчиков; за ней – Аня, геофизик; ведет протокол (в берете) Оля Римская-Корсакова; за ней – я; во главе стола – «большой начальник» из Москвы; правее – М.Л. Золотарь, начальник ГРП; рядом – А.С. Сахаров, начальник отряда; далее – Н.А. Елисеев, консультант; у края стола – опять начальник (из Ленинграда). Во втором ряду В.Ф. Масленников, кто в «пыжиковой» шапке – не знаю, с ним рядом – прораб В.Ф. Плешков. 1935 г. Автор снимка неизвестен.

При камеральной обработке много внимания уделялось петрографическому исследованию собранных материалов как щелочных, так и вмещающих пород, было уточнено название многих разновидностей, произведено несколько химических анализов, дана оценка перспектив ряда лопаритсодержащих горизонтов. При сводке карт трещинной тектоники, сделанных отдельными отрядами, обнаружилось, что геологи по-разному определяют одну и ту же систему трещин. С трещинами «С» («лежачими») было все ясно, а вот те, что у одних определялись как «S», у других были приняты за «Q», и выходило, что магма в разных частях полости вращалась и двигалась в разные стороны, и подводящие каналы находились в разных местах! Нас, студентов, это веселило, но дело было в том, что методика была несовершенна или её не поняли исполнители. Конечно, это не значит, что фиксировать положение трещин не надо. Много внимания уделялось и петрографии вмещающих пород, встречающихся в виде ксенолитов в теле массива и у его внешних контактов. Особенно интересным был ксенолит, в котором контактировали гнейсы и сланцы. Обнаруженный на г. Киткньюн контакт этого ксенолита с вмещающими породами определен как стратиграфический.

В итоге камеральной обработки материалов было получено много данных для характеристики главной особенности Ловозерского массива – его первичной расслоенности, форм её проявления, степени совершенства в различных комплекс-плутонах, но причины её возникновения остались неустановленными. Неясны они, по-видимому, и сейчас. К весне были составлены геологические схемы всех участков работ, написаны отчёты.

Летом 1936 г. геологоразведочные и поисковые работы были сосредоточены в северо-западной части массива – прослеживался и опробовался горизонт лопаритовых малиньитов, горизонты ювитов и уртитов, содержащих лопарит в других частях массива. Небольшие работы были проведены на линзовидных телах какортокитов – обогащённых эвдиалитом линзовидных участков в теле эвдиалитовых луявритов, брались пробы и содержащих лопарит порфировидных ювитов в этом же комплекс-плутоне. Весь массив картировался на инструментальной основе в масштабе 1:25 000. Я, уже в качестве прораба-геолога, начальника отряда (кроме меня, в него входил мой прошлогодний рабочий Володя), получила задание на картирование центра массива явно безрудного, но, пожалуй, с самым сложным рельефом (рис. 7). Почти треть площади занимало оз. Сейдъявр. Обнажённость была прекрасная – скалистые обрывы руч. Муруай, Уэлькуай, Сейдуай, низовья долин Элемарайк, Матчисуай, Тавайок. До начала работ мне пришлось с бригадой рабочих две недели заниматься оконтуриванием и опробованием какортокитов на г. Энгпор.

---

[4] Елисеев Н.А., Ванидовская А.В., Покровский С.Д., Сахаров А.С., Унксов В.А. О палеозое в центральной части Кольского полуострова // Пробл. сов. геол. 1937. № 4.

Рис. 6. Документация канав на разведочном участке г. Нинчурт. Слева – я, справа – Варя Краснова. Осень 1935 г. Фото О.М. Римской-Корсаковой.

База партии, как и раньше, была у г. Нинчурт. Свой первый лагерь я поставила у юго-западной оконечности Сейдозера, а первый маршрут был в верховьях дол. Мотчесуай. Выйдя из зоны кустарников, я остановилась в изумлении: на крутых обнажённых склонах были ясно видны крупные, в сотни метров, глыбы (ксенолиты?) рассло-енных пород комплекс-плутона луявритов-фойяитов-уртитов среди темных эвдиалитовых луявритов, повернутых под разными углами. Значит, здесь, в центре массива, а не на западе или востоке, были «корни» интрузии, прорыв магмой одной фазы интрузии – уже консолидировавшихся пород другой, более ранней фазы? Здесь ломались все построения Н.А. Елисеева! Или я ошибалась? Я сразу же отправилась на базу и попросила Н.А. Елисеева, консультанта экспедиции, пройти со мной и осмотреть эти обнажения, понимая их важность. В ответ я услышала резкое: «Я всякие глупости смотреть не буду». Но ведь там были не «глупости», а решение важнейшей проблемы!

В отчаянии я обратилась к своему соседу с юга, А.С. Сахарову, с просьбой осмотреть эти выходы. Он согласился, поняв важность наблюдаемых взаимоотношений пород для решения основных вопросов геологии Луяврурта, и предложил мне зафиксировать все так, как есть. Позже, по выходам пород комплекс-плутона луявритов-фойяитов-уртитов на плато, среди эвдиалитовых луявритов, т.е. также ксенолитов, но меньших размеров, нам удалось наметить контур ареала прорыва, дугой охватывающего котловину оз. Сейдъявр. После войны, работая с материалами экспедиции за те годы, мы обнаружили в дневниках В. Турова запись о том, что подобные ксенолиты меньших размеров он встречал в обрывах цирков Раслака и на северо-западных склонах массива. Не придал он этому значения или не хотел ссориться с начальством – не знаю. Валя Туров погиб на войне. Он был студентом нашего Университета, на курс старше меня.

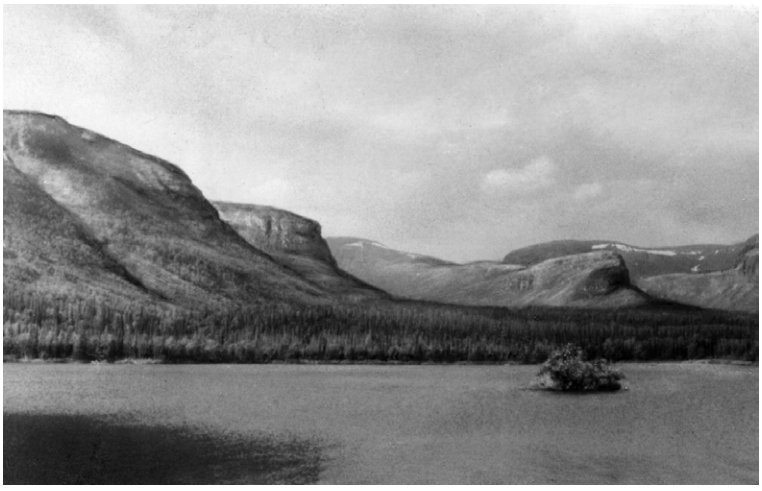


Рис. 7. Мой планшет 1936 г. Западный конец оз. Сейдъявр. Рельеф резко расчлененный. Вид с востока. Фото С.В. Икорского.

К осени съёмка массива была закончена, предстояло составление сводной карты. Для этого на следующее лето 1937 г. была создана «увязочная партия» с целью осмотра мест, вызывающих споры и сомнения, уточнения положения границ некоторых объектов, «сбойки» границ планшетов, «снятия» возникших вопросов. Начальником партии был Н.А. Елисеев, геологом А.С. Сахаров, прорабами – я и Ц.Г. Златкинд, рабочие были прежние – Тимофей и Володя Киенков. Полученный материал позволил приступить к составлению сводной геологической карты массива масштаба 1:25 000 и окончательного отчёта. Отчёт был оформлен к весне 1938 г., к этому же времени было опубликовано несколько статей, посвящённых Ловозерскому массиву. Следует напомнить, что в этот период (т.е. 1935-1938 гг.) продолжались научные работы отрядов как центральных институтов АН СССР, так и её Кольской базы. Прекратились они только с началом войны, но возобновились после ее окончания, давая интереснейшие результаты в области минералогии и геохимии. Не прекратились и геологоразведочные работы, намечались места заложения горных выработок, шла подготовка к эксплуатации месторождения, была построена опытная обогатительная фабрика. Война прервала все работы, фабрика была демонтирована.

А я – все ещё во власти воспоминаний. И решила для себя определить, что же было самым главным в моей многолетней (почти 30 лет!) работе на Ловозерском массиве? Пожалуй, то, что студенткой после 3-его курса, уже не младшим коллектором (как в 1935 г.), а в должности прораба-геолога (1936 г.), в первом же маршруте увидела и осознала значение разломов, ксенолитов III комплекс-плутона в IV-ом, ломавших построения научного руководителя экспедиции Н.А. Елисеева в пользу выводов В. Рамзая и отстаивавшего их А.С. Сахарова о

принадлежности Ловозерского плутона к интрузиям центрального типа (лакколитам). В. Рамзай понял это в результате всего нескольких (м.б. и одного, не помню) пересечений! (В отчёте экспедиции за 1935-38 гг., редактированном Н.А. Елисеевым, вскользь, без попытки интерпретации, как о мелочи сказано, что обнаружены ксенолиты пород III комплекс-плутона в IV-ом, а ведь для формы, строения и генезиса массива это было определяющим! Геологи молчали, то ли не поняли значения этого факта, то ли не хотели ссоры с начальством? А.С. Сахаров к окончанию отчёта уже был уволен, а я не работала … училась.)

Геологоразведочные работы в Ловозерском массиве возобновились летом 1946 г. экспедицией треста № 1 «Средмаша» и сразу получили большой размах. Было завезено много техники, началось строительство домов, прокладка дорог. К разработке методики опробования и петрографическим исследованиям привлекли группу проф. Н.В. Иванова (ЛГИ). В экспедицию вернулись многие довоенные сотрудники, в группу Н.В. Иванова включился и демобилизованный А.С. Сахаров[5] . Весной 1947 г. он перешёл в экспедицию и уехал в Ловозеро, а летом к нему присоединилась и я. Основное внимание было направлено на подготовку материалов для ввода месторождения в эксплуатацию, прежде всего, для подсчёта запасов. Несколько лет продолжалась деятельность группы Н.В. Иванова, полевые исследования проводили отряды нескольких институтов АН СССР: группа К.А. Власова, позже к ним присоединились молодые исследователи Е.И. Семенов, И.Л. и Р.П. Тихоненковы, еще позже А.П. Хомяков, не прекращал деятельность В.И. Герасимовский, вернулся к ловозерской проблеме Н.А. Елисеев, отдельные маршруты совершали работники Кольской базы АН (вскоре переименованной в Кольский филиал АН). Из печати стали выходить статьи и монографии. Книги К.А. Власова, М.В. Кузьменко и Е.М. Еськовой (1953), Н.А. Елисеева и Э.Е. Фёдорова (1953) привлекли к Луяврурту широкое внимание. В работу включились институты ГИРЕДМет и Механобр, развернулись геофизические исследования, охватившие весь массив. «Средмаш» интересовали не только титан, ниобий, тантал и цирконий, но и «тяжелые элементы», а средств у этого министерства хватало. Бурение и проходка горных выработок сосредоточились в северо-западной части массива, но разносторонние обследования и поисковые маршруты охватили весь массив. Базы создавались и в других местах, строились дороги, временные и постоянные здания, для связи и переброски людей и грузов использовались даже вертолёты. База экспедиции, как и прежде, была в Ловозере, село стало быстро разрастаться, население, пусть и временное, увеличивалось.

А.С. Сахаров с техником-радиометристом Н. Улыбышевым обследовал многие объекты на территории всего массива, особенно детально – выходы пегматоидов и лопаритсодержащих пород. Мне пришлось заниматься опробованием выходов лопаритсодержащих пород на поверхность, горных выработок и керна буровых скважин перспективных горизонтов и вмещающих пород. Результаты работ публикации не подлежали. Группой Н.В. Иванова был разработан интересный метод определения содержания лопарита по разрезу рудной залежи и вмещающих пород, а также проводилось детальное петрографическое изучение всей рудовмещающей толщи, её химизма и состава отдельных минералов. Выросла точность работы лабораторий и оказалось, что различен не только облик одноименных пород из разных горизонтов (что было подмечено еще в 1935 г.), но также облик[6] и состав отдельных минералов . Эти явления были в своё время обозначены как «скрытая расслоенность».

Сопоставление химических анализов различных горных пород из разных комплекс-плутонов показало, что состав эруптивного субстрата закономерно меняется от одной фазы интрузии к другой, последовательно возрастает содержание железа, в более поздних породах преобладают меланократовые разновидности[7]. Породы первой фазы интрузии почти белые, розоватые или светло-серые, второй – светло-серые, желтоватые, меланократовые разновидности редки. В комплекс-плутоне третьей эруптивной фазы чередуются горизонты светлых и тёмных, почти чёрных пород, причём на глубине доля лейкократовых пород возрастает. Породы четвертой эруптивной фазы – эвдиалитовые луявриты – в обнажениях выглядят чёрными (вблизи они тёмно-зелёные или тёмно-серые), их жильные разновидности зеленовато-серые, светлых пород нет. Тьозиты, образующие маломощные секущие жилы, чёрные.

В этот период сотрудники многих центральных учреждений получили возможность посещать интересующие их объекты и за рубежом. Ловозерцев в первую очередь привлекали щелочные массивы Гренландии, близкие (но меньшего размера) родственники нашего Ловозера. И у нас публиковались статьи и книги об этих объектах, даже открывались новые для них минералы! К 1951 г. был получен обширный материал, касающийся Ловозерского массива – его геологии и месторождений, что позволило А.С. Сахарову подготовить и защитить в 1952 г. кандидатскую диссертацию.

Данные буровых, горнопроходческих, геофизических работ и результаты опробования позволили приступить к генеральному подсчёту запасов лопарита в месторождениях Ловозерского массива, необходимого обоснования для строительства комбината, дорог и посёлков. Подсчёт запасов произвёл А.С. Сахаров с техниками-геологами О.П. Силичевым и Е.С. Брагиной, а также коллектором Г.П. Каневой. Геологическую часть представила я. Консультировал работу проф. Н.В. Иванов (ЛГИ). После защиты отчёта по подсчёту запасов в ГКЗ

---

[5] Сразу же восстановился в аспирантуре.

[6] Тут я вспомнила свою курсовую работу 1936 г.!

[7] …что не вяжется с теорией гравитации при объяснении возникновения расслоенности.

мы перешли в Кольский филиал АН СССР, считая необходимым продолжить изучение первичной расслоенности как Ловозерского, так и некоторых других массивов. Н.А. Елисеев в то время сотрудничал с Кольским филиалом АН СССР и сразу же поставил перед Президиумом ультиматум: «Или Сахаров, или я». А.В. Сидоренко выбрал Сахарова.

В Кольском филиале для научной работы были хорошие условия. Мы получили возможность закончить и обработать огромный материал, накопленный за долгие годы работы, выступать с докладами и сообщениями, принимать участие в совещаниях не только на Кольском полуострове, а главное – публиковать итоги разносторонних исследований. Появилась серия статей как наших, так и с соавторами, касающихся самых разных сторон Луяврурта – от геоморфологии до редких и новых минералов. Наш сын Ярослав, старшеклассником принимавший участие в экспедициях, обнаружил в ксенолите сланцев на г. Куамдеспахк отпечатки растений лучшей сохранности, чем ранее. Их изучение (Н.М. Петросян, ВСЕГЕИ) показало связь бассейнов Кольского п-ова с Тиманом и Минусинской котловиной, подтвердив один и тот же период образования сланцев. А.В. Сидоренко представил эту работу для опубликования в «Докладах АН СССР» (1969, т. 188, № 1). Итогом наших исследований Ловозерского массива в качестве сотрудников Геологического института стали две монографии. Ранее, работая в промышленных организациях, из-за их специфики мы были лишены возможности публиковать итоги трудов и выступать где бы то ни было, кроме своего треста или министерства. Список наших печатных работ (совместных, индивидуальных или с соавторами) содержит более 50 наименований, об отчётах я не говорю, но главными, конечно, являются монографии: (1) Буссен И.В., Сахаров А.С. Геология Ловозерских тундр. Л.: Наука, 1967; (2) Буссен И.В., Сахаров А.С. Петрология Ловозерского щелочного массива. Л.: Наука, 1972.

Теперь мы получили широкую возможность заниматься научными разработками. А.С. Сахаров – первичной расслоенностью, прежде всего, комплекс-плутона луявритов-фойяитов-уртитов, причем не только в верхних, но и в глубинных частях массива. Буровые давали всё новый и новый материал, была возможность посещать и дополнительно обследовать места, вызывающие сомнения, осматривать аналогичные объекты в других регионах. Я же сосредоточилась на исследованиях минералов, сборах необходимых данных из разных источников, составлении сводки всех данных по лопариту, расчётах его химических анализов. Занималась и эвдиалитом. Не раз поднимался вопрос о возможности его использования в качестве циркониевой руды. Два года я занималась ловозерито-мурманитовыми порфировидными луявритами – своеобразными дериватами эвдиалитовых луявритов, породами, обогащенными танталом и ниобием, что послужило материалом для кандидатской диссертации, которую я защитила в мае 1961 г.

Рабочие отношения и постоянные деловые контакты, сохранившиеся с сотрудниками геологической службы комбината, несмотря на различные взгляды на форму и строение массива[8], давали нам возможность получать новые и интересные материалы. Мы посещали горные выработки, их музей, просматривали керн глубоких скважин, приняли участие в изучении, наряду с сотрудниками центральных институтов, уникальной пегматоидной залежи «Юбилейная». Новые минералы открывались один за другим, что дало материал для серии статей. В штольне «Центральная» задокументировали сброс. Публикуя новые данные, мы привлекали в качестве соавторов коллег из лабораторий Кольского филиала, а также работников ЛГОКа.

В течение целого ряда лет А.С. Сахаров с Т.В. Новохатской редактировал выпуски «Геологической изученности СССР. Т.1. Мурманская область», совмещая эту работу с изучением керна из всё более и более глубинных горизонтов Луяврурта, пытаясь установить закономерности изменения их химического и минерального состава, текстурно-структурных особенностей и оруденения в поисках ответа на главный вопрос, возникший перед нами в первую же минуту появления на берегу оз. Сейдъявр. Закончить эти исследования не удалось. Статья, подготовленная для печати, осталась неопубликованной. За обозреваемый период много стало известно о первично-расслоенных массивах разного состава в разных регионах и о Ловозерском массиве. Что-то удалось сделать нам, но и заканчивая работу, посетив ряд аналогичных объектов, проштудировав огромный объём литературы, мы не получили ответа на главный вопрос: где, когда и почему магматический субстрат различного состава расслаивается (разделяется, дифференцируется, распадается)? Повторю: может быть теперь, в эпоху новой техники, новых технологий и новых методик это уже ясно? Вряд ли.

Возможно, в нашей работе были ошибки, недоработки, промахи. Но ЛГОК, два поселка, дороги, индустриально развившийся Ловозерский район – они ведь есть! Заканчивая рассказ о большом и важном периоде не только нашей – моей и А.С. Сахарова – работы, но и жизни Кольского полуострова, не только о судьбе Ловозерского массива, но и всего Ловозерского района, не могу не вспомнить с благодарностью коллектив Кольского филиала АН СССР и его Геологического института, руководителей, у которых мы встречали поддержку, сотрудников отделов и лабораторий, библиотек. Мы имели возможность выезжать «в поле», посещать интересующие нас объекты. Так, я работала в Хибинах, Африканде, посетила Монче-тундру. А.С. Сахаров поработал на массиве Застейд-2, посетил дайки Сайда-губы, занимался Ковдором, произвёл несколько наблюдений в Монче-тундре и Хибинах. В этих горах он работал ещё студентом. Условия для работы были очень хорошие. Особенно я благодарна Свет-

---

[8] Геологи комбината любезно предупредили нас, что в этом вопросе «стоят на точке зрения Н.А. Елисеева». Мы не переубеждали их, ведь к этому времени их горные выработки и буровые на сотни метров углубились в тело массива, оставив позади «донные слои» Н.А. Елисеева. Это и доказало, что слои пород не параллельны контактам поверхности.

лане Андреевне Егоровой – моей многолетней помощнице и товарищу (рис. 8). С ней и сейчас у нас добрые отношения. Не перестаю удивляться энтузиазму, преданности делу, увлеченности Юрия Павловича Меньшикова, много сделавшего и для Хибин, и для Ловозерского массива. Минералы, названные нашими именами – трогательное признание нашего вклада в изучение уникальнейшего геологического объекта. Как мне, студентке, окончившей два курса геологического факультета ЛГУ, повезло, когда я попала на практику в Ловозерскую экспедицию!

Рис. 8. Мы со Светланой Андреевной Егоровой (слева) на плато Нинчурт. 1957 г. Фото А.С. Сахарова.

Спасибо всем – руководителям, колелгам и помощникам в работе. Особенно я благодарна Тамаре Валентиновне Новохатской за труд, вдохновивший меня на эту работу, почти на подвиг, за её готовность помочь и поддержать! Прекрасно иллюстрированная монография И.В. Пекова (Ловозерский массив: история исследования, пегматиты, минералы. М.: Земля, Экост, 2001), изданная не только на русском, но и на английском языках, я уверена, привлечёт внимание широкого круга читателей, и не только геологов. Ещё раз – спасибо! Желаю успехов всем «ловозерцам». Сокровища этого массива неисчерпаемы! «Девушка, воспитанная в щелочной среде» – так много лет назад прозвал меня, студентку, проф. Н.Г. Судовиков. Теперь я знаю, что расстаться с работой можно, хотя и трудно. Но расстаться со специальностью – нельзя.

Эпилог

Расставшись с работой, я уехала на несколько месяцев на родину своей науки – в Саксонию (Германия). Эльба в верхнем течении прорезает плато, сложенное мелкозернистым песчаником, образуя сильно изрезанные районы «Саксонской Швейцарии». Здесь же, на плоских вершинах – замки и крепости, за ними – огромные каменоломни. Из этих светлых песчаников построено много зданий и городов в Германии, особенно в Саксонии и Тюрингии. Песчаник мягкий, без явной слоистости, легко поддаётся обработке, и всё кружево саксонского барокко – резьба (наше кружево позднего барокко – лепнина). Но цемент песчаника карбонатный, с примесью марганца и, увы, потока автомобилей не выдерживает, темнеет, нуждается в реставрации.

Но меня влекли не только замки, дворцы и музеи Дрездена, богатства его «зелёных подвалов» – аналога «Оружейной палаты» и Картинной галереи. Я многократно посещала Рудные горы – места, где задолго до средневековья, ещё во времена римских походов, зародились горное дело и геологическая наука. По лёгкому, почти воздушному мосту, переехав долину р. Мульда, оказываешься в особом мире: шахты, устья штолен, отвалы, подвесные дороги, обломки ярко-жёлтой породы на шоссе – разработка богатств Рудных гор продолжается. Бросаются в глаза остатки мощённых камнем дорог и акведука римской эпохи. Компактный городок Фрейберг в старой части застроен трёх- и четырёхэтажными домами начала второго тысячелетия – вид музейный, но «начинка» современная. На подоконниках изумительные образцы, чаще всего – серебро-свинцовых руд и минералов – царство горняков. Некогда курфюрст этого края разрешил свободную добычу полезных ископаемых, и вот наглядный результат свободного предпринимательства – край разбогател, развились науки и ремёсла. В центре городка – великолепный собор с органом. Его копия – в Пушкинском музее в Москве. Богатый дом Гильдии, экспозиции предметов горняцкого быта и Минералогический музей, вероятно, богатейшие в мире. Великолепны не только коллекции серебро-свинцовых руд из Рудных гор, но и минералов со всего мира.

Несколько отработанных штолен и шахта превращены в музеи, обслуживаемые шахтерами-пенсионерами в парадных шахтерских костюмах. Здесь вам покажут всё: от штольни с промытой рудной залежью и гружёной вагонеткой (при входе – просьба ничего не трогать!), весь процесс дробления, промывки на старинном оборудовании в средневековом здании – до горсточки концентрата. А у выхода – витрины со штуфами, их можно приобрести в качестве сувенира. Узнав, что мы геологи из России, разрешили в штольне ходить одним, без сопровождающих, и подарили на память изящно оформленный штуф «пикнита» – руды, типа пегматита, с оловянным камнем! Бродить по городку и посещать музей можно бесконечно. Побывала я на заводах Цейса, фарфоровой фабрике и в лаборатории алхимика… Потрогала кафедру, за которой Лютер писал свою библию! А стенку с чернильным пятном от брошенной в черта чернильницы увезли, вырубив, американцы!

Удивила и обрадовала встреча с кусочком «лесотундры» – милого сердцу пейзажа на высоком плато (+ 910 м) на границе с Чехословакией – заповедник «Хох-мор»: мхи, болотца с пушицей, осока, кочки (у одной кочки – табличка «клюква», это подарок из Скандинавии, но какое из растений именно клюква, сотрудники музея не знали и были разочарованы, когда я показала им плети с мягкими листочками), осинки, сосенки с мягкими и более длинными иголками, чем наши. А внизу, в долинах, розовое море цветущих персиковых деревьев и красные крыши городков!

К ИСТОРИИ ОТКРЫТИЯ ПЛАТИНОНОСНОСТИ ФЕДОРОВО-ПАНСКОГО ИНТРУЗИВА 1986-1990 гг.

Н.Н. Веселовский
г. Санкт-Петербург, e-mail: V-Nik@mail.ru

Федорово-Панский интрузив (ФПИ) многие годы рассматривался как никеленосный; на его изучение по никелевым проектам израсходовано более 8 млн. $. Последний, самый крупный проект по отрасли «Никель» был реализован в 1986-1990 гг. Печенгской ГРП ПГО «Севзапгеология» под руководством В.А. Тельнова и А.М. Калуги. В связи с этим проектом в Геологическом институте КФ АН СССР (ныне КНЦ РАН) в 1986 г. начались научные исследования никеленосности объекта. Исследования выполняли Н.Н. Веселовский (отв. исполнитель), В.С. Докучаева, С.А. Ражев, А.Ф. Трошков. В полевых работах в разные годы участвовали Д.А. Орсоев, Н.Ф. Бруснецов, А.Ю. Барков, М.Ф. Лялина, Т.В. Рундквист, Ю.Н. Яковлев и другие.

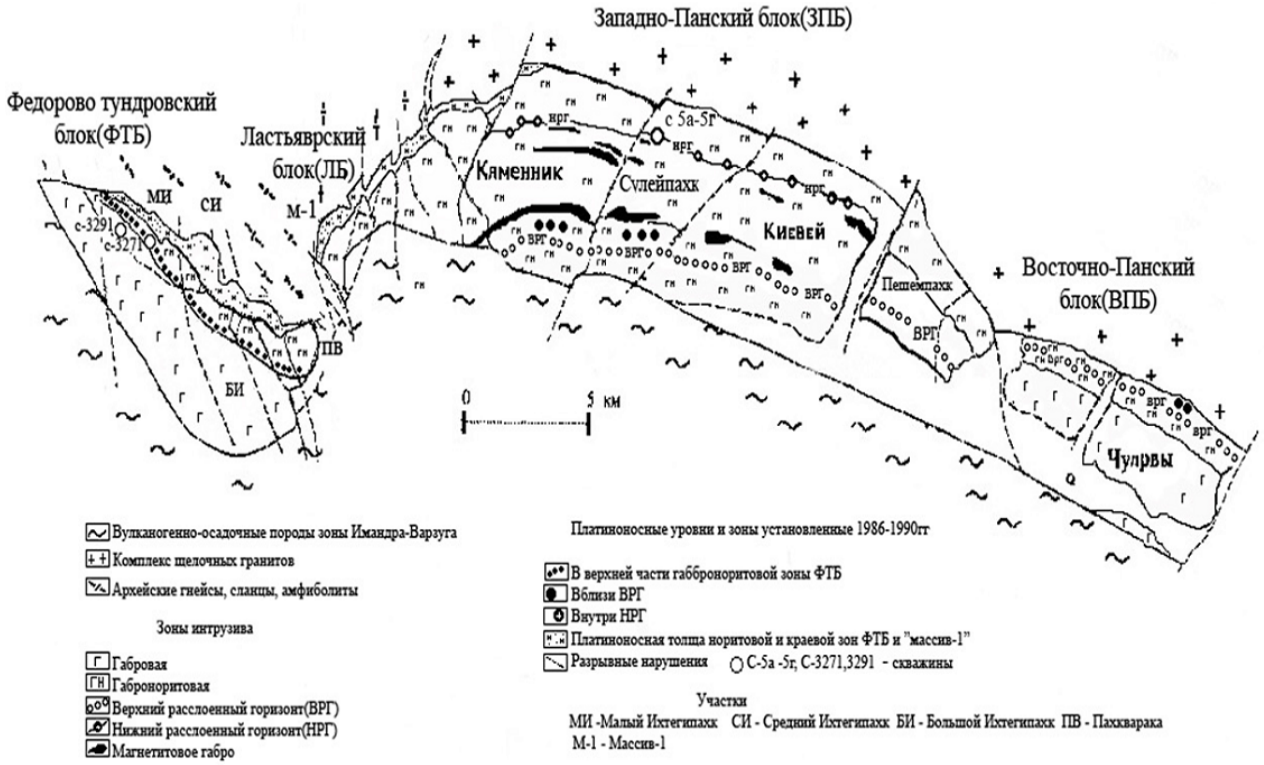


Рис. 1. Схема геологического строения Фёдорово-Панского интрузива.

Сведения о содержаниях элементов платиновой группы (ЭПГ) до 0,5-9,6 г/т в нескольких пробах сульфидных медно-никелевых руд Пахкварака Федоровотундровского блока (ФТБ) и нижнего расслоенного горизонта (НРГ) Панского блока (ПБ) имелись в материалах Д.В. Шифрина (1939), Е.К. Козлова [5], В.С. Докучаевой и М.К. Радченко (1979), В. А. Тельнова (1985г). К началу наших работ уже были опубликованы монография “Stillwater complex” [11], работа Л.И. Гурской [4], появились первые результаты поисковых работ на платиноиды в поясе расслоенных массивов Койлисмаа, Финляндия[10] и его продолжении в северо-западной Карелии (Луккулайсваара и др.). Все это свидетельствовало о возможных перспективах ФПИ на платиновые металлы. Успешное проведение наших работ оказалось возможным благодаря организации в 1987 г. аналитического определения ЭПГ в химико-аналитической лаборатории института Н.А. Орловым и его коллегами Е.А. Апанасевич, К.М. Бабкиной, Л.В. Малышевой, Л.В. Филиппычевой и другими.

Экспедиционные работы в 1986-1990 гг. включали сбор каменных материалов для изучения геологического строения и состава интрузива по профилям В.В. Проскурякова и др. (1964) через гг. Каменник, Сулейпахк, Киевей, Пешемпахк, Чуарвы, Чурозерская, детальное изучение строения НРГ, картирование в нем сульфидоносных зон, прослеживание их по простиранию, опробование на ЭПГ, поиски и обнаружение новых рудопроявлений в Панском блоке (ПБ). Для оценки платиноносности Федоровотундровского (ФТБ) и Ластьяврского блоков (ЛБ) были переопробованны на ЭПГ известные медно-никелевые рудопроявления по керну скважин, пробуренных в 1961-1990 гг. (кернохранилища пос. Никель, г. Мончегорска, «82 км»), многочисленным старым горным выработкам и редким обнажениям; систематизированы данные анализов 2000 проб на Ni, Cu, S, и др., критически пересмотрены результаты поисковых работ на никель. Наиболее трудными, насыщенными и результативными

оказались полевые работы 1987 г., ФПИ был обследован нами на протяжении 60 км с запада на восток. Основной объем исследований был проведен в пределах полосы сульфидоносных пород общей протяженностью 35 км от Малого Ихтегипахка до Восточного Киевея, отстоящей от контакта интрузива на 0,1-1,0 км. В 1987 г. были получены и обработаны результаты анализов на ЭПГ более 200 проб. Во всех изученных сульфидоносных породах этой полосы были обнаружены содержания ЭПГ от десятых долей до 15 г/т. В скважине № 58 (Средний Ихтегипахк, ФТБ) ЭПГ в количестве 0,29 г/т обнаружены на глубине 919 м. На северном склоне г. Чуарвы в 40 м от контакта со щелочными гранитами также выявлено проявление с содержаниями палладия и платины 2 г/т. То есть было установлено широкое распространение ЭПГ в рассматриваемом интрузиве. Первая краткая публикация о платинометалльной минерализации ФПИ появилась в препринте [7]. Там же приведены первые сведения о вновь выявленных минералах платиноидов и серебра: котульскит, меренскит, высоцкит, сперрилит, аргентопентландит (С.А. Ражев, аналитик С.А. Реженова, микрозондовый анализ на микроанализаторе CAMECA MS-46).

В 1988 г. ГИ КФАН СССР совместно с ИГЕМ была представлена рекомендация «О направлении поисковых работ в ФПИ на комплекс цветных и благородных металлов». Авторы: Н.Н. Веселовский, В.С. Докучаева, Ю.Н. Яковлев, А.Ф. Трошков, С.А. Ражев, Н.А. Орлов, В.В. Дистлер, Т.Л. Гроховская. В рекомендации было рассмотрено распределение платиновых металлов в НРГ, ФТБ, «массиве -I» и ЛБ, приведены результаты опробования. Установлено, что металлогеническая специализация ФПИ является комплексной, в первую очередь платино-палладиевой (с родием, золотом, серебром, никелем, медью и др.) и обоснованы перспективы обнаружения в нем месторождений как комплексных (цветных и благородных металлов), так и собственно платинометалльных руд стиллуотерского типа. Наиболее перспективными для поисков месторождений платиновых металлов были признаны «висячие» рудные зоны НРГ с содержаниями ЭПГ до 10-15 г/т, общей протяженностью более 10 км, и Федоровотундровский блок. В ФТБ установлено повсеместное распространение ЭПГ в сульфидоносной толще мощностью 150-300 м и протяженностью 10 км в нижней норитовой и краевой частях разреза. В разрезе толщи выделяются «слои» с повышенными содержаниями никеля и меди. Судя по 20 пробам, в таких рудах содержания палладия 1,2-8,4 г/т, платины 0,2-4,6 г/т. Для поисков месторождений ЭПГ в качестве первоочередных были предложены участки Пахкварака и Малый Ихтегипахк. Рекомендация была направлена заинтересованным организациям в ПГО «Севзапгеология» и 9.12.1988 г. было принято решение при продолжении работ в ФПИ по никелевому проекту попутно выполнять массовые анализы на платиновые металлы.

Наиболее важным открытием 1988г было обнаружение С.А.Ражевым, Н.Н. Веселовским и А.Ф. Трошковым нового платиноносного уровня в Западно-Панском блоке интрузива вблизи оливинсодержащего верхнего расслоенного горизонта (ВРГ) [8]. Проявление было выявлено на южном склоне г. Каменник в 350 м севернее подошвы ВРГ. По коренным выходам слабая сульфидная минерализация была прослежена по простиранию на 500 м. По 12 пробам содержания составили: палладия 0,88 – 19,64 г/т; платины 0,06 – 2,03 г/т. Кроме того, на северном склоне г. Каменник были установлены новые проявления с высоким содержанием ЭПГ, что свидетельствовало о продолжении НРГ на запад еще на 4 км. К концу 1988 г. С.А. Ражевым, С.А. Реженовой и А.И. Ледневым было установлено уже 11 минералов платиновых металлов (по мере убывания распространенности): котульскит, меренскит, майченерит, мончеит, куперит, брэггит, сперрилит, высоцкит, сопчеит, соболевскит, палладистое золото [8].

В 1988 г. Л.И. Гурская по результатам изучения и опробования на ЭПГ керна 7 глубоких скважин ФПИ, используя метод аналогий [4], выделила в интрузиве уровни, наиболее перспективные на платинометалльное оруденение стиллуотерского типа.

В 1989 г. в западной части НРГ на участке Сулейпахк с помощью станка, принадлежащего ГИ КНЦ РАН, по нашему проекту были пробурены четыре скважины (№№ 5а-5г), впервые специализированные на платиновые металлы. Результаты исследования керна подтвердили данные, полученные ранее при картировании и опробовании с поверхности. В разрезе НРГ мощностью 180 м пересечено четыре интервала с комплексной минерализацией мощностью до 2,5 м и содержаниями палладия до 4,73 г/т, платины до 0,73 г/т.

В 1989 г. к изучению платиноносности ФПИ подключилось ГП «ЭГГИ», которое на северных склонах гг. Каменник, Сулейпахк, Киевей, Пешемпахк организовало полигон длиной 15км с северо-запада на юго-восток, шириной 1,75 – 2,0 км, включающий НРГ. В 1989-1990 гг. на полигоне по профилям через 100 м ими выполнены геофизические и геохимические работы масштаба 1:10000, пробурено две скважины, открыты новые проявления платиновых металлов (А.П. Никитичев, В.И. Совсуняк и др.). В 1989 г. А.П. Кривенко и др. [6] приводят характеристику некоторых минералов платиноидов из НРГ, материалы для этих исследований были собраны в составе нашего полевого отряда в 1987 г.

В 1990 г. несколькими пилообразными маршрутами вблизи ВРГ Н.Н. Веселовским и С.А. Ражевым проведены поиски вероятного продолжения ЭПГ оруденения к востоку от открытого нами в 1988 г. на южном склоне г. Каменник. На том же уровне разреза (300 – 350 м севернее подошвы ВРГ, т.е. 100 – 120 м ниже оливинсодержащих пород по разрезу) на ЮЗ склоне г. Сулейпахк была обнаружена аналогичная рассеянно-вкрапленная кубанит-пирротин-пентландит-халькопиритовая минерализация в лейкогаббро, при анализе установлены еще более высокие содержания палладия – 30,39; платины – 2,37 и золота – 2,64 г/т. Сотрудники ГИ

КФ АН СССР (А.У. Корчагин, Л.А. Виноградов, Е.М. Бакушкин, С.М. Карпов, А.И. Медников, А.Ф. Трошков и другие) приступили к составлению геологической карты НРГ масштаба 1:10000 по профилям полигона «ЭГГИ». В процессе этих работ были открыты новые проявления ЭПГ, отобрано 26 бороздовых проб.

Основные результаты НИР по ФПИ за период 1986-1990 гг. изложены в отчете по теме 2530 «Геодинамические и петролого-геохимические основы формирования породных ассоциаций Карело–Кольского региона, перспективных на платинометалльное и сопутствующее оруденение, оценка их практического потенциала» (коллектив авторов под руководством Ф.П. Митрофанова, фонды КНЦ АН СССР, 1990 г.). Главы по Федорово-Панскому объекту представили: Н.Н. Веселовский, А.Ф. Трошков – локализация и закономерности размещения комплексного оруденения; В.С. Докучаева – строение и состав интрузива; С.А. Ражев – вещественный состав руд; Ф.И. Свияженинов – анализ геофизических данных. Подробно рассмотрена локализация комплексного оруденения в краевой и норитовой зонах ЛБ, ФТБ и «массива - I», в габброноритовой зоне Западно–Панского блока. Впервые приведена информация о новых, весьма перспективных проявлениях ЭПГ, вскрытых в 1988-1989 гг. на Малом Ихтегипахке в верхней части габброноритовой зоны скважинами № 3271 и № 3291. Это прослои лейкогаббро мощностью 0,7 – 3,8 м с существенно медной (0,11 – 0,93 %), бедной никелем (0,04 – 0,14 %) минерализацией, которая отличается высокими содержаниями не только палладия (2-4 г/т), но и платины (2-5 г/т) при отношениях Pd / Pt = 0,4 – 1,7. Известные данные по НРГ дополнены результатами исследования керна новых скважин №№ 5а – 5г. Выделено два типа проявлений комплексной минерализации в интрузиве:

1) ЭПГ – содержащий медно – никелевый, приуроченный к краевой зоне ФТБ и ЛБ.

2) Обогащенные платиноидами малосульфидные «висячие» слои, аналогичные платинометалльным рифам массивов Бушвельд, Стиллуотер, пояса Торнио – Няранкавара и других. Приводятся характеристики вещественного состава различных типов оруденения, его изменчивость по разрезу ФПИ, сопоставленны между собой различные рифы.

Ю.Л. Войтеховским дана первая сравнительная характеристика комплексного оруденения НРГ и Ластьяврского блока по содержанию компонентов в сульфидной фазе, нормированному по углистому хондриту. Полученные результаты подтверждают различия составов «висячих» и донных залежей, установленные по рудам. Проведено сравнение наших объектов с платинометалльными месторождениями других регионов. Рассчитаны значимые положительные парные корреляции Ag, ЭПГ, Ni, Cu и S [3].

Выделены магматический, петрографический, структурный факторы контроля оруденения. Особо отмечено, что высокие концентрации платиновых металлов сформировались лишь в определенных, наиболее расслоенных частях разреза интрузива. В ряде случаев слои лейкогаббро контролируют размещение руд. Важная роль структурного фактора, установленная для рифов J – M и Меренского, подтверждается и на ФПИ. Наиболее крупные скопления сульфидов и платиноидов отмечены в желобообразных прогибах – депрессиях дна массива, которые на геологических картах масштаба 1: 25000 - 1: 50000 фиксируются резкими изгибами нижнего контакта массива (Малый, Средний, Большой Ихтегипахки, Пахкварака, «массив - I», Ластьявр, Каменник, Восточный Киевей). Желобообразный прогиб дна массива в центре Ластьяврского блока оконтурен глубокими скважинами.

Первоочередными объектами для поисков месторождений платиновых металлов были определены: Федоровотундровский блок (Малый Ихтегипахк и Пахкварака); НРГ (Центральный и Восточный Киевей, СЗ склон г. Каменник, где содержания ЭПГ в два раза выше средних по рифу). В качестве третьего по значимости объекта был выделен малосульфидный уровень вблизи ВРГ с очень высоким содержанием ЭПГ, имеющий определенное сходство с НРГ; предполагалась его большая протяженность, т.к. сам ВРГ оливинсодержащих пород, вероятно, контролирующий это оруденение, прослежен более чем на 40 км в пределах всего ПБ.

В 1990 г. Печенгская ГРП ПГО «Севзапгеология» завершила большой объем поисковых работ на никель составлением отчета. Главы по строению массива, размещению и составу платиновой минерализации были подготовлены в ГИ КНЦ Н.Н. Веселовским, В.С. Докучаевой, С.А. Ражевым, Ф.И. Свияжениновым в тесном сотрудничестве с А.М. Калугой и В.А. Тельновым.

В 1990 г. по просьбе МинГео СССР в ГИ и ИЭП КФ АН СССР подготовлена рекомендация «Об изучении малосульфидных платиноносных горизонтов в массиве Федоровой тундры». Авторы: Н.Н. Веселовский, В.С. Докучаева, Ф.И. Свияженинов, А.Ф. Трошков, В.С. Жаров. В рекомендации приведены результаты НИР указанных сотрудников за 1986 – 1990 гг. в ФТБ на платиновые металлы; использованы материалы поисковых работ на никель ПГО «Севзапгеология», в том числе результаты анализов более 500 проб на ЭПГ, 2000 проб на медь и никель. Рассмотрено распределение комплексного оруденения в краевой, норитовой и габброноритовой зонах, в таблицах приведены результаты анализов 60 проб с высокими содержаниями ЭПГ.

В сульфидоносной толще норитовой и краевой зон ФТБ сульфидная и платиновая минерализации относятся преимущественно к рассеянно-вкрапленному типу (содержания никеля и меди по 0.02-0,06 %, серы 0,10-0,40 %, ЭПГ – 0,01-0,1 г/т), а также в виде слоев мощностью 0,3 - 4,0 м, обогащенных цветными и благородными металлами (содержание никеля 0,10-0,50 %, редко до 2,00%, меди 0,15-1,0 %, редко более 2,00 %, серы 1,00-4,00 %, редко до 10,0 %. ; ЭПГ 1-5 г/т). Нередко несколько «слоев» сближены и образуют рудные

пачки. Судя по разрезам и колонкам скважин, построенных нами по данным опробования, мощность таких пачек достигает 46 м, а протяженность по падению 700 м. То есть главной задачей поисков месторождений платиновых металлов в сульфидоносной толще является выявление таких пачек с наибольшей мощностью и высокой концентрацией сульфидов и платиноидов с использованием геофизических и буровых работ.

Ф.И. Свияжениновым и Т.Л. Хохловой [8] в приповерхностной части сульфидоносной толщи было выделено 12 контуров локальных магнитных аномалий, соответствующих, вероятно, породам, обогащенным сульфидами Ni, Cu и ЭПГ. На геологической карте, приведенной в рекомендации, видно, что наиболее крупные контуры магнитных аномалий приурочены к участкам с резкими изгибами нижнего контакта интрузива – депрессиям (Пахкварака, Большой и Средний Ихтегипахки). То есть, наличие крупных скоплений оруденения контролируется и структурным фактором. Буровыми работами и опробованием наиболее высокие концентрации ЭПГ установлены на Пахквараке и Малом Ихтегипахке, а скопления сульфидов никеля и меди – на Большом Ихтегипахке, где опробование на ЭПГ ранее не проводилось.

Богатое не только палладием, но и платиной оруденение, вскрытое скважинами № 3271 и № 3291 в габброноритовой зоне, мы рассматриваем в качестве типичного «висячего» протяженного малосульфидного горизонта, аналогичного рифам НРГ и вблизи ВРГ. На карте он обозначен в виде самостоятельного уровня, протягивающегося на 10 км через весь ФТБ; вполне вероятно его наличие и в Панском блоке.

Материалы, изложенные в рекомендации (1990 г.), показали большую вероятность обнаружения месторождений благородных металлов в Федоровотундровском блоке. Экспертная экономическая оценка, выполненная В.С. Жаровым по участкам Малый Ихтегипахк и Пахкварака, показала экономическую целесообразность проведения поисковых работ, несмотря на крайне низкие цены на платиновые металлы того времени.

Таким образом исследованиями ГИ КНЦ РАН в 1986-1990 гг. было установлено широкое распространение ЭПГ во всех сульфидоносных породах ФПИ, доказано, что его платино-палладиевая специализация является главной, а медно-никелевая – второстепенной. В интрузиве выявлено и изучено три главных уровня с высокими содержаниями ЭПГ: в норитовой зоне ФТБ и габброноритовой зоне (НРГ и вблизи ВРГ), перспективных на обнаружение промышленных месторождений [1].

Список литературы

1. Веселовский Н.Н., Ражев С.А., Докучаева В.С. и др. О металлогенической специализации массива ультраосновных пород Федорово-Панских тундр на Кольском полуострове. // Металлогения докембрия и метаморфогенное рудообразование. Ч. 1. Киев. 1990. С. 140-141.

2. Веселовский Н.Н., Ражев С.А., Докучаева В.С. О двух типах комплексной минерализации в Федорово – Панском расслоенном интрузиве ультраосновных – основных пород. // Тез. докл. выездной сессии ВМО. Апатиты: Изд-во КНЦ АН СССР, 1990. С. 31-32.

3. Веселовский Н.Н., Войтеховский Ю.Л., Ражев С.А. Геохимические особенности комплексной минерализации Федорово – Панского расслоенного интрузива (Кольский полуостров). // Геохимия рудных элементов в базитах и гипербазитах. Критерии прогноза. Иркутск: Изд-во ин-та геохимии СО АН СССР, 1990. С. 59-62.

4. Гурская Л.И. Платинометальное оруденение стиллуотерского типа и критерии его прогнозирования. Л.: Изд-во ВСЕГЕИ, 1984. 89 с.

5. Козлов Е.К. Естественные ряды пород дифференцированных никеленосных интрузий Кольского полуострова и их металлогения. Л: Наука, 1973. 288 с.

6. Кривенко А.П., Лаврентьев Ю.Г., Майорова О.Н. и др.Теллурады платины и палладия в Панском габброноритовом массиве на Кольском полуострове. // Докл. АН СССР. 1989. Т. 308. № 4. С. 950-954.

7. Новое в изучении минерально-сырьевых ресурсов Мурманской области. 1987 год. (Нетрадиционные типы сырья и методы исследования). Колл. авторов под ред. В.З. Негруцы. Апатиты: Изд-во КФАН СССР, 1988. С. 14-16.

8. Новое в изучении минерально-сырьевых ресурсов Мурманской области. 1988 год. (Медно – никелевые руды. Фосфатное сырье. Нетрадиционные типы полезных ископаемых). Колл. авторов под ред. В.З. Негруцы. Апатиты: Изд-во КНЦ АН СССР, 1989. С. 26-28.

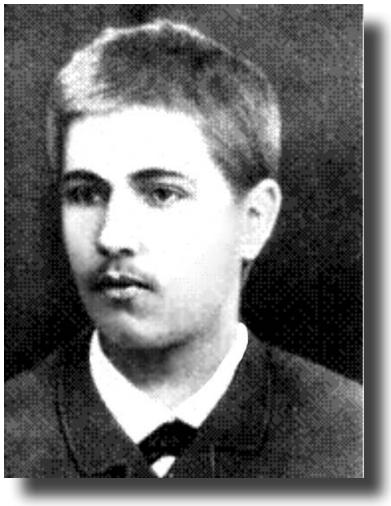
9. Новое в изучении минерально–сырьевых ресурсов Мурманской области. 1989 год. (Первоочередные направления поисков новых видов и генетических типов полезных ископаемых). Колл. авторов под ред. В.З. Негруцы. Апатиты: Изд-во КНЦ АН СССР, 1990. С. 10-12.

10. Alapieti T.T., Lahtinen J.J. Stratigraphy, petrology, and platinum – group element mineralization of the early proterozoic Penicat layered intrusion, Northern Finland. // Econ. Geol. 1986. V. 81. P. 1126-1136.

11. Stillwater complex, Montana: geology and guide. // Montana Bur. Mines and Geology. Spec. Publ. 1985. № 92. 396 p.

К ИСТОРИИ УЧЕНИЯ О ПРИРОДНОМ КРИСТАЛЛЕ

Ю.Л. Войтеховский
Геологический институт КНЦ РАН, г. Апатиты, e-mail: woyt@geoksc.apatity.ru



В этом году исполняется 100 лет со дня рождения проф. Д.П. Григорьева – выдающегося российского минералога, начавшего яркую научную карьеру синтезом фторсодержащих слюд, но прославившегося созданием “онтогении минералов” – последовательной методологии изучения природных минеральных индивидов и агрегатов [Д.П. Григорьев. Онтогения минералов. Львов: Изд-во ЛГУ, 1961. 284 с.; Д.П. Григорьев, А.Г. Жабин. Онтогения минералов. Индивиды. М.: Наука, 1975. 339 с.]. Рядом с ним в Ленинградском Горном институте долгие годы трудился проф. И.И. Шафрановский (100 лет со дня рождения которого мы отметили двумя годами ранее), немало поддержавший онтогению минералов исследованиями по морфологии природных кристаллов. Он же оставил нам замечательные труды по истории науки, из которых можно узнать о предтечах учения о природном кристалле. “Глубокую симпатию вызывают забытые ныне предшественники учения о реальном кристалле – московский профессор М.А. Толстопятов и петербуржцы М.В. Ерофеев и А.Н. Карножицкий (написать бы о них хорошую маленькую книжку!)” [Кристаллография в СССР. 1917-1991. СПб.: Наука, 1996. С. 168]. Книга так и не состоялась, но названным учёным И.И. Шафрановский посвятил немало вдохновенных страниц [История кристаллографии в России. М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1962. С. 232-286; История кристаллографии. XIX век. Л.: Наука, 1980. С. 200-203]. Особенно трагичной сегодня выглядит судьба А.Н. Карножицкого (1867-1906), “неуживчивейшего человека в мире” с “недостатком жизненной выдержки и умственной дисциплины”, скончавшегося в нищете и, как оказалось позднее, многими идеями опередившего своё время. Отдавая должное его памяти, мы публикуем ниже одну из его важнейших статей [Уродливость в неорганическом мире // Книжное обозрение. 1896. № 3. Колонки 2-14], отдельный оттиск которой обнаружен нами в личном фонде акад. А.Е. Ферсмана в библиотеке Геологического института КНЦ РАН. Орфография, пунктуация и выделения курсивом сохранены. Биографию учёного см. также в статьях [Франк-Каменецкий В.А. Основоположники учения о реальном кристалле // Вестник ЛГУ. 1954. № 1. С. 155-177; Савицкий В.А., Шафрановский И.И. Новые данные о жизни и творчестве А.Н. Карножицкого // Зап. ВМО. 1957. № 4. С. 469-477].

Уродливость в неорганическом мире

(Вступительная лекция в Специальный Курс Кристаллографии: о “Тератологии Кристаллов”)

Приступая к изложению предложенного мною Специального курса Кристаллографии – о Тератологии кристаллов, – считаю нужным сказать несколько слов о значении той категории специальных исследований, на которых предлагаемый курс основывается.

Я не имею в виду подробно распространяться о кристаллографических системах, о законах преломления света, о явлениях интерференции и других физических явлениях в кристаллах; в специальном курсе моём я хочу лишь дать возможно более точную и подробную сравнительную характеристику всех известных нам кристаллографических аномалий, подразумевая под этим термином нарушения всех известных нам основных законов геометрической и физической Кристаллографии.

В учебниках Кристаллологии упоминается, что таких основных законов в этой науке имеется несколько; говорится об основном законе рациональности параметров, говорится о законе поясов, о законе постоянства гранных углов, говорится, наконец, об основном законе физической Кристаллографии, по которому для кристалла имеет место равенство физических явлений в направлениях геометрически одинаковых…

Но только в самое последнее время явилась возможность показать, что все упоминаемые, по-видимому, ничего общего между собою не имеющие основные законы Кристаллографии, представляют собою лишь частные выражения, частные формулировки одного и того же великого основного закона Кристаллографии, именно того, который упомянут был под именем основного закона Физической Кристаллографии, и который определяется тождеством физических явлений – в направлениях геометрически одинаковых.

А отсюда, из этого единства основных законов Геометрической и Физической Кристаллографии – возникает возможность предполагать и о единстве кристаллографических аномалий, как бы различны они ни казались; возникает возможность допускать существование связи между различными типами кристаллогеометрических и кристаллофизических нарушений и отсюда сделать наведение о единстве причин, вызывающих различные типы аномалий.

Раскрытию этой предполагаемой связи и посвящена будет вторая часть нашего курса, хотя, насколько это мне известно, вопрос о такой связи до сих пор ещё и не поднимался в минералогической литературе.

Полагаю, что во всей науке нашей нет главы более занимательной и более замечательной.

Часто приходится слышать, что Кристаллография есть предмет слишком сухой и мало интересный, отнюдь не дающий простора для широких естественноисторических обобщений, которые так охотно воспринимаются свежим умом начинающего натуралиста; что Кристаллография, хотя и значится в числе естественноисторических наук, однако стоит чересчур одиноко в ряду прочих частей Естествознания, что она вовсе не связана с Зоологией и Ботаникой, имеет лишь небольшую долю значения для Химии и может представлять некоторый интерес разве только для физиков.

Думаю, что в основе подобных заключений лежит капитальнейшее недоразумение: не принимается в расчет господствующее в данной науке направление специальных исследований, и ложный вывод переносится на самую сущность предмета.

Кристаллография есть наука о величайшей из тайн природы, наука о строении твердого тела.

Очень многие сравнивали механику небесных тел с механикой движения частиц твердого тела, но только очень немногим, да и то в самое последнее время, приходила в голову мысль ближе проверить это сопоставление, изучить теоретически возможные группы движений, перенести результаты этого изучения на симметрию движения частиц кристалла и применить полученные выводы к той богатой совокупности фактов, какие известны нам из Астрономии.

Равным образом, если Кристаллография до сих пор не связана с Зоологией и Ботаникой, если об эволюции кристаллического индивидуума до сих пор еще не могло быть и речи, то виною тому опять является не самая сущность Кристаллографии, а скорее господствующее пока направление специальных кристаллографических исследований.

Думается, что в истории развития любого естественноисторического закона всегда есть две главных фазы.

Сначала изучается закон в общих чертах, дается общее его выражение на основании общего изучения целого ряда повторяющихся явлений; затем наблюдается некоторое время как бы застой в изучении закона и лишь тогда вступает он в новую фазу развития, а именно открываются новые явления нарушений этого закона, эти нарушения подвергаются тщательному изучению, и лишь когда это совершилось, является возможность дать более совершенную формулировку старому закону, найти некоторые новые, является, наконец, возможность связать этот закон с другими законами той же науки и даже самую науку с другими ей родственными науками. При этом часто одновременно является потребность точной теоретической обосновки закона и возникает ряд чисто теоретических работ, как бы вызванных открытием новых фактов нарушения данного закона.

До сих пор Кристаллография переживала первую фазу своего существования: изучались законы в общих чертах, исследовались главным образом нормальные – с точки зрения этих законов – явления; учебники и учёные журналы и по сие время переполнены кропотливым описанием минералов различных месторождений, установкой новых для того или другого месторождения кристаллографических форм, вновь и вновь измеряются углы оптических осей, и вычисляется отношение кристаллографических осей.

И только исследование кристаллографических нарушений (Тератология кристаллов) и параллельная теоретическая разработка основных вопросов Кристаллографии (Теоретическая Кристаллография) дают нам возможность внести свежую живительную струю в нашу науку, придать ей более жизненности и философского значения и сблизить ее с другими отраслями естествознания.

Чтобы не быть голословным, приведу несколько примеров, иллюстрирующих эту мысль.

Разберем отношение Кристаллографии к Зоологии и Ботанике и попытаемся, на основании имеющегося по Тератологии кристаллов материала, сделать намек на существование тесной органической связи между Кристаллографией и родственными ей науками о живущих и растущих организмах.

Для этого рассмотрим два ряда параллельных явлений и вытекающих из них результатов.

Обратимся сперва к геометрической Кристаллографии. Известно, что различные кристаллические вещества, встречаемые в природе, являются не в одной какой-либо определенной, для всех кристаллических тел одинаковой, форме, но в самых разнообразных, различающихся между собою количеством симметрии, величиной угла взаимного наклонения плоскостей и пр.

Известно также, что все эти формы разделяются на шесть кристаллографических систем, по степени их симметрии, при чем:

правильной	системе отвечает	куб
квадратной	“...“	тетрагональная призма
ромбической	“...“	прямоугольный параллелепипед
одноклиномерной	“...“	прямой ...“...“
триклиномерной	“...“	косой ...“...“

если за единицу для сравнения примем тип параллелепипеда, соответствующего той или другой системе симметрии.

Каждая из шести систем симметрии, в свою очередь, подразделяется на несколько видов симметрии, и

таких подразделений симметрии всего насчитывается 32.

Если теперь сопоставить типичные формы (фигуры), отвечающие различным видам симметрии, то многим, вероятно, придет в голову вопрос: формы *которого* из 32 подразделений симметрии наиболее удовлетворяют *принципу наименьших поверхностей*, т.е., при данном объеме, представляют наименьшую поверхность, по сравнению с формами прочих видов симметрии?

Вопрос этот, вопрос о наименьшей поверхности кристалла, является весьма важным.

Уже тотчас по образовании, кристалл начинает подвергаться вредному влиянию внешних агентов, как-то: растворителей, воды, газов, механических деятелей, а также света, теплоты и проч. Все эти агенты стремятся «псевдоморфизовать», «параморфизовать» кристалл и вообще нарушить его индивидуальность.

И так, вопрос о минимальной, при данном объеме, поверхности окристаллизованного тела есть, в то же самое время, и вопрос об устойчивости кристалла в отношении к вредному влиянию внешних условий, следовательно, вопрос о важнейшем *геометрическом приспособлении* индивидуума неорганизованной природы.

В ряду геометрических тел наименьшую поверхность представляют, как известно, выпуклые тела с кривыми поверхностями, каковы цилиндр и, в особенности, шар, наиболее удовлетворяющий нашему принципу. Эту же форму (очевидно, в интересах наибольшей устойчивости) имеют и простейшие организмы.

Однако, сферической (и цилиндрической) формы кристалл принять не может, в силу особого параллельного расположения кристаллических частиц по типу «пространственных решеток». Кристалл всегда должен быть ограничен ровными плоскостями. И так, какие же фигуры, в пределах последнего условия, представляют minimum своей поверхности?

Пользуясь данными дифференциального исчисления, не трудно доказать теорему: если положительное число a разделить на положительные части a_1, a_2 … a_n, то произведение этих частей имеет наибольшую величину, когда $a_1 = a_2 = \ldots = a_n = a / n$. Пользуясь этой вспомогательной и некоторыми другими теоремами, доказываем ряд других теорем о наименьших периметрах, например: из всех равномерных параллелограммов квадрат имеет наименьший периметр, из всех равномерных треугольников правильный имеет наименьший периметр и т.д. Отсюда переходим к поверхностям и доказываем теоремы вроде следующих: из всех равномерных прямых параллелепипедов одной и той же высоты у имеющего в основании квадрат – поверхность наименьшая, из всех равномерных параллелепипедов кубу принадлежит наименьшая поверхность и т.д.

Таким образом, сравнивая поверхности приводимых выше параллелепипедов различной степени симметрии, заключаем, что, при соблюдении известных условий, прямой параллелепипед имеет меньшую поверхность, чем косой равного объема, прямоугольный – чем прямой, тетрагональная призма – чем прямоугольный параллелепипед, куб же имеет наименьшую поверхность, т.е. чем выше симметрия кристалла, тем меньшую, при данном объеме, имеет он поверхность по сравнению с кристаллами низшей симметрии, тем устойчивее является он в смысле геометрического приспособления к сохранению своей индивидуальности, ибо тем меньшее число точек представляет он в соприкосновении с внешними объектами.

Обращаясь теперь к телам кристаллическим, образующимся в природе, каковы элементы, простейшие соединения, силикаты и т.п., замечаем, что в ряду этих тел наичаще встречаются тела со средними величинами симметрии, весьма распространенными являются кристаллы высшей симметрии, тогда как лишенные симметрии представляют редкость[1], – обстоятельство тем более странное, что последние, по теории вероятностей, должны были бы попадаться особенно часто, как это справедливо замечает Е.С. Федоров, давший нам полное доказательство математических положений, приводимых выше.

Отсюда я заключаю, что в неорганизованной природе существует, особенно среди простейших химических соединений, какое-то исключительное стремление давать кристаллы высшей симметрии и таким образом реализовать принцип наименьших поверхностей и, следовательно, наибольшую устойчивость в смысле указанного приспособления. А так как кристалл принимает свою форму как раз в момент выделения своего из раствора, то, очевидно, стремление это к устойчивости в «борьбе за существование» проявляется непосредственно *в момент кристаллообразования*.

Обстоятельство это тем более замечательно, что, с точки зрения современной теории полиморфизма, всякому кристаллическому телу присуща способность кристаллизоваться в формах различной симметрии, но устойчивыми являются формы одного, много двух подразделений симметрии, и нередко кристалл, тотчас по образовании, параморфизуется, т.е. переходит в другую модификацию.

Для нас покамест важно, что минеральное тело, в момент кристаллизации, стремится принять наименьшую поверхность.

Но сказанным отнюдь не исчерпывается явление наименьших поверхностей в морфологии кристалла.

Есть ряд явлений, еще более распространенных, еще более общих кристаллическому веществу, из которых

---

[1] Здесь не упоминаю о сложных органических соединениях, кристаллизующихся обыкновенно в формах низшей симметрии, не упоминаю по тому, что тела эти в природе почти вовсе не встречаются и, при том, условия их образования слишком сложны: весьма вероятно, что отсутствие этих тел в природе, их исключительность, сложность реакций их синтеза и крайняя сложность их химического состава, приближающаяся к химической сложности протоплазмы, тесно связаны и с несовершенством (в смысле упоминаемого принципа) их кристаллической формы.

становится еще более очевидным характерное стремление кристалла, в момент образования, реализовать принцип наименьших поверхностей.

Я говорю о геометрических нарушениях кристалла. Страшной редкостью являются кристаллы, грани которых делают между собою углы нормальные, т.е. отвечающие теории. Кубические кристаллы, напр., обыкновенно представляют углы граней или больше, или меньше требуемого теорией угла в 90°. Обыкновенно, в этих случаях и сами грани раздваиваются, утраиваются и пр., причем такие части одной главной грани делают между собой углы весьма близкие к 180° и потому зовутся вициналными плоскостями.

В настоящее время можно считать доказанным, что вициналная и вообще аномальная плоскости возникают вследствие *скучивания*, т.е. не параллельного срастания (под весьма малыми углами) нескольких геометрически нормальных индивидуумов, которые при этом обыкновенно недоразвиваются. Это объяснение и термин «скучивание» даны Ерофеевым.

И вот, изучая любой кристалл, покрытый вициналными плоскостями, не трудно убедиться, что такие плоскости как бы стремятся закруглить углы и грани кристалла и таким образом приблизить его поверхность к шаровой или цилиндрической, ибо вписанный в шар выпуклый многогранник тем более приближает свою поверхность к шаровой, чем более граней имеет. Нередко можно встретить столбчатые кристаллы берилла или турмалина, явственно цилиндрические в поясе призматических плоскостей.

А это явление – скучивания, – очевидно, имело место в момент выделения кристаллического вещества, а потому мы вправе сказать, что в момент кристаллообразования, вещество, с помощью скучивания, стремится принять шаровую или цилиндрическую форму, т.е. приблизиться к идеалу высшей симметрии, ибо сфера есть самое симметричное из всех геометрических тел.

Резюмируя все, сказанное здесь о геометрическом приспособлении кристалла, приходим к заключению, что *кристаллическое вещество, в момент образования, ради реализации принципа наименьших поверхностей, стремится принять форму высшей симметрии, что достигается различными путями: или оно непосредственно принимает формы высшей симметрии, или, путем скучивания, имитирует последние, а также формы шаровую и цилиндрическую.*

Обратимся теперь к другому ряду явлений, известных из Физической Кристаллографии и параллельных сейчас описанным.

Речь идет об аномалиях физического строения, упоминаемых в литературе под именем оптических аномалий кристалла, хотя правильнее было бы называть их аномалиями оптического эллипсоида.

Основной закон Кристаллографии гласит, как известно, о полном соответствии геометрической формы и физических (оптических) свойств кристалла: кристалл правильной системы, напр., должен быть всегда оптически изотронен, кристалл геометрически одноосный [2] должен быть и оптически одноосен и т.д.

Такова теория. Не то, однако, наблюдается в природе: оптически нормальные кристаллы встречаются крайне редко, в большинстве же случаев замечается оптическая аномалия.

Кристаллы правильной системы оказываются одноосными и еще чаще двуосными, кристаллы геометрически одноосные представляют две оптические оси и т.д.

Если формулировать строго характер оптических свойств у целой совокупности оптически аномальных кристаллов, то придем к любопытнейшему выводу, что оптическое строение для большинства оптически аномальных веществ наиболее приближается к строению триклиномерных кристаллов, несмотря на то, что в большинстве случаев эти оптически аномальные тела представляют (в геометрическом отношении) формы высшей симметрии.

Выражаясь более общим, хотя и несколько вульгарным образом, большинство кристаллов, встречаемых в природе, в отношении внутреннего строения, принадлежат системам низшей симметрии, и наичаще триклиномерной.

Этому положению возможно придать смысл более общепонятный.

А именно, рассматривая нормальные геометрически и физически кристаллы с точки зрения большей или меньшей сложности их строения, заключаем, что тела высшей симметрии более просто построены физически, чем тела низшей симметрии. В самом деле, кристалл, отвечающий голоэдрии правильной системы, всегда представляет 48 одинаковых (равных и симметрично-равных) направлений, другими словами, выбрав в таком кристалле любое из кристаллографически возможных направлений, мы всегда можем найти в том же кристалле еще 47 подобных же (хотя и различно ориентированных) направлений, по которым физические и геометрические свойства будут одинаковы; в случае же кристалла, относящегося к гемиэдрии триклиномерной системы, выбрав любое из кристаллографически возможных направлений, мы не найдем уже ни одного, ему одинакового; очевидно, такой кристалл представляет в 48 раз большее число неодинаковых направлений, чем голоэдрический кристалл правильной системы, следовательно, в 48 раз сложнее построен, чем последний. И так, сложность внутреннего строения кристалла обратно пропорциональна величине его симметрии.

Выше мы заметили, что кристалл, физически аномализируясь, стремится принять строение триклиномер-

---

[2] Это не совсем правильное выражение употребляю здесь для более наглядного обозначения кристаллов тетрагональных и гексагональных.

ного тела.

На основании сейчас сказанного, заменяем это выражение следующим.

Физически аномализируясь, кристалл стремится достигнуть maximum'а сложности в отношении своего внутреннего строения.

Физическая аномалия, в огромном большинстве случаев, реализуется в момент кристаллообразования.

И так, *кристаллическое вещество, в момент кристаллизации, стремится принять физические свойства наименее симметричного (триклиномерного) тела и тем самым усложнить свое внутреннее строение*.

Комбинируя сделанные нами выводы, приходим к следующему курьезному заключению.

В момент образования, кристалл стремится принять наружную форму высшей симметрии (формы правильной системы, цилиндр, шар) *и, в то же самое время, стремится принять внутреннее строение низшей симметрии* (триклиномерной), короче, в момент кристаллизации, вещество стремится сделаться геометрически - кубооктаэдрическим, физически – триклиномерным.

Противоречие несомненное!

Форму кристалла природа, очевидно, ведёт и развивает по одному пути, а внутреннее строение – по другому, обратному с первым!

Противоречие это, однако, отчасти выясняется, если, на основании сделанных нами наведений, заменим нашу формулировку нижеследующей.

В момент образования, кристалл стремится, в отношении наружной формы, реализовать принцип наименьших поверхностей и, в то же время, усложнить своё внутреннее строение.

Противоречие окончательно устраняется, если обратимся к биологии и посмотрим, какую роль здесь играют принцип наименьших поверхностей и принцип усложнения физического строения.

Простейшие животные весьма часто принимают шаровую или цилиндрическую форму, как наиболее удобную в смысле предохранения организма от вредного влияния внешних условий.

Простейшие организмы более сложной конфигурации, в известных условиях, принимают ту же форму (стадия покоя некоторых низших споровых).

Через всю биологию проходит принцип наименьших поверхностей, а равно принцип наименьшего действия, которого частную форму он представляет.

Реализация этих принципов и представляет собою одно из капитальнейших приспособлений организмов в борьбе за существование.

Организмы стремятся, при наименьшей затрате материала, вырабатывать возможно большее количество энергии, – вот лучшее выражение принципа наименьшего действия в биологии.

Приложение этого принципа в анатомии человеческого тела создало, между прочим, теоретическую анатомию.

Равным образом, принцип усложнения физического строения и химического состава в организмах следует признавать самым существенным моментом эволюции, как это мною подробно развито на страницах «Научного Обозрения» (1895, № 2).

В настоящее время никто почти не сомневается, что в общем цикле истории развития индивидуумов, простейший и первичный из живущих организмов должен был произойти из индивидуума, близкого к кристаллическому; для нас, покамест, закрыта лишь возможность проследить непосредственным наблюдением самый акт такого зарождения первичной клетки.

Я не имею в виду здесь подробно доказывать возможность подобного зарождения (этому предмету уже посвящена особая статья; см. «Научное Обозрение», 1895, №№ 2, 3, 4); замечу здесь только, что способность организмов произвольно выделять энергию и произвольно перемещаться, по моему мнению, отнюдь не является особенно характерным признаком отличия живущего организма, ибо и кристаллический индивидуум, в известных условиях, напр., при параморфизации, способен выделять энергию, напр., тепловую, да и вообще самое образование кристалла (кристаллизация) весьма часто сопровождается выделением энергии тепловой, световой и пр., которая, в момент зарождения первичного организма, могла превратиться в двигающую индивидуум энергию.

И так, неудивительно, что и для кристалла, этого первичного индивидуума, в момент его развития, играют существенную роль самые существенные моменты эволюции, и, с этой точки зрения, вполне понятно то удивительное противоречие [3], о котором шла речь выше.

---

[3] В цитированной статье моей я упоминаю, что кристалл, закругляясь и принимая, напр., цилиндрическую форму, иногда обнаруживает на своей (закругленной) поверхности входящие углы, возникновение которых связано с увеличением поверхности. Это явление можно объяснять несовершенной реализацией принципа наименьших поверхностей, но возможно придавать ему и другое, более серьезное значение. В самом деле, в царстве природы нередко наряду с процессами соединения наблюдаются и процессы разложения, интеграция сопровождается дезинтеграцией, положительная эволюция, в известных случаях приспособления, замещается отрицательной (атавизм). На ряду с вредными влияниями внешних агентов, могут существовать и благоприятные для эволюции кристалла. Если кристалл стремится уменьшить свою поверхность, ради предотвращения вредных внешних влияний, то, в известных случаях приспособления, может и увеличивать свою поверхность в интересах эволюции. Заметим кстати, что простейшие организмы имеют, вообще, малую поверхность, по сравнению с объемом, а сложнейшие нередко весьма большую, хотя и в том, и в другом случае наблюдаются исключения.

Полагаю теперь достаточно доказанной мысль, что тератология кристаллов, в связи с параллельной разработкой некоторых теоретических вопросов, даст нам возможность положить начало Биокристаллогии, как связующему звену между Кристаллографией и Биологией.

Рассмотрим теперь, в каком отношении к Физике стоит Тератология кристаллов.

Всем известно то, можно сказать, неизбежное соотношение, какое существует в нашем представлении между идеей и формой.

Отношение это выражается весьма просто, а именно: идею не возможно представить себе независимо от известной формы, и форма не может быть мыслима вне определенного представления об известной идее.

То же отношение существует между силой и материей.

Сила не отделима от материи, и материя не мыслима независимой от действующей в ней силы.

Вот почему великая физическая наука, уже на первых порах своего существования, должна была неизбежно представлять известный дуализм, как своей задачи, так и своих методов: с одной стороны, изучается действие силы на материю, с другой стороны, исследуется строение самой материи.

Таким образом, Физика, по мере своего развития, распалась на две категории отдельных наук, из коих одна, как Физика собственно и Механика, трактуют о силе вообще, изучают действие силы на материю, определяют постоянные этого действия и, на основании точного изучения постоянных, делают наведения о природе силы и о их взаимной связи, другие исследуют строение материи, в том числе и Кристаллография, изучающая строение твердого тела, как одного из важнейших объектов действия силы.

Любопытно, что и задачи, и методы этих различных наук являются взаимно дополняющими.

Физик исследует постоянные действия силы на твердое тело, исходя из представления о кристаллографическом значении того направления, в котором изучается действие силы на кристалл.

Кристаллограф исследует строение кристалла, исходя из представления о законах действия данной силы на материю.

Из сказанного ясно, в какой степени важно для физика *точное* определение величины физических постоянных.

Теперь спрашивается: как же следует смотреть на те определения постоянных, которые сделаны на основании изучения материала, заведомо неоднородного, особенно если скажем, что даже самые чистые по внешности, самые совершенные кристаллы являются физически неоднородными?

Достаточно взять ряд точнейших, по-видимому, определений постоянных, напр., оптических (показ. преломления), произведенных над кристаллами одного и того же минерала (кварц, арагонит, апатит), но из разных месторождений, чтобы убедиться в значительном разногласии цифр.

И как, спрашивается, узнать, насколько однородно вещество, кристаллы которого имеются в нашем распоряжении?

Современное изучение Тератологии кристаллов дает нам возможность ответить, по крайней мере, на этот вопрос.

Исследование большого числа кристаллов различного химического состава показывает, что неоднородности различного типа на поверхности кристалла выражаются геометрическими его нарушениями, при чем оба рода аномалий, физические и геометрические, являются параллельными и как бы парными явлениями. Распространенность аномалий этих громадна.

И так, если две, по-видимому, совершенно ровные и блестящие грани кристалла делают между собою аномальный угол, – можно с уверенностью сказать, что параллельно этим граням отложилось вещество различных физических свойств, напр., с неодинаковыми коэффициентами преломления.

Исследование таких кристаллов особенно точных цифр дать не может.

Весьма редко, но встречаются кристаллы геометрически нормальные, – эти, по-видимому, всегда однородны физически.

И так, кристаллографическое измерение, покамест, есть единственное (да и то не всегда) мерило физической однородности, почему и должно предшествовать особенно точным физическим определениям.

Есть некоторая надежда уловить известные законности в самом, так сказать, распределении неоднородности в теле кристалла и таким образом внести, с течением времени, известные поправки в определения физических постоянных.

Вот почему Тератологию кристаллов следует считать одним из любопытнейших отделов Кристаллографии, где соприкасаются тесным образом наука о силах и наука о материи.

А.Н. Карножицкий

К ИСТОРИИ МОНЧЕГОРСКОГО МУЗЕЯ ЦВЕТНОГО КАМНЯ ИМ. В.Н. ДАВА

Ю.Л. Войтеховский
Геологический институт КНЦ РАН, г. Апатиты, e-mail: woyt@geoksc.apatity.ru

История этой публикации началась давно. Несколько лет назад Мончегорский музей цветного камня им. В.Н. Дава получил от города новое помещение в 540 кв. м. Закончился период сомнительной славы как самого маленького музея Мурманской области. Надо ли говорить, с каким энтузиазмом сотрудники взялись за создание новых экспозиций, доставая из запасников коллекции, ранее не умещавшиеся на 50 кв. м! Возникла идея полнее описать биографии создателей музея. Его основателем является горный инженер-геолог Владимир Николаевич Дав. Менее известно, что в основе собрания лежит также коллекция д.г.-м.н. Ивана Ильича Чупилина. Директор музея Татьяна Ивановна Сенкевич обратилась к автору с просьбой помочь в прояснении его биографии. Поиски привели во ВСЕГЕИ, где долгое время работал И.И. Чупилин. В итоге появилась заметка о нём д.г.-м.н. Людмилы Ивановны Гурской [1]. Позднее Л.И. Гурская нашла ещё одного соратника И.И. Чупилина – Георгия Михайловича Утехина, переписка с которым и публикуется далее.

Уважаемый тов. Войтеховский (к сожалению, я не знаю Вашего имени-отчества)!

Ко мне обратилась Л.И. Гурская из ВСЕГЕИ, зная, что я продолжительное время работал совместно с И.И. Чупилиным, презентовавшим Кольскому филиалу АН свою минералогическую коллекцию [2]. Она просила меня (если смогу) дополнить её заметку о И.И. Чупилине, опубликованную в материалах IV Ферсмановской научной сессии (Апатиты, 4-6 июня 2007 г.). Я с удовольствием выполняю её просьбу и прошу Вас сообщить по указанному на конверте адресу о получении моего письма и, если можно, о том, в каком качестве Вы используете присланное мною «дополнение». Хотелось бы, чтобы оно в той или иной форме было опубликовано, ибо Иван Ильич Чупилин относится к той славной плеяде геологов-исследователей, труды которых послужили базой для последующего становления и развития геологической науки и практики в нашей стране.

Ещё раз с уважением,
Утехин Георгий Михайлович 15 июня 2008 г.

Ещё раз о И.И. Чупилине

Мне посчастливилось в пятидесятые-шестидесятые годы минувшего столетия работать совместно и под руководством И.И. Чупилина – одного из пионеров в деле формирования минерально-сырьевой базы на территории СССР. Значительное время тесного общения с Иваном Ильичом как в стенах ВСЕГЕИ, так и в ходе совместных поездок по геологическим объектам (экспедициям, месторождениям) позволяет мне дополнить объективную характеристику профессора Чупилина, данную Людмилой Ивановной Гурской в материалах IV Ферсмановской научной сессии (Апатиты, 4-6 июня 2007 г.).

Прежде всего, необходимо ещё раз (вслед за Л.И. Гурской) подчеркнуть, что И.И. Чупилин был большим любителем и знатоком минералогии, настоящим профессионалом. Он с удовольствием делился своими знаниями с людьми, в частности, путём преподавания предмета минералогии в Ленинградском горном институте. Как любитель Иван Ильич был страстным собирателем минералогической коллекции. Собранная им коллекция минералов, которую он в конце своей жизни подарил Кольскому филиалу АН СССР (теперь России), является, по признанию специалистов, лучшей частной коллекцией из тех, что были известны в Москве и Ленинграде. Она составлена в строгом соответствии с существовавшей тогда классификацией минералов.

Даже в общении с людьми Иван Ильич не скрывал своих «минералогических пристрастий», в чём я убедился на собственном опыте. Поступая после загранкомандировки в 1957 году на работу в группу И.И. Чупилина, я пришёл на собеседование к нему в кабинет во ВСЕГЕИ. Почти всё время собеседования заняла проверка моих знаний по минералогии. Иван Ильич поочерёдно открывал ящики своего огромного письменного стола, заполненные минералогическими образцами, и предлагал мне определить минеральный состав очередного, наугад выбранного образца. Я справился с задачей на 99 %. Лишь на последнем, девятом или десятом образце, я замешкался при определении красивого минерала розового цвета. Иван Ильич помог мне:

– Может быть, скажете, из какой группы этот минерал?

Я покрутил несколько раз этот упрямый образец и, увидев в одном из кристаллов характерное сечение сферического треугольника, рискнул сказать:

– По-моему, из группы турмалина.

---

[1] Гурская Л.И. Чупилин Иван Ильич. 1885-1971 гг. // Геология и минерагения Кольского региона. Тр. Всерос. (с межд. участием) научн. конф. и IV Ферсмановской научн. сессии, посв. 90-летию со дня рожд. акад. А.В. Сидоренко и д.г.-м.н. И.В. Белькова. Апатиты, 4-6 июня 2007 г. – Апатиты: Изд-во К & М, 2007. – С. 69.

[2] Коллекция куплена Мончегорским музеем цветного камня на средства жителей города у вдовы И.И. Чупилина в 1972 г.

– Молодец, – сказал Иван Ильич, – С Вами будет приятно работать. А минерал этот – рубеллит.

Нельзя не отметить, что Иван Ильич был широко образованным человеком и, в связи с этим, интересным собеседником. В частности, обращали на себя внимание его познания в области астрономии и ботаники. Будучи в совместной командировке в Средней Азии, мы с Иваном Ильичом в ясные и тёплые лунные ночи подолгу не ложились спать. Сидя на какой-нибудь лавочке или просто на ступеньках лестницы у дома, где квартировали, мы вели задушевные беседы на самые разные темы. Ведущим рассказчиком был большей частью Иван Ильич. В ходе этих бесед я узнал немало о жизни созвездий на видимой части небосвода и истории открытия некоторых из них. Услышал целый ряд новых для меня тонких и поучительных анекдотов, рассказывать которые Иван Ильич был большой мастер.

Что касается ботаники, то знание её привело Ивана Ильича к необходимости разработки нового метода поисков полезных ископаемых – биогеохимического. Оформить должным образом завершение этой работы ему, к сожалению, не хватило времени.

Несмотря на свой почтенный уже возраст, Иван Ильич старался использовать любую возможность для посещения и обследования интересующего его геологического объекта. В связи с этим мне до сих пор памятна наша совместная поездка на скарново-вольфрамовое месторождение Ингичке в Узбекистане. За неимением собственного транспорта нам пришлось добираться туда из Ташкента на попутной, притом грузовой автомашине, лишённой каких-либо сидений. Немалое расстояние, по пыльной и отнюдь не гладкой дороге, в жару, мы тряслись в кузове автомашины (сиденье рядом с шофёром было занято) более 3-х часов. Иван Ильич с честью выдержал это нелёгкое испытание.

На следующий же день мы обследовали месторождение: документировали канавы, вскрывавшие рудные тела и естественные обнажения на площади месторождения. А через день после приезда совершали обзорный маршрут в округе, поднявшись при этом на господствующую высоту. Правда, Иван Ильич отказался от лобовой атаки этой высоты, а поднялся на неё обходным путём, по относительно пологому склону. Однако это не помешало нам, сидя на верхотуре, восхищаться открывшейся круговой панорамой, и обменяться при этом своими впечатлениями (рис.).

Заметными особенностями натуры Ивана Ильича были здравомыслие и оптимизм. Здравый рассудок не покидал его до конца жизни. А оптимизм обусловил правила поведения в обществе: не хныкать в случаях недомогания, не бояться летать на самолётах в отличие от некоторых других профессоров-сверстников. В.Г. Грушевой, например, никогда не летал на самолётах, предпочитая им более надёжный, по его словам, железнодорожный транспорт. Натура Ивана Ильича отражалась даже в его походке: ходил он, держась прямо, как свеча, нисколько не горбясь, подавая тем самым пример даже молодым. К примеру, ему старался подражать один студент Горного института, которого собратья тут же окрестили «псевдоморфозой по профессору».

К студентам Иван Ильич относился с неизменной душевной теплотой, ценя в них находчивость и остроумие. Это было, есть и, очевидно, будет. Редкий преподаватель избежал получения от студенческой братии какой-нибудь (доброжелательной и не очень) клички, прозвища. Так, одному доценту, невысокому, кругленькому, с животиком человеку, после лекции по кристаллографии в Горном институте (о формах кристаллов – тетраэдр, октаэдр и т.д.) моментально была присвоена кличка – «пузоэдр». Услышав об этом от самого «номинанта», Иван Ильич вместе с ним хохотал от души.

Зная Ивана Ильича Чупилина как учёного, человека и коллекционера (в его минералогической коллекции в своё время присутствовали и несколько моих образцов), можно смело констатировать следующее. Кольский филиал АН России получил в дар прекрасную минералогическую коллекцию, а её даритель И.И. Чупилин – личность, достойная всяческого уважения и доброй памяти.

Г. Утехин 15 июня 2008 г.

Уважаемый Георгий Михайлович!

Благодарю Вас за воспоминания об И.И. Чупилине. Как директор Геологического института Кольского НЦ РАН и председатель Кольского отделения РМО я считаю долгом публиковать разного рода материалы обо всех, приложивших мысли и руки к становлению горно-геологического дела на Кольском полуострове. Для этого и была предусмотрена историческая секция в учреждённой пять лет назад Всероссийской Ферсмановской научной сессии ГИ КНЦ РАН и КО РМО. Ваше письмо я намерен опубликовать в Трудах следующей сессии, которая состоится в апреле-мае 2009 г. Оно будет хорошо дополнять опубликованную ранее статью Л.И. Гурской. Оригинал Вашего письма уже послан в Мончегорский музей цветного камня им. В.Н. Дава. Именно туда, а не в Кольский филиал АН СССР, поступила коллекция минералов И.И. Чупилина (более 2000 образцов). Она была приобретена у его вдовы на средства жителей Мончегорска в начале 1970-х годов. В заключение обращаюсь к Вам с просьбой. Если у Вас сохранились фотографии с И.И. Чупилиным, то мы могли бы опубликовать их вместе с Вашими воспоминаниями. Для этого фотографии нужно засканировать и переслать по моему электронному адресу: woyt@geoksc.apatity.ru. Ещё раз благодарю Вас за участие в наших изданиях.

Ю.Л. Войтеховский, д.г.-м.н., профессор 24 июня 2008 г.

Уважаемый г-н Войтеховский,

По просьбе моего отца Георгия Михайловича Утехина я пересылаю Вам отсканированную копию единственной сохранившейся у нас фотографии с И.И. Чупилиным. Комментарий к фотографии: «1957 год. В маршруте в районе вольфрамового месторождения Ингичке. Слева И.И. Чупилин, справа Г.М. Утехин». К сожалению, качество черно-белого отпечатка, сделанного 50 лет назад, оставляет желать лучшего. Я посылаю 2 варианта сканирования - «цветной» и «оттенки серого» - оба в формате TIFF в максимальном разрешении 600 dpi.

Best regards,
Nikolay Utekhin 9 июля 2008 г.

Уважаемый Николай,

спасибо за фотографию. Вместе с воспоминаниями Вашего отца она будет напечатана в одном из изданий нашего института, скорее всего, в Трудах апрельской конференции следующего года [3].

С уважением,
Ю.Л. Войтеховский, д.г.-м.н., профессор 9 июля 2008 г.

ЧУПИЛИН ИВАН ИЛЬИЧ. ФАКТЫ БИОГРАФИИ (18 июня 1885 – 22 февраля 1971)

Э.В. Гостева
Музей цветного камня имени В.Н. Дава, г. Мончегорск, e-mail: museum@monch.mels.ru

Чупилин Иван Ильич, профессор, доктор геолого-минералогических наук, один из крупнейших ученых в области геологии рудных месторождений. Чупилин Иван Ильич относится к той славной плеяде геологов-исследователей, труды которых послужили базой для последующего становления и развития геологической науки и практики в нашей стране. Очень многие выдающиеся геологи молодой советской республики не смогли избежать вторжения политических катаклизмов в свою жизнь и геологическую деятельность. Не избежала такая участь и Чупилина Ивана Ильича. События молодой страны врывались в его жизнь и на долгое время уводили от предназначенного пути.

Чупилин Иван Ильич родился 18 июня 1885 г. в г. Нарве, в семье бедного ремесленника. Годы учебы можно назвать поиском самого себя, своего становления и определения профессии. После школы он учился сначала в Нарвском городском училище, а затем в Охтинском ремесленном училище Петербурга.

Далее Чупилин был призван на службу в Царскую Армию. С 1906 по 1909 гг. служил мотористом в ра-

[3] VI Всероссийская Ферсмановская научная сессия состоялась 18-19 мая 2009 г.

диотелефонной роте. После армии поступил на учебу в Ревельское отделение Крестьянского Банка, сдал экзамены экстерном за полный курс. Затем Иван Ильич поступил в Рижский Политехнический институт на агрономическое отделение. Получил звание Ученого Агронома 1 разряда. Осенью 1914 г. был зачислен в число студентов Петербургского Горного института. Но Первая мировая война, Великая Октябрьская Социалистическая революция и гражданская война нарушили его планы по обучению в Горном институте.

С 1915 по 1919 гг. Чупилин Иван Ильич служил в составе Военно-дорожной организации строителем военных дорог и мостов сначала при 12 армии Северного флота, а затем при Красной Армии, действующей против Колчака, и с открытием Южного фронта на Украине - против Деникина.

В августе 1919 г. был захвачен в плен бандой генерала Шкуро. В октябре бежал из плена и работал шахтером на угольном руднике Донбасса. После освобождения Донбасса Красной армией, вместе с другими студентами, Чупилин Иван Ильич был направлен в Петроград для продолжения обучения в Горном институте.

В 1921 г. был принят на должность младшего научного сотрудника в минералогический музей Горного института. «И эта дата, 1921 год, - является датой начала моей фактической научной деятельности в области геологии», - написал в своей автобиографии Чупилин Иван Ильич. В это время Ивану Ильичу исполнилось 36 лет.

После окончания Горного института в 1926 г. Иван Ильич был направлен в Геологический комитет России. В этот период он работал в отделе полезных ископаемых и вместе с профессором А.А. Полкановым изучал геологию и рудоносность советской Лапландии. Позже, будучи ученым секретарем секции «Золото и платина», он активно работал под руководством профессора Н.К. Высоцкого, с которым посетил ряд месторождений Урала, побывал в Ильменском минералогическом заповеднике. В последующие годы Ивану Ильичу предстояло заниматься «ударными» (как он сам говорил) металлами, в которых остро нуждалась страна. Перед войной это был мышьяк, в войну и после войны – редкие металлы. Являясь организатором работ по мышьяку, он объездил всю страну – Урал, Кавказ, Сибирь, Дальний Восток, Среднюю Азию, Колымский край. Благодаря этим работам Чупилин приобрел заслуженный авторитет, был назначен главным куратором страны по мышьяку, вошел в состав особой комиссии по мышьяку при Президиуме Верховного Совета Народного Хозяйства СССР.

В годы войны Иван Ильич Чупилин был направлен в Геологическое управление Казахстана для проведения работ по укреплению рудной базы редкометальной промышленности. Посетив многие месторождения, он дал оценку промышленных ресурсов молибдена, вольфрама, олова, висмута, лития, бериллия. Составил первую прогнозную карту Казахстана на редкие металлы.

В послевоенные годы Иван Ильич был назначен куратором по апробации балансовых запасов редких металлов всей страны и включен в состав Комиссии ГКЗ. После возвращения во ВСЕГЕИ в 1946 г. он продолжил прогнозно-оценочные работы в отделе металлогении. Теперь важным сырьем для страны стал бор, и И.И. Чупилин вместе с Г. М. Утехиным, Э.Э. Микельсоном и А.И. Пертелем подключился к решению этой проблемы. Иван Ильич старался использовать любую возможность для посещения и обследования интересующего его геологического объекта.

За 50 лет работы в геологии И.И. Чупилиным написано 85 научных работ (к сожалению, все в закрытом режиме), большая их часть посвящена промышленной оценке месторождений мышьяка и редких металлов.

Чупилин Иван Ильич – один из пионеров в деле формирования минерально-сырьевой базы на территории СССР. Он осуществил экспертизу рудной базы многих заводов и предприятий.

За свои работы Иван Ильич награжден Правительством СССР орденами: «Знак почета», «Трудового Красного Знамени» и многими медалями.

В 1938 г. без защиты диссертации Ивану Ильичу присуждено звание профессора и степень доктора геолого-минералогических наук.

В 1952 г. особым приказом Министра геологии СССР Ивану Ильичу Чупилину было присвоено персональное звание «Директор геологической службы I ранга».

Чупилин Иван Ильич был большим любителем и знатоком минералогии, настоящим профессионалом!

Особо следует отметить, что везде, где ему пришлось жить и работать, он активно участвовал в развитии музейного дела. Именно он создал первую рудную экспозицию в музее имени Ф.Н. Чернышова при ВСЕГЕИ.

Иван Ильич был страстным коллекционером. Собранная им коллекция минералов является, по признанию специалистов, лучшей из тех, что были известны в Москве и Ленинграде. В данный момент она экспонируется в муниципальном учреждении культуры «Мончегорский музей цветного камня имени В.Н. Дава» в Мурманской области.

Нельзя не отметить, что Иван Ильич был широко образованным человеком и интересным собеседником. Он с удовольствием делился своими знаниями со студентами, преподавая в Ленинградском горном институте ми-

нералогию. К студентам относился с неизменной душевной теплотой, ценил в людях находчивость и остроумие. Студентов и коллег восхищали и удивляли его глубокие познания в области астрономии и ботаники. В частности знаниями по астрономии Иван Ильич делился с сотрудниками в экспедициях, в минуты отдыха беседуя с ними поздно вечером под звездным ночным небом. И как вспоминает Георгий Михайлович Утехин: «В ходе этих бесед я узнал немало о жизни созвездий на видимой части небосвода и истории открытия некоторых из них». Что касается ботаники, то знания ее привели Ивана Ильича к необходимости разработки нового метода поисков полезных ископаемых – биогеохимического. Оформить должным образом завершение этой работы ему, к сожалению, не хватило времени. Это был его последний труд.

Последнее место работы И.И. Чупилина — ВСЕГЕИ. Умер Иван Ильич 22 февраля 1971 г. в возрасте 85 лет. На последней странице личного дела И.И. Чупилина подшита выписка из приказа № 35-к по ВСЕГЕИ от 25 февраля 1971 г.: «Чупилина И.И., старшего научного сотрудника - консультанта отдела металлогении, с 22.02.1971 г. исключить из списка сотрудников института в связи со смертью».

Имя этого замечательного ученого, большого энтузиаста своего дела, крупного знатока рудной минералогии не должно быть забыто геологической общественностью нашей страны.

Музей цветного камня благодарит Г.М. Утехина, Л.И. Гурскую, Л.Р. Семёнову, Ю.Л. Войтеховского, за переданные в фонды музея материалы о профессоре И.И. Чупилине.

Д.Ф. МУРАШОВ И М.В. ДЕНИСОВА – ИССЛЕДОВАТЕЛИ КОЛЬСКОГО ПОЛУОСТРОВА [1]

Л.И. Гурская
Всероссийский геологический институт (ВСЕГЕИ), г. Санкт-Петербург

Кольский полуостров – один из наиболее богатых полезными ископаемыми регионов России. Поэтому закономерно, что целый ряд сотрудников Геолкома и ВСЕГЕИ посвятил его изучению многие годы. Автору довелось работать рука об руку с некоторыми из них. О двух замечательных профессионалах своего дела – Дмитрии Фёдоровиче Мурашове и Милице Владимировне Денисовой – мой рассказ.

Мурашов Дмитрий Федорович (1889-1961)

Д.г.-м.н. Д.Ф. Мурашов – выдающийся геолог, крупный специалист в области рудных месторождений, удостоен ордена Ленина и Сталинской премии. Долгие годы он трудился в Геолкоме, затем в Ленинградском геологоразведочном тресте (ЛГРТ), отдав немало сил изучению перспектив Кольского полуострова, особенно его никеленосности.

Родился Дмитрий Федорович 5 (18) апреля 1889 г. в Риге. Его родители происходили из интеллигентной среды: отец – известный ученый-химик, мать – медицинский работник. Вскоре после рождения сына они перебрались в Петербург, где юноша закончил гимназию (1899-1907) и Горный институт (1907-1915). В 1911-1912 гг. отбывал воинскую повинность. Впоследствии Дмитрий Федорович отмечал, что хорошее воспитание и знание иностранных языков он получил дома. Его дальнейшую жизнь можно разделить на несколько периодов: 1) знакомство с геологией и полезными ископаемыми России: Урал, Алтай, Западная Сибирь (1915-1924); 2) Геолком (1924-1930); 3) Кольский полуостров (1932-1948); 4) ВСЕГЕИ (1948-1961).

В мае 1915 г. после окончания Горного института Д.Ф. Мурашов мобилизован Военно-промышленным комитетом России и направлен на Урал в Кыштымский горный округ (г. Челябинск). В 1919 г. с уральскими заводами эвакуирован (шла Гражданская война) на Алтай (г. Барнаул), потом в Казахстан, где возглавил один из отделов золотых приисков Семипалатинской экспедиции (г. Усть-Каменогорск). Будучи сотрудником треста «Сибирпромразведка», проводил поиски полиметаллов, меди и железа. В те же годы Д.Ф. Мурашов разрабатывал комплексную геолого-геофизическую систему поисков. Такой подход имел большое практическое значение и был принят многими организациями страны. Активная исследовательская деятельность Дмитрия Федоровича была замечена и весной 1924 г. он был приглашен на работу в Геолком (г. Ленинград).

---

[1] Труды VI ФНС уже были готовы к печати, когда в редколлегию поступили эти материалы о геологах, имена которых хорошо известны на Кольском п-ове. Решение опубликовать их в исторической секции было единогласным. – *Гл. ред*.

Здесь он подключился к решению научно-технических проблем, нацеленных на поиски новых месторождений полезных ископаемых.

Но в октябре 1930 г. по «Делу Геолкома» Дмитрий Федорович был арестован по ст. 58, п. 7. Через два года был освобожден за недоказанностью обвинения и направлен на работу в Ленинградский геологоразведочный трест (ЛГРТ), позже переименованный в Северо-Западное геологическое управление. С этого времени его жизнь надолго связана с изучением Северо-Запада Европейской части России. Большая часть интересов Дмитрия Федоровича была сосредоточена на оценке перспектив никеленосности Кольского полуострова. Будучи руководителем Мончетундровской экспедиции, а потом начальником отдела металлов ЛГРТ, он выполнял большие геологические работы, приведшие к открытию ряда медно-никелевых и железорудных месторождений. Участвуя в работах комбината «Североникель», Д.Ф. Мурашов организовал раздельное производство металлов из медно-никелевых руд. До 1942 г. он исследовал рудоносность основных и ультраосновных массивов дальних тундр Кольского полуострова, участвуя в полевых экспедициях. В 1942-1944 гг. в составе ЛГРТ Дмитрий Федорович был эвакуирован на Урал, затем в Казахстан, где трудился в Объединении «Уралцветметразведка» (г. Свердловск) и Геологическом управлении Казахской ССР (г. Алма-Ата).

После войны (1944-1948) Д.Ф. Мурашов – консультант и куратор ЛГРТ по Северо-Западному экономическому району. Он по-прежнему уделяет особое внимание Карело-Кольскому региону, где в это время широким фронтом разворачивались поисковые и разведочные работы на различные виды сырья. С 1948 г. Д.Ф. Мурашов – сотрудник Всесоюзного научно-исследовательского геологического института (ВСЕГЕИ, г. Ленинград), где руководит тематическими работами по оценке перспектив никеленосности различных регионов Советского союза, в особенности Сибири и Дальнего Востока. Министерством геологии СССР он был назначен главным куратором по никелю, кроме того, ему было присвоено почетное звание «Директор Геологической службы».

В списке опубликованных трудов Д.Ф. Мурашова – более 40 наименований. В них подведен итог многолетних геологических исследований и выдвинуты задачи дальнейшего освоения минеральных ресурсов страны. Он успешно защитил кандидатскую (1937) и докторскую (1948) диссертации по никеленосности Кольского полуострова, в которых собран обширный материал о структурно-геологических особенностях сульфидных медно-никелевых руд, выделены различные типы рудоносных интрузий. В результате сравнительного анализа отечественных и зарубежных данных он создал генетическую классификацию никеленосных интрузий и показал высокие перспективы на никель Кольского полуострова и Карелии. Помимо медно-никелевых руд Д.Ф. Мурашова интересовали проявления железа на Кольском полуострове. Он посетил ряд участков в Приимандровском районе и дал положительные заключения, принятые металлургической промышленностью Северо-Запада СССР. При большой занятости Дмитрий Федорович находил время для чтения лекций в Горном институте. Это были курсы «Полезные ископаемые», «Разведочное дело» и «Экономическая геология», популярные среди студентов. За многолетнюю безупречную работу Д.Ф. Мурашов награжден орденом Ленина, а за участие в открытии железорудных месторождений Кольского полуострова ему присвоена Сталинская премия (1945).

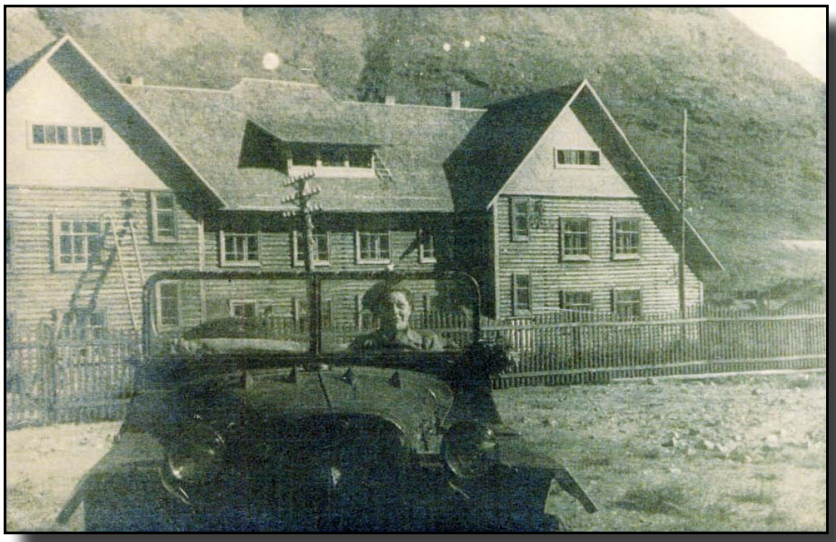
Дмитрий Федорович Мурашов был исключительно скромным, умным и обаятельным человеком. Он был доступен любому и сам любил общаться с геологами, особенно молодыми. Дмитрий Федорович лишился в войну двоих сыновей, погибших на Ленинградском фронте. У него оставался в живых лишь племянник А.Е. Мурашов, преподаватель Люблянского университета в Югославии. О себе Дмитрий Федорович навсегда оставил память как о крупном геологе, высоком профессионале в области прикладной геологии.

Денисова Милица Владимировна (1911-1972)

Крупный специалист по сульфидным медно-никелевым месторождениям Милица Владимировна Денисова многие годы отдала их изучению Кольской земле.

Родилась М.В. Денисова в Ленинграде, где закончила среднюю школу и Горный институт (1935). После его окончания была направлена на Колыму в распоряжение ГУС ДС МВД (г. Магадан), где занималась поисками и разведкой золота и олова. Там она прошла путь от рудничного геолога до начальника отдела Юго-Западного горно-промышленного управления, создав целый ряд минералогических и шлиховых лабораторий. За открытие одного из месторождений олова она была удостоена денежной премии (приказ по ГРУ ДС МВД, 1945 г.).

Сразу после войны М.В. Денисова перебралась на Кольский полуостров, где посвятила себя изучению медно-никелевых месторождений Печенгского и Мончегорского районов. Здесь она прошла аспирантуру в Кольском филиале АН СССР, а затем занялась рудной минералогией. Тесные творческие контакты с Н.А. Елисеевым, И.В. Бельковым и Г.И. Горбуновым позволили ей подготовить и успешно защитить кандидатскую диссертацию, написать серию статей о сульфидных медно-никелевых месторождениях Кольского полуострова. Ею детально описана минералогия жильных тел Ниттис-Кумужья-Травяная (НКТ), которые тогда лишь начали разрабатывать.



Слева: здание КФ АН СССР в 1947-1949 гг., за рулём М.В. Денисова; справа: она же в Ботаническом саду КФ АН СССР, 1949 г.

Изучение медно-никелевых месторождений Кольского полуострова М.В. Денисова продолжила во ВСЕГЕИ (г. Ленинград), куда она переехала в 1954 г. Здесь исследования Милицы Владимировны распространились и на другие регионы Советского Союза, особенно восточные. Её работы этих лет в отделе металлогении касались перспектив никеленосности основных и ультраосновных интрузий в Бурятии и Читинской области, Приморье и Хабаровском крае. Высокую оценку получили исследования М.В. Денисовой по никеленосности Северного Прибайкалья с составлением прогнозно-металлогенической (на сульфидные медно-никелевые руды) карты масштаба 1:500 000 (1962).

Слева: М.В. Денисова и И.В. Бельков, вид на Хибины, 1947-1949 гг., справа: М.В. Денисова и Н.А. Елисеев в поездке на Печенгу, 1949 г.

Слева: М.В. Денисова на руднике Ниттис-Кумужья, 1952 г., справа: М.В. Денисова, вид на г. Травяная, 1961 г.

Милица Владимировна была любознательным и очень активным человеком, состояла членом Всесоюзного минералогического общества, Горного общества СССР, Ленинградского общества естествоиспытателей, членом правления Дома ученых им. А.М. Горького АН СССР. Она выступала с докладами на многих Всероссийских конференциях, пропагандируя знания и веру в будущие открытия всё новых и новых месторождений полезных ископаемых.

МАТЕРИАЛЫ МОНЧЕЗЕРСКОЙ ЛИМНОЛОГИЧЕСКОЙ ЭКСПЕДИЦИИ 1933 ГОДА И СОВРЕМЕННЫЙ ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ВОДЫ И ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ОЗЕР В ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ АТМОСФЕРНЫХ ВЫБРОСОВ КОМБИНАТА «СЕВЕРОНИКЕЛЬ»

В.А. Даувальтер[1], М.В. Даувальтер[2], Н.А. Кашулин[1], С.С. Сандимиров[1], В.С. Югай[3]
[1]Институт проблем промышленной экологии Севера Кольского НЦ РАН (ИППЭС)
e-mail: vladimir@inep.ksc.ru
[2]ОАО «Кольский геологический информационно-лабораторный центр» (КГИЛЦ)
e-mail: DauvalterMV@kgilc.ru
[3]Кольский филиал Петрозаводского государственного университета, г. Апатиты

Интенсивные исследования и освоение территории Мурманской области начались в 20-е, а особенно 30-е годы XX столетия в связи с открытием здесь крупнейших месторождений апатита, железа, никеля, меди. По словам С.М. Кирова: «Волей большевиков на базе природных богатств (апатиты, железо, молибден, слюда, торий, титан и др.) в полутундре, куда до сих пор нога человеческая не ступала, создан новый быстро растущий индустриальный центр Заполярья». Кроме геологических исследований и открытий проводились также лимнологические, гидрологические и другие географические и биологические исследования, направленные на освоение природных ресурсов богатой в этом отношении окраины молодого Советского государства.

На территории Мончегорского района Мурманской области летом 1933 г. силами Мончезерской лимнологической экспедиции Ленинградского гидрометеорологического управления (ЛГМУ) были проведены исследования гидрохимического, гидрофизического, гидробиологического состояния озер Мончегорского района, который условно был назван районом «Монче-тундры» [2]. Среди исследуемых озер были Мончеозеро (которое называлось в то время Мончезером) и Пагель, в которых в 2004 г. ИППЭС были проведены гидрохимические и гидробиологические исследования. В 2004 г. ИППЭС были также проведены исследования в оз. Малевое, расположенном в 1.5 км к востоку от Мончеозера.

Исследования озер Монче-тундры стояли в плане Озерного отдела Государственного гидрологического института в 1932 г., но по целому ряду причин не были проведены. Исследования 1933 г., проводились по следующим основаниям [2]:

1) район Монче-тундры стоял на ближайшей очереди к освоению из-за соседства с разрабатываемыми в то время трестом «Новпромапатит» диатомитами и с обнаруженными месторождениями железных руд в Монче-тундре и районе г. Кирова (вблизи ст. Оленьей), разработка которых была намечена в ближайшем будущем; в связи с освоением района появилась необходимость в гидрологическом освещении;

2) представляло большое практическое значение оконтуривание месторождений диатомовых илов, исследования должны были дать дополнительные сведения об их распространенности;

3) экспедиции предстояло выяснить значение озер в рыбопромысловом отношении, в качестве продовольственной базы для работников уже существующих в то время лесозаготовок и диатомовых разработок и для проектируемых разработок месторождений железных руд;

4) представляло большой теоретический интерес изучение цепи проточных озер, и в этом отношении озера Монче-тундры являются одним из весьма характерных объектов;

5) об озерах Кольского полуострова имелись весьма скудные сведения и исследования озер Монче-тундры должны были восполнить существовавший пробел.

Организованная Ленинградским Гидрометеорологическим управлением в 1933 г. Мончезерская лимнологическая экспедиция в части научно-технического персонала состояла из: начальника экспедиции (он же научный руководитель) гидролога А.А. Нагель, гидробиолога А.Д. Зиновой, гидрохимика М.С. Френклих, топографа В.Я. Казакова и гидрометра Д.Б. Карелина; последний вскоре после начала работ, заболев цингой, вынужден был вернуться в Ленинград. Работы были начаты на оз. Монче в середине июля и проведены по маршруту: озера Монче, Ниво, Пагель, Красная Ламбина, Верхнее Волчье, Нижнее Волчье, Кережное, Малая Ламбина, Кашко, Сухая Ламбина и Монче; на пути следования был преодолен ряд трудных порожистых участков, протоков, соединяющих между собой отдельные озера, и волок, с обильными россыпями валунов и глыб, длиной около 2 км, между озерами Красной Ламбиной и Верхним Волчьим. Работы были закончены 1-го октября. Камеральная обработка была выполнена, не считая перечисленных участников экспедиции, также В.Н. Цветковым (систематическая и количественная обработка зоопланктона) и В.В. Петровым (обработка ихтиологических материалов).

Исследованные озера входят в две озерно-речных системы: 1) Верхнее Волчье – оз. Сухая Ламбина и 2) оз. Красная Ламбина – оз. Нивозеро, объединяемых озером Мончеозеро, принимающим в себя их сток (через р. Сухую из оз. Сухая Ламбина и р. Ярви из оз. Нивозера), и являются двумя основными источниками водного питания оз. Мончеозера. Таким образом, район исследований дает сток р. Монче, впадающей в Монче-губу оз. Имандра, принадлежит бассейну Белого моря. Будучи, однако, расположен в периферической его зоне, он примыкает к бассейну р. Туломы, принадлежащей бассейну Кольской губы Северного Полярного моря (так называлось советская акватория Баренцева моря) [2]. Район, заключенный в указанных выше границах, обладает значительным числом озер, выражающимся многими десятками. Из исследованных озер Верхнее Волчье, Нижнее Волчье, Кашкозеро и Мончезеро являются наибольшими.

Материалы Мончезерской лимнологической экспедиции 1933 г. были опубликованы в 1935 г. в Ленинградском отделении редакционно-издательского отдела ЦУЕГМС (Центрального управления единой государственной метеорологической службы) [2]. Материалы состоят из следующих разделов:

1. Вводная часть «К исследованию озер Монче тундры» и «Озера Монче и Волчьей тундры как хозяйственные объекты», где обосновывается проведение исследований и идет речь о хозяйственном значении района.

2. Глава I. «Пояснительная записка к производству исследований», в которой перечисляются участники экспедиции и примененные методы топографических, морфометрических, гидрометрических, гидрофизических, гидрохимических, гидробиологических и ихтиологических исследований.

3. Глава II. «Краткая ландшафтная характеристика исследуемого района», в которой приводится описание орографии и геологии района, гидрографической сети, климата, геоботанических особенностей.

4. Глава III. «Описание исследованных озер Монче и Волчьей тундр», где дается описание морфологической характеристики, грунтов, водного питания, гидрофизики и гидрохимии, гидробиологии и ихтиофауны каждого исследованного озера.

5. Глава IV. «Сравнительная характеристика исследованных озерно-речных систем Монче и Волчьей Тундр», в которой дается итоговое описание исследованных озер и их сравнение по морфологическим характеристикам, водному балансу, распределению грунтов по акватории озер, термическим характеристикам, прозрачности воды, содержанию растворенных газов, величинам pH, содержанию сульфатов, бикарбонатов, хлорид-ионов, жесткости воды, описанию макрофитов, фито- и зоопланктона, зообентоса, обрастаниям в озерах.

6. Глава V. «Ихтиофауна озер Монче и Волчьей тундр», в которой имеются материалы по следующим рыбам: сиги, окуни, щука, хариус, кумжа. Кроме того, дается описание других рыб, которые или вообще являются сравнительно редки для исследованных озер или же почти не ловятся в тот период, когда работала экспедиция; к таким рыбам относятся семга, налим и форель. В этой главе дается также описание питания рыб озер Монче и Волчьей тундр.

7. Приложения, где приводятся сводные таблицы морфометрических величин озер, площадей разных типов грунтов озер Монче и Волчьей тундр, гидрофизических и гидрохимических данных озер Монче и Волчьей тундр, количественного учета планктона, видовой состав планктона озер Монче и Волчьей тундр, качественных сборов зообентоса, количественного учета.

Мончезерская лимнологическая экспедиция 1933 г. интересна тем, что была одной из самых первых в Мурманской области, исследующей гидрологические, гидрохимические и гидробиологические особенности озер Кольского региона. Причем по уровню исследований она близка к современному. Важно отметить, что на то время об озерах Кольского полуострова сведений было очень мало, и данные этой экспедиции их пополняют. Также нельзя не отметить, что во время экспедиции ее участниками одними из первых на Кольском Севере были обнаружены железомарганцевые конкреции. Для сравнения можно сказать, что железомарганцевые конкреции с похожим содержанием железа и марганца были обнаружены в оз. Имандра в конце XX века [1].

В результате Мончезерской лимнологической экспедиции установлено, что в составе донных отложений на долю илов падает 77.3% от общей площади исследуемых озер. Во всех образцах илов обнаружено значительное содержание створок диатомовых водорослей. Наиболее богатыми створками диатомей оказались образцы из озер Кашкозеро, Красной Ламбины, Пагель и Верхнего Волчьего. В последних двух озерах обнаружены образцы илов, состоявшие почти полностью из диатомовых водорослей с ничтожной минеральной примесью. За очень небольшим исключением илы исследованных озер отнесены к диатомовым илам вследствие значительного содержания в них створок диатомей. Например, в оз. Пагель содержание SiO_2 в светлых диатомовых илах доходило до 85%, а преобладающей фракцией были частицы с размером менее 0.01 мм (до 90%), т.е. собственно створки диатомовых водорослей. В серых диатомовых илах оз. Мончеозера содержание SiO_2 доходило до 80%, а фракции менее 0.01 мм было 82%.

Следующей особенностью донных отложений озер, исследованных Мончезёрской лимнологической экспедицией 1933 г., является высокое содержание в илистых грунтах окиси железа (Fe_2O_3). Она обнаружена в повышенных содержаниях в большинстве образцов донных отложений. Наиболее часто содержание Fe_2O_3 составляет от 2 до 9%. В отдельных случаях оно увеличивается до 22% (оз. Малая Ламбина) и даже до 32% (оз. Мончеозеро). Окись железа в повышенных содержаниях была встречена в исследованных озерах в виде интенсивного окрашивания в желто-бурый и даже красный цвета или в виде озерной корочковой руды. Было отмечено, что и бурые илы, и корочковая железная руда в большом количестве встречаются в наиболее крупных озерах. По встречаемости бурых илов и корочковой железной руды (как по площади распространения, так и по мощности корочек) на

первом месте стоит оз. Мончеозеро.

Мончезерской лимнологической экспедицией 1993 г. было также установлено, что кроме илов большим распространением пользуются каменистые грунты, составляющие 14.6% от общей площади исследуемых озер. Все каменистые грунты приурочены к литоральной зоне, занимая преимущественно верхние горизонты литорали. В Мончеозере каменистые грунты встречаются до глубины 6 м, но эти случаи редки и приурочены главным образом к обрывистым берегам. Обычно каменистые грунты встречаются на незначительных глубинах от 1 до 2 м, а в больших озерах спускаются до 3-4 метровой глубины.

Пески в озерах встречаются довольно часто в виде примеси к другим донным отложениям или образуя песчаные отмели различной величины. Пески во всех озерах тонкозернисты со значительным содержанием илистых частиц и органического материала. Пески приурочены обычно, как и каменистые грунты, к литоральной зоне, но занимают большей частью более глубокую ее часть, а в редких случаях всю литоральную зону образуя песчаный пляж.

Выходы коренных пород по побережью исследованных озер наблюдались редко. Главным образом они сосредоточены в крупных озерах Верхнее Волчье и Мончеозере, где выходы коренных пород встречаются вдоль западных берегов озер. Выступающие массивы коренных пород образуют большинство островов исследуемых озер.

Методика отбора проб использовалась стандартная для того времени. Донные отложения в 1933 г. были отобраны с помощью дночерпателя, а сотрудниками ИППЭС КНЦ РАН отбор донных отложений производился с помощью отборника колонок. По этой причине становится невозможным сравнение концентраций химических элементов послойно. Было установлено, что особых изменений по исследуемым гидрохимическим показателям за 70-летний период не произошло (табл. 1 и 2). Отмечаются лишь небольшие изменения значений pH и некоторых других показателей. Важно отметить, что все эти показатели изменяются в зависимости от сезона. Отбор проб в 1933 г. проводился в августе, а в 2004 г. – в июне.

Таблица 1. Гидрохимические показатели озер Пагель и Мончеозеро в 1933 и 2004 гг.

Название озера	Год	pH	HCO_3 (мг/л)	Окисляемость (мг/л)	Si (мг/л)	Жесткость (мг-экв/л)
Мончеозеро	1933	6.83	11.75	6.25	2.17	0.2
	2004	6.98	9.4	3.3	2.61	0.3
Пагель	1933	6.62	10.95	5.45	1.9	0.12
	2004	6.84	6.4	3.46	2.18	0.2

Таблица 2. Концентрации главных ионов (в мг/л) в исследуемых озерах в 2004 г.

Название озера, горизонт	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^{+}	K^{+}	HCO_3^{-}	SO_4^{2-}	Cl^{-}	Минерализация
Молевое, поверхность	3.43	1.57	1.83	0.71	11.9	10.0	1.77	33.5
Монче, поверхность	2.63	0.82	1.54	0.42	9.3	3.8	1.39	22.5
Монче, дно, 8 м	2.69	0.86	1.58	0.45	9.5	3.8	1.39	22.8
Пагель, поверхность	1.83	0.54	1.17	0.27	6.2	2.03	0.94	15.1
Пагель, дно, 5 м	1.77	0.54	1.17	0.26	6.5	2.18	0.94	15.5

По своим природным характеристикам поверхностные воды Кольского Севера, в том числе и исследуемые водоемы Мончегорского района, характеризовались как пресные и ультрапресные, относились по классификации О.А. Алекина к гидрокарбонатному классу (> 80% экв.), группе кальция. Под влиянием аэротехногенной нагрузки на водосборы произошли изменения ионной композиции вод. Произошло изменение в соотношении главных анионов, связанное с высоким уровнем выпадения антропогенной серы. Особенно отчетливо эта тенденция проявилась в оз. Молевом, где произошло изменение класса воды. Данные исследования показывают, что вода оз. Молевого относится к сульфатному классу (группа Ca^{2+}). Концентрации SO_4^{2-} увеличились до 10 мг/л. Из катионов продолжает преобладать Ca^{2+} – 3.43 мг/л. Повышенные концентрации SO_4^{2-} наблюдались и в двух других озерах – Монче и Пагель, но они не повлияли на класс их вод: он по-прежнему остается гидрокарбонатным (группа Ca^{2+}). По значению водородного показателя реакция вод во всех трех озерах близка к нейтральной: pH колеблется в пределах 6.83-7.05. Определение показателя закисления вод, основанного на соотношении HCO_3^{-} / SO_4^{2-}, выявило, что из трех изученных озер только одно – оз. Молевое – проявляет тенденции к закислению. На основе данных анализа можно утверждать, что содержание растворенного органического вещества в водах всех трех озер достаточно низкое и не превышает 4 мг/л.

Деятельность ГМК «Североникель» привела к повышенному содержанию ряда металлов, которые поступают в составе пылевых выбросов и вызывают изменение в соотношении между концентрациями отдельных микроэлементов в водах. Значительное преобладание получили Ni и Cu (табл. 3). Концентрация Ni в оз. Молевом

в среднем в 187 раз, в оз. Монче – в 17 раз и в оз. Пагель – в 4 раза превышает условно фоновые значения, характерные для данного района [3]. Для Cu вышеназванное превышение составляет 157, 15 и 2 раза, соответственно. Концентрация других тяжелых металлов в водах исследуемых озер много ниже и превышает условно фоновые содержания не более чем в 2 раза. В частности, наблюдаются повышенные концентрации таких элементов, как Co и Zn. Это связано с тем, что они также присутствуют в атмосферных выбросах металлургического предприятия «Североникель». В целом содержание всех вышеперечисленных металлов в водах озер уменьшается по мере удаления от источника загрязнения. В составе дымовых выбросов комбината «Североникель» присутствуют и такие металлы, как Cr, Cd, Pb, As, которые обнаруживаются в воде озер и в повышенных концентрациях в донных отложениях (табл. 4).

Таблица 3. Концентрации основных загрязняющих тяжелых металлов (в мкг/л) в исследуемых озерах в 2004 г.

Название озера, горизонт	Co	Cu	Ni	Zn	Pb	Cd	As
ПДК	**10**	**1**	**10**	**10**	**100**	**5**	**50**
Молевое , поверхность	3,8	126	169	3,9	1,1	0,3	2,5
Монче, поверхность	0.3	12,9	13,8	0,9	0,2	<0,05	0,2
Монче, дно, 8 м	0.3	10,6	16,4	3,6	0,2	<0,05	0,2
Пагель, поверхность	<0.2	1,3	2,7	1,2	<0,1	<0,05	<0,1
Пагель, дно, 5 м	<0.2	2,2	4,3	5,2	1,2	<0,05	<0,1

Судя по материалам изучения химического состава донных отложений, исследуемые озера испытывают серьезное антропогенное воздействие, связанное, главным образом, с атмосферными выбросами комбината «Североникель». Это воздействие сказывается в повышении концентраций в поверхностных слоях донных отложений Ni, Cu, Co, Hg, Cd, Pb и As. Последние четыре элемента относятся учеными-экологами к одним из глобальных загрязняющих элементов, особенно в арктической и субарктической зонах Северного полушария [5]. Коэффициенты загрязнения по этим элементам, рассчитанные как отношение концентраций элементов в поверхностном слое донных отложений (0-1 см) к фоновым содержаниям в самой глубокой части колонки (по методике Л. Хокансона [4]), достигают 43.3 (оз. Пагель), 10.7 (оз. Пагель), 10.3 (оз. Пагель) и 35.6 (оз. Малевое), соответственно (табл. 4). Эти элементы обладают чрезвычайной токсичностью для водных организмов, поэтому высокое загрязнение поверхностных вод и донных отложений озер этими элементами представляет серьезную опасность водным экосистемам и населению Мончегорского района.

Таблица 4. Концентрации элементов (в мкг/г сух. веса) и потери веса при прокаливании (ППП, %) в поверхностных слоях (0-1 см) и фоновые содержания в донных отложениях исследуемых озер. C_f – коэффициент загрязнения, C_d – степень загрязнения (значения рассчитаны для 8 элементов: Cu, Ni, Zn, Co, Cd, Pb, As и Hg).

Озеро глубина, м	Слой ДО, см	Fe	Mn	Cu	Ni	Zn	Co	Cd	Pb	As	Hg	C_d
Пагель	0-1	16529	511	148	549	87	30.1	0.39	11.9	2.73	1.13	
гл.5 м	9-10	12603	106	6	20	51	8.8	0.04	1.2	0.42	0.026	
	C_f	**1.3**	**4.8**	**24.4**	**27.1**	**1.7**	**3.4**	**10.7**	**10.3**	**6.5**	**43.3**	**127.4**
Мончеозеро	0-1	85448	5025	734	1638	119	113	0.51	15.2	12.4	0.062	
гл. 8 м	19-20	17553	93	58	38	101	11	0.14	2.3	1.91	0.069	
	C_f	**4.9**	**54.1**	**12.7**	**43.3**	**1.2**	**10.2**	**3.6**	**6.6**	**6.5**	**0.9**	**84.9**
Малевое	0-1	14759	134	1063	2109	135	84	0.56	21.6	39.1	0.353	
гл. 4 м	19-20	7875	200	16	27	45	8	0.15	4.9	1.10	0.024	
	C_f	**1.9**	**0.7**	**66.0**	**78.6**	**3.0**	**11.0**	**3.7**	**4.4**	**35.6**	**14.6**	**216.9**

Наибольшая величина степени загрязнения, рассчитанная как сумма коэффициентов загрязнения 8 элементов (Ni, Cu, Zn, Co, Cd, Pb, Hg и As), отмечена в оз. Малевое (табл. 4). Это озеро расположено ближе остальных исследуемых озер к комбинату «Североникель», поэтому и испытывает большую антропогенную нагрузку. Затем по степени загрязнения следует оз. Пагель, расположенное дальше и немного в стороне от направления превалирующих ветров. Основная территория водосбора оз. Мончеозеро расположена на довольно значительном удалении от комбината «Североникель», поэтому это озеро имеет наименьшее значение степени загрязнения, хотя оно относится к высокому по классификации Л. Хокансона [4].

В поверхностных слоях донных отложений оз. Мончеозера происходит значительное обогащение Mn и Fe

(табл. 4), но это связано скорее всего не с процессами загрязнения, а с геохимической обстановкой в придонных слоях воды и поверхностных слоях донных отложений. Повышенное содержание Fe и Mn в поверхностных слоях донных отложений может быть связано с высоким содержанием кислорода в придонных слоях воды и верхней части донных отложений и дефицитом кислорода в нижерасположенных слоях донных отложений, где Fe и Mn переходят в растворимые закисные формы и мигрируют к поверхностным слоям донных отложений, где они, окисляясь, переходят в окисную плохо растворимую форму [1]. Тем самым происходит постоянное увеличение концентраций Fe и Mn в поверхностных слоях донных отложений, что приводит к образованию озерной железной руды в виде корочек, зафиксированное еще в начале 30-х годов прошлого столетия в озерах Пагель и Мончеозеро [2] и в конце XX века в оз. Имандра [1].

Список литературы

1. Даувальтер В.А., Ильяшук Б.П. Условия образования железо-марганцевых конкреций в донных отложениях озер в пределах Балтийского кристаллического щита // Геохимия. 2007. № 6. С. 680-684.

2. Материалы Мончезерской лимнологической экспедиции 1933 г. Л.: ЦУЕГМС, 1935. 226 с.

3. Моисеенко Т.И., Родюшкин И.В., Даувальтер В.А., Кудрявцева Л.П. Формирование качества вод и донных отложений в условиях антропогенных нагрузок на водоемы арктического бассейна (на примере Кольского Севера). Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 1996. 263 с.

4. Håkanson L. An ecological risk index for aquatic pollution control – a sedimentological approach // Water Res. 1980. V. 14. P. 975-1001.

5. Pacyna J.M., Pacyna E.G. An assessment of global and regional emissions of trace elements to the atmosphere from anthropogenic sources worldwide // Environment Review. 2001. V. 4. P. 269-298.

«ЗОЛОТЫЕ ЗВЕЗДОЧКИ» НА КАРТЕ ХИБИН: К ВОПРОСУ ОБ ИСТОКАХ АПАТИТОВОГО ДЕЛА

С.А. Дюжилов
Кольский филиал Петрозаводского госуниверситета, г. Апатиты, e-mail: dugilov@arcticsu.ru

История открытия, изучения и освоения апатито-нефелиновых месторождений в Хибинском щелочном массиве является захватывающей и поучительной иллюстрацией новаторского решения совместными усилиями науки и производства одной из крупнейших довоенных народнохозяйственных проблем страны, повлекшей за собой колонизацию и индустриализацию Кольского Севера, создание здесь новых культурных центров.

Истоки этой проблемы уходят в 1920-е годы. После восстановления советской власти на Мурмане сюда для ознакомления с производительными силами края и составления плана его экономического возрождения была отправлена смешанная комиссия из представителей Академии наук, Мурманской железной дороги и Карельской республики. В этой поездке в конце мая 1920 г. приняли участие президент АН СССР акад. А.П. Карпинский, академики А.Е. Ферсман и Ю.М. Шокальский, геолог Геологического комитета А.П. Герасимов [1]. Во время остановки на станции Имандра ученые сделали попытку визуально исследовать близлежащий горный массив. Их взору открылся непознанный мир Хибин, полный загадок и тайн. Прозорливость научной мысли А.Е.Ферсмана, почти интуитивно, определила Хибинский район, как представляющий выдающееся значение для разрешения многих геохимических проблем. Тогда же было принято решение незамедлительно организовать сюда научную экспедицию, объединив для этой цели три организации: Северно-промысловую экспедицию ВСНХ, Ленинградский университет и Географический институт.

25 августа 1920 г. под руководством акад. А.Е. Ферсмана из Петрограда выехала в теплушке группа молодых минералогов: Е.Е. Костылева, Е.В. Еремина, В.А. Унковская (преподаватели Ленинградского университета), Э.М. Бонштедт, Н.Н. Гуткова (сотрудницы Геологического и минералогического музея) и студенты Ленинградского университета А.В. Лермантова, С.А. Лихарева, Р.Б. Россиенская, М.Л. Степанова и М.В. Терпугова. Всего - 10 человек [2]. Экспедиция получила скромные ассигнования в размере лишь 500 рублей. «Наш старенький вагон, - вспоминал А.Е.Ферсман, - то прицепляли, то отцепляли от перегруженных составов. 10 суток тащились мы до Хибин и отсюда отправились в горы. Условия работы были чрезвычайно тяжелыми. Почти без продовольствия, без обуви и без какого-либо специального экспедиционного снаряжения начали мы наши работы. Все грузы переносились на спинах самих участников экспедиции. Никаких дорог в глубине тундры не было. Мы пробирались по еле заметным оленьим тропам, переходили вброд многочисленные холодные речушки. Почти не переставая, шли дожди. Ночью мы мерзли, так как температура иногда понижалась до 10° мороза, а днем мучили комары и мошкара. У нас не было ни палаток, ни даже брезента. И когда мы вернулись к теплушке, то, глядя на нашу группу, трудно было предположить, что это отряд научных работников. Наша одежда и обувь были так изорваны, что

наш внешний вид напоминал хорошо знакомую всем картину отступления армии Наполеона из Москвы...» [3].

В 1920 г. экспедиция в Хибины носила еще рекогносцировочный характер. Основной задачей ее было предварительное ознакомление с условиями проведения геолого-минералогических и геохимических исследований в Хибинских тундрах. Разведчики недр обследовали территорию площадью в 80 км^2, захватив маршрутами общей протяженностью 270 км Южный Часночорр, вершины Чильмана, Рабо, Кудрявцева и северной части Юмъечорра, а также частично ущелье Рамзая. Именно в эти дни под ударами геологического молотка возникла собственно апатитовая проблема. Известно, что долгое время минералоги принимали апатит за другие минералы - аквамарин, хризолит, турмалин, кварц и другие. В 1776 г. Борн первый указал на то, что апатит представляет собой самостоятельный минеральный вид, а Вернер в 1788 г. дал ему название апатит, что значит по-гречески «обманщик». Как микроскопическая часть хибинских пород, апатит был отмечен на Кольском полуострове финляндскими исследователями Рамзаем и Гакманом. Впервые в Хибинах штуф с содержанием апатита был обнаружен 10 сентября 1920 г. отрядом Академии наук под руководством А.Е. Ферсмана.

Правда, первоначально «камню плодородия» не уделялось должного внимания. В то время апатит нигде не применялся как промышленный минерал. Сознание практической его бесполезности прочно укрепилось в умах минералогов, поэтому отряд экспедиции А.Е. Ферсмана первоначально лишь констатировал наличие в Хибинах этого минерала, занимаясь, прежде всего, поисками редких металлов. «В осыпях ущелья Рамзая и ущелья Юмъечорра найдены помимо упомянутых минералов, минерал мозандритовой группы, альбит с натролитом и апатит» [4], - читаем мы в отчете за 1920 г. Всего же участниками экспедиции было собрано 20 пудов каменного материала, кроме того проведена маршрутная съемка и определены с помощью анероида некоторые высоты, что позволило исправить карту, составленную в конце XIX в. финским геологом В. Рамзаем. Несмотря на короткий срок пребывания в Хибинских тундрах (лишь 10 дней), ученым удалось также открыть несколько месторождений [5] и провести наблюдения над новыми геологическими явлениями - подъемом камней кристалликами льда [6]. Так началась огромная работа по изучению и промышленному освоению природных ресурсов Кольского полуострова.

Трудности первого полевого сезона не остановили научных сотрудников и они в полном составе во главе с А.Е. Ферсманом вновь приняли участие в экспедиции 1921 г. К коллективу исследователей на этот раз присоединились петрограф Б.М. Куплетский, старший хранитель геологического и минералогического музея Академии наук В.И. Крыжановский, а также студенты Географического института А.В. Терентьев и В.А. Елизаровский. Базой экспедиции была станция Хибины, где управлением Мурманской железной дороги для них было отведено специальное помещение.

Объектом исследования было изучение юго-западной части Хибинского массива интрузивных щелочных пород и полезных ископаемых, генетически связанных с этим массивом. Кроме того, научные сотрудники экспедиции посетили горный хребет Тахтарвумчорр, отдельные части Поачвумчорра и Айкуайвенчорра, перевалы между Кукисвумчорром, Юкспором и Расвумчорром. Работы в поле проводились с 28 июля по 21 сентября.

Материальное и продовольственное обеспечение экспедиции было значительно лучше, чем в первый раз. Транспортировка грузов, продовольствия, снаряжения по-прежнему осуществлялась самими сотрудниками экспедиции. В начале полевого сезона экспедиция организовала шесть лагерей или «горных баз». Главной базой был лагерь у Малого Вудъявра, откуда совершалось большинство однодневных маршрутов. Для обеспечения многодневных маршрутов были основаны дополнительные базы.

В результате полевых исследований 1921 г. на южных отрогах массива Кукисвумчорр и в ущелье Гакмана впервые был встречен жильный тип апатитовой минерализации. В полевом дневнике акад. А.Е. Ферсмана за 10 августа записано: «В 3 часа достигли жилы на высоте 360 м над Вудъявром, т.е. около 580 м над Имандрой... Под ней метров на 10 ниже жила зеленого апатита с эгирином и элеолитом. Как она идет, сказать трудно. Скорее зеленый апатит образует отдельные вздутия... Много разных минералов, коих не определили. Работали над коренной жилой, но в опасении обвала пришлось бросить» [7]. При совершении XXII маршрута 30 августа 1921 г. из лагеря Лопарского к юго-западным отрогам Кукисвумчорра и обратно геологи встретили большое количество глыб апатита. Позднее А.Е. Ферсман вспоминал: «Идя по левому зеленому склону, на расстоянии приблизительно 1 км пересекли приток, круто спускавшийся со склона Кукисвумчорра. В выносах этого притока большое количество зеленых глыб до 1 пуда весом апатитовой породы, часто носившей слоистый характер» [8]. Однако из-за отсутствия времени и сильного переутомления участников маршрута коренные выходы апатитовых жил не были найдены.

На сводной карте Хибин, которую составляла экспедиция А.Е. Ферсмана, условными знаками отмечались точки нахождения разных минералов. Места находок апатита помечались условным знаком «золотая звездочка». По мере увеличения находок апатита в последующие годы на карте вырастало количество «золотых звездочек», которые образовали дугообразную фигуру.

В течение полевого сезона 1921 г. за 39 дней было пройдено маршрутами 270 км., исследована площадь 220 км^2, собран огромный научный материал (образцы и штуфы) общим весом 70 пудов [9]. Из описаний маршрутов участников экспедиции и ее руководителя А.Е. Ферсмана следует, что апатит впервые был обнаружен в жилах 10 августа 1921 г., 30 августа того же года впервые была встречена россыпь глыб апатита.

В 1922 г. экспедиция А.Е. Ферсмана вновь отправилась на Кольский полуостров, сосредоточив на этот раз основное внимание на изучении северной и центральной частей Хибинских тундр. Кроме прежних сотрудников в экспедиции приняли участие минералог А.Н. Лабунцов и химик Г.П. Черник.

За полевой сезон было покрыто маршрутами 1100 км при общей исследованной площади 500 км^2, собрано 95 пудов каменного материала [10]. Большую помощь экспедиции оказало местное население, в особенности семья саами Петра Кобелева, сын которого Алексей помогал перевозить грузы на оленях, ловил рыбу и выполнял другие подсобные работы.

В результате научных исследований были обнаружены глыбы апатитовой руды в ущелье Гакмана, что позволило обратить внимание на практическое значение этой находки. В 1923 г. в «Трудах» НТУ А.Е. Ферсман впервые высказал мнение о промышленном значении хибинского апатита, хотя ошибочно и отмечал трудную доступность его месторождений [11]. Уже при подготовке данной публикации один из южных отрядов Кольской экспедиции в составе Э.М. Бонштедт, Е.Е. Костылевой, А.Н. Лабунцова, Б.М. Куплетского нашел целое поле апатитовых глыб на плато Расвумчорр. Это произошло 12 июля 1923 г. В последующие дни поиски продолжились. «У края второго западного цирка Расвумчорра отмечены сплошные выходы апатитовой породы» [12], - повествует запись в дневнике петрографа Б.М. Куплетского за 16 июля, а 24 июля в дневнике отмечалось: «Выступили из Юкспорлакского лагеря в 13 ч. 15 мин. для осмотра западного цирка Расвумчорра. Интересного встречено мало, минералогически - только россыпи апатитовой породы, которая была встречена 16 июля на плато Расвумчорр у этого цирка» [12]. Уже тогда А.Н. Лабунцов совершенно определенно высказался в пользу исключительного значения сделанного открытия. Именно с 1923 г. поиски коренных апатитовых месторождений, их изучение и освоение на много лет окажутся в центре внимания, сначала небольшой группы ученых, а затем целых научных коллективов и руководства всей страны.

Примечательно, что в этом же году И.Д. Борнеман дала первый химический анализ хибинского апатита (сбор 1921 г. с горы Поачвумчорр), Н.Н. Гуткова впервые его научно описала в сборнике «Хибинский массив» [13], а А.Е. Ферсман на концептуальном уровне заявил о дуговой теории размещения месторождений минералов в Хибинах [14].

К сожалению, в 1924 г. экспедиция располагала крайне незначительными средствами (300 руб.), которые позволили послать только двух сотрудников в Ловозерские тундры (Н.Н. Гуткову и В.А. Сермигину). Ими были открыты пегматитовые жилы, собран большой минералогический материал луявритов и других пород. Работы же в Хибинах в этом году не велись.

В течение 1920-1924 гг. были сделаны открытия, привлекшие к себе всеобщее внимание. Хибинские минералы стали достоянием почти всех минералогических музеев мира, бюро обмена при научно-техническом отделе ВСНХ организовало их продажу в Германию и США. Общее представление об экспедиционной деятельности за эти годы специального отряда под руководством А.Е. Ферсмана в центральной части Лапландии дает таблица.

Таблица. Хибинские экспедиции АН СССР (1920-1924 гг.).

Годы	Число участников (без рабочих и проводников)	Сроки (дней)	Протяженность маршрутов (км.)	Изучено площади (км^2)	Собранный научный материал (пуд.)
1920	11	10	80	80	20
1921	11-13	39	270	220	70
1922	10	57	ок. 1100	500	95
1923	7-10	44	ок. 950	ок. 700	50
1924	2	18	ок. 230	15	6
ВСЕГО	ок. 46	168	2400	1515	241

*Хибинские и Ловозерские тундры. Т. 1 . Маршруты. М., 1925. С. 7.

За пять лет в Хибинских и Ловозерских тундрах побывало около 46 научных сотрудников. Причем характер работы менялся с годами по мере приспособления членов экспедиции к условиям местности. В 1920 г. отряд не делился, а шел в полном составе; в 1921 г. разбился на 2 партии по 6-7 чел., работавших одновременно; в 1922 г. разбился на несколько партий по 2-4 чел., работавших по разным маршрутам; в 1923 г. в различных районах работало одновременно 2 отряда, по 4-5 чел., разбивавшихся в свою очередь на группы по 2-3 чел.; в 1924 г. работал один отряд из 2 чел. [15]. Всего учеными было пройдено маршрутами 2400 км, изучено площади 1515 км^2, собран 241 пуд научного материала.

Хибинская экспедиция заслуживает внимание не только по количеству труда, затраченного ее участниками, но и по тем научным достижениям, которые получены ими в результате обработки своих наблюдений и коллекций. Всего было найдено свыше 85 различных минеральных видов, из них около 10 представляли большую редкость и огромный научный интерес, а четыре вида вообще описаны впервые (кальциоанцилит, рамзаит, юкспорит и манганнептунит). Кстати, по представлению особой комиссии в составе А.К. Болдырева, А.Н. Заварицкого и П.А. Земятченского участникам Хибинской экспедиции, работавшей под руководством А.Е. Ферсмана, был присужден первый Почетный отзыв минералогического общества (вместо медали им. А.И. Антипова) в об-

ласти минералогии [16].

В 1925 г. один из первопроходцев Хибин А.Н. Лабунцов при осмотре плато южного Расвумчорра выяснил, что под россыпями апатито-нефелиновой породы залегают коренные месторождения, занимающие по предварительным данным площадь не менее 10000 м^2. По возвращении в Ленинград в Институте по изучению Севера он сделал специальный доклад об апатитах Расвумчорра. Это был первый доклад о «камне плодородия», правда, встретивший в научной среде известный скепсис. «Названные мною размеры площади, занятой нефелино-апатитовой породой - около 10000 м^2, - отмечал А.Н.Лабунцов, - возбудили, с одной стороны, большой интерес, но, с другой стороны, во многих вопросах, заданных мне после доклада, чувствовалось и некоторое недоверие к таким цифрам запасов апатита. Это было вполне естественно, так как, с одной стороны, я не мог еще дать исчерпывающих ответов на все предложенные мне вопросы, а, с другой стороны, следует иметь в виду, что подобная нефелино-апатитовая порода до сих пор еще нигде в мире встречена не была и само происхождение ее, как породы, занимающей большие площади, казалось маловероятным» [17].

Тем не менее, выступление А.Н. Лабунцова сыграло определенную роль в деле дальнейшего выяснения вопроса о хибинских апатитах. Тогда же Н.Н. Гуткова напечатала в «Известиях Академии наук» описание минерала - обманщика, связала месторождение апатита с месторождениями Шведской Лапландии, «подчеркнула их своеобразный состав с 1-3% редких земель и правильно наметила их образование в качестве конечного продукта магматической кристаллизации нефелиновой магмы, богатой летучими веществами и фосфором» [18].

К 1926 г. экспедиции А.Е. Ферсмана благодаря своим результатам выдвинули на передний план задачу промышленного обследования месторождений. Настало время искать пути для практического использования апатита. Но для этого нужны были средства. Вот здесь-то и начались мытарства в получении нужных кредитов. В научных кругах в реальность дела пока не верили [19]. Неудивительно, что в Институте по изучению Севера А.Е. Ферсману и его соратникам отказали в скромной просьбе ассигновать 1000 руб. для продолжения поисковых работ. Только благодаря неослабной энергии А.Н. Лабунцова апатитовая проблема обрела реальный смысл. На помощь пришло правление Мурманской железной дороги, выделив для снаряжения экспедиции 700 руб.

Произведенные в 1926 г. обследования в районе Южных Хибин позволили установить значительные запасы апатито-нефелиновой породы на Расвумчорре и Кукисвумчорре, оцененные приблизительно в 3 млн. тонн. Об этом открытии А.Н. Лабунцов телеграфировал в Академию наук - А.Е. Ферсману и старшему геологу Д.И. Щербкову, в Арктический институт - Р.Л. Самойловичу: «Исследования апатитовых месторождений закончены. Результаты благоприятные. В Расвумчоррских месторождениях запасы порядка 3 млн. тонн. Найдено также месторождение Кукисвумчорр. Подробности письмом - Лабунцов» [20].

По предложению А.Е. Ферсмана в Хибины была направлена комиссия в составе проф. Р.Л. Самойловича, инж. Д.И. Щербакова и проф. П.А. Борисова. Перед ней уже ставилась задача выяснения технических условий детальной разведки и возможности эксплуатации месторождения. «В дождливую, пасмурную погоду, - вспоминал Р.Л. Самойлович, - нагруженные палатками, продовольствием, мы отправились с разъезда Белого к месторождению апатита на Расвумчорре. Подробно обследовав весь обширный район, мы подтвердили соображения А.Н. Лабунцова: - Да, правильно» [21]. Грубо ориентировочно Комиссия определила запасы на Расвумчорре и Юкспоре в 1250 тыс. тонн [22]. Тогда же на открытых месторождениях были поставлены заявочные столбы на имя Мурманской железной дороги, Института по изучению Севера и Лабунцова.

На повестку дня становилась организация лабораторных исследований апатито-нефелиновой породы. Привезенная в Ленинград партия «мурманского золота» была исследована и, оказалось, что среднее содержание апатита в породе составило около 60%. Почти одновременно И.Г. Эйхфельд поставил опыты на сельскохозяйственном пункте в Хибинах и в своей докладной записке от 8 октября 1926 г. в адрес Колонизационного отдела Мурманской железной дороги отмечал: «Возможность использовать в крае апатит не вызывает никакого сомнения как с экономической стороны, так и со стороны использования его растениями, что объясняется высоким содержанием удобрительных веществ и их легкой растворимостью» [22].

По поручению той же дороги в конце октября этого года агроном И.Г. Эйхфельд вместе с научным сотрудником Г.М. Крепсом и инженером П.Ф. Семеровым организовали первую доставку апатита [23], заготовленные на Расвумчорре 100 пудов апатито-нефелиновой породы были вывезены на оленях саама Зосима Куимова к железной дороге. Для экспериментальной переработки, опытного обогащения и технологических опытов эта порода была направлена фирме Гумбольдт в Кельне, Научному институту по механической обработке полезных ископаемых (Механобру), Институту прикладной химии (ГИПХу) и в лабораторию Д.Н. Прянишникова. Результаты получились обнадеживающими.

Таким образом, вопрос о разведке апатита был сдвинут с мертвой точки.

Список литературы

1. Ферсман А.Е. История исследований Хибин. // Путеводитель по Хибинским тундрам. Л., 1931. С. 36.
2. Оранжиреева А.М. Первые поиски. // Хибиногорский рабочий. 1934. 4 октября. С. 3.

3. Ферсман А.Е. Наш апатит. М., 1968. С. 60.
4. НА КНЦ РАН. Ф.1. Оп. 6. Д. 15. Л. 30.
5. Курочкин Г.Д. Исследование минеральных ресурсов экспедициями Академии наук (1919 – 1959). - М., 1969. - С.33-34.
6. Документы по истории АН СССР: 1917-1925. Л., 1986. С. 170.
7. Хибинский полевой дневник акад. А.Е.Ферсмана. Книжка первая. // Фонды Мурманского областного краеведческого музея. ОФ-4738. С. 12.
8. Ферсман А.Е. Наш апатит. С. 64.
9. Ферсман А.Е. Хибинские и Ловозерские тундры. // Труды научно-исследовательского института по изучению Севера. Т.1. № 106. Вып. 29. Л., 1925. С. 65.
10. Документы по истории АН СССР: 1917-1925. С. 238.
11. Ферсман А.Е. Апатито-нефелиновая проблема Хибинских тундр // Материалы по химизации народного хозяйства СССР. Вып. 5. Л., 1929. С. 41-42.
12. НА КНЦ РАН. Ф. 1. Оп. 6. Д. 3О. Л. 134.
13. НА КНЦ РАН. Ф. 1. Оп. 5. Д. 38. Л. 106; Оп. 6. Д. 15. Л. 3О.
14. Ферсман А.Е. Апатито-нефелиновая проблема в 1930, 1940 и 1950 гг. // Природа. 1940. № 1. С. 38.
15. Хибинские и Ловозерские тундры. Т. 1. Маршруты. М., 1925. С. 9.
16. Документы по истории АН СССР. 1917-1925. С. 309-310.
17. Лабунцов А.Н. Как был открыт хибинский апатит // Карело-Мурманский край. 1929. № 11-12. С. 18.
18. Ферсман А.Е. Апатито-нефелиновая проблема Хибинских тундр. С. 42.
19. Отчет о деятельности АН СССР за 1926 г. Л., 1927. С. 152-153.
20. НА КНЦ РАН. Ф. 1. Оп. 6. Д. 12. Л. 31.
21. Самойлович Р.Л. Жизнь, пробужденная наукой. // Известия ЦИКа. 1933. 15 сентября.
22. НА КНЦ РАН. Ф. 1. Оп. 5. Д. 38. Л. 108.
23. Эйхфельд И.Г. В Хибины за апатитами. // Карело-Мурманский край. 1927. № 2. С. 8-13.

ГЛАВНЫЙ ГЕОЛОГ КОМБИНАТА «СЕВЕРОНИКЕЛЬ» ПЁТР ВЛАДИМИРОВИЧ ЛЯЛИН (1910- 1992)

А.В. Зайцев
Музей истории города Мончегорска, e-mail: history@monch.mels.ru

П.В. Лялин происходил из семьи потомственных военных. Его дед был участником войны за освобождение Болгарии 1877-1878 гг. Отец П.В. Лялина - полковник царской армии, командовал саперными войсками, был инженером по образованию. Как многие другие интеллигенты, он критически относился к самодержавию, был уверен в неизбежности революции. В то время среди интеллигенции в моде был либерализм, революция казалась им панацеей от всех бед, почти так же как реформаторам 90-х представлялся - западный маркетинг, а еще ранее - перестройка. Но революция оказалась далеко не «свободой в золотом венце». Она пришла с голодом, разрухой, гражданской войной, а позднее – репрессиями. Революции имеют свойства пожирать своих детей. Так и П.В. Лялину часто приходилось отвечать за свое дворянское происхождение.

Несмотря на то, что в школе Петр отличался хорошими способностями, окончил школу на год раньше всех, в 16 лет, на работу его нигде не брали. В графе анкеты - «социальное происхождение», красной строкой проходило - «из бывших дворян». А помогать семье было нужно. Поэтому со школьным товарищем он придумал способ заработка: зимой на санках, а летом на тележках отвозили с вокзала вещи пассажиров или покупки с базаров и магазинов. Извозчики были дороги, поэтому шустрых подростков охотно нанимали. Как ни странно, это обстоятельство оказало решающее значение на всю дальнейшую жизнь Петра Владимировича.

Однажды он перевез одному из клиентов книжные полки помог их установить на квартире и расставить там книги. Клиент, а им оказался С.В. Константов - один из ведущих специалистов Геолкома, – был изрядно удивлен, увидев, что уличный мальчишка бойко читает по-немецки. Он побеседовал с ним и вдруг увидел интеллигентного и очень толкового юношу. «Вот что, Петр, - предложил он, - снаряжается геологическая экспедиция на юг, хватит с тележкой бегать, я могу взять и вас». В этой экспедиции П.В. Лялин впервые стал подсобным рабочим, за первый сезон прошел все рабочие ступеньки, от подносчика кольев до пикетажиста. Осенью экспедиция вернулась в Ленинград и С.В. Константов включил П.В. Лялина в группу камеральной обработки. Так он стал младшим научно-техническим сотрудником Геолкома, затем попытался поступить в Горный институт. Но в число поступивших он не попал, был расстроен и дома обронил: «Хоть вычеркивай эту строчку в анкете!». «Ничего вы-

черкивать не надо,- сказал ему отец, - стыдится тебе нечего, не всю жизнь по анкете будут судить, приобщайся к делу, иди и работай». Так П.В. Лялин и поступил.

В 1930 г. мечта об учебе была уже близка к осуществлению. Он окончил к тому времени курсы коллекторов и был назван в числе ударников. При Горном институте были организованы двухлетние курсы подготовки геологов. В его библиотеке появились учебники геологии, петрографии. Петр учился с большим желанием и работал в Геолкоме. Но дворянское происхождение и тут сыграло свою роль. К нему проявил «интерес» сотрудник спецотдела, любивший говорить, что он выведет на чистую воду всех бывших. Вскоре П.В. Лялину объявили: уволен из Геолкома. На вопрос почему, кратко ответили: по мотивам социального происхождения. Но на помощь пришел все тот же С.В. Константов. К тому времени он работал на Севере. В письмах к друзьям в Ленинград, он писал о размахе геологических работ на Кольском полуострове, интересовался судьбой своего молодого и подающего надежды ученика, П.В. Лялина.

П.В. Лялин написал в трест «Апатит» письмо с просьбой предоставить ему работу на Севере. И вот в его руках долгожданный вызов на работу в Хибиногорск. Там П.В. Лялин встретил своего учителя, который ввел его в курс событий. Созданная в то время в Хибиногорске контора «Новпромапатит» крайне нуждалась в знающих людях. Первое назначение П.В. Лялина было проверочным – возглавить небольшую изыскательную партию по диатомиту в Монче-губе.

И вот 18 июня 1933 г. П.В. Лялин на катере «Тундра» направился к месту назначения. Детальные изыскания в Монче-тундре не подтвердили прогноза по качеству диатомита, но П.В. Лялин нашел более интересное дело. Связано оно было уже с медно-никелевыми месторождениями Монче-тундры. В октябре 1933 г. П.В. Лялин получил назначение на геологоразведочные работы по никелю. Перед выездом у него состоялась «проверочная» встреча с В.К. Котульским, который лично хотел убедиться в деловых качествах каждого человека, отправлявшегося на ответственное задание. Экзамен он выдержал и был назначен в геологическую партию «Новпромапатита». В то время перед геологами стояла задача вести работы не сезонно, а круглогодично. Эта ответственная задача была не каждому по плечу. Начальница партии постаралась поскорее передать все дела П.В. Лялину и уехала в Хибиногорск. Так совершенно неожиданно для себя он стал ответственным за все буровые работы. А предстояло сделать очень много: прежде всего, определить на месте точки бурения скважин. С этой задачей, исходив многие километры, молодой специалист справился. Теперь предстояло строительство буровых вышек и завоз оборудования . В зимний период в безлюдной тундре это было крайне трудно. Не хватало транспорта, но все же до Нового года бурение началось. Вскоре прибыл новый начальник партии и поручил П.В. Лялину бурение на Нюде и Сопче. Летом 1934 г. приехал и поселился на Нюде В.К. Котульский. Для П.В. Лялина началась плодотворная практическая школа геологии. Но первые керны не радовали, в них не было ожидаемого богатого содержания никеля. Поэтому, потребовалось провести повторное бурение. Новые цифры дали событиям ускорение. Если в 1933 г. запасы оценили в три тысячи тонн, то летом 1934 г. названа была цифра 40 тысяч. Увеличение прироста в 13 раз. Поэтому в Монче-тундре было создано управление «Мончениккельстрой».

П.В. Лялин продолжал работать прорабом. Его ценили за умение работать с документами, инициативу и трудолюбие. Старшим геологом был Н.С. Зонтов. Работа с ним для П.В. Лялина была очень полезна, под его руководством он производил вынос буровых точек с карты на местность. В 1937 г. было открыто богатейшее месторождение Ниттис. П.В. Лялин был назначен рудничным геологом. Тут его и прозвали «подземным штурманом». Он ежедневно бывал в забоях, наблюдал за работой, беседовал и советовался с людьми, потому знал рудник досконально. При отработке месторождений за рудной жилой нужно постоянно следить, чтобы правильно задавать маршруты горнякам. Это подлинно «штурманская» работа, с которой молодой геолог блестяще справлялся. Поэтому, когда В.И. Ездрова уезжала в Ленинград, то рекомендовала на должность старшего геолога П.В. Лялина. Итоговой проверкой на профессионализм стал доклад о геологии рудника. До этого научных докладов ему делать не приходилось, да и аудитории он побаивался. Ведь диплома у него не было, а слушатели - знающие специалисты. Но В.К. Котульский строго сказал: «Доклад будете делать вы. Как старший геолог рудника вы обязаны знать геологию месторождения лучше всех». Доклад вышел очень удачный и сразу поставил П.В. Лялина вровень с дипломированными геологами.

Старшим геологом П.В. Лялин был до войны немногим более года. Но это был очень напряженный год, почти каждый день горняки и геологи открывали все новые и новые рудные жилы в подземных кладовых Ниттиса и Кумужье. Когда началась война, П.В. Лялин был зачислен в мончегорский истребительный батальон. Так продолжалось до апреля 1942 г., когда его вызвал начальник оставшейся в Мончегорске конторы «Североникель» А.Е. Шалашов. В конторе уже были несколько человек, из которых П.В. Лялину был знаком лишь Матюшкин, который перед войной работал начальником рудника Ниттис. Остальные, как оказалось, были представителями Наркомата цветной металлургии, в ведение которого должен был перейти комбинат. Один из них сказал, что намечается восстановление комбината. Состояние цехов уже осмотрено, а вот с рудником дело плохо. Документы вывезены, и проникнуть туда нельзя. Все залито водой и замерзло. П.В. Лялина попросили по памяти составить

схематические планы всех рудничных горизонтов. К утру следующего дня он это сделал. Таким образом, скоро рудник был восстановлен, и весной 1943 г. старшим геологом рудника снова был П.В. Лялин. К концу войны довоенный уровень добычи руды был превышен. В этом успехе немалая роль принадлежит и самому П.В. Лялину.

В 1946 г. было намечено расширение комбината, и предполагалось увеличение добычи руды в полтора раза. Потребовались новые данные о запасах руд с их утверждением Комиссией по запасам. Подсчет запасов предписывалось выполнить геологической службе комбината, которую в то время возглавлял Илья Васильевич Галкин.

После перехода И.В. Галкина на другую работу, П.В. Лялин был назначен главным геологом комбината. Это случилось в 1947 г. Работать он стремился очень продуманно и интенсивно, не только направлял геологическую практику, но и вел теоретические наблюдения для научных обобщений. Его статья «Морфология рудных жил месторождения Ниттис-Кумужье» вошла в коллективную монографию «Монче-тундра и ее месторождение медно-никелевых руд». Это было очень кстати, так как в 1948 г. Главк не утвердил назначение П.В. Лялина на должность главного геолога комбината «Североникель», хотя он уже исполнял эту обязанность больше года. Формальная причина: нет диплома, но П.В. Лялин не опустил руки.

Он стал добиваться, чтобы Главк ходатайствовал о допуске его к защите диплома экстерном, в Кировском горно-химическом техникуме. В этом ему снова очень помог В.К. Котульский, написавший хороший отзыв о его статье. Поэтому статья была принята за основу дипломного проекта, и защита прошла успешно. Последовало утверждение в должности, и громкое звание - горный директор 2-го ранга. Кроме основной работы П.В. Лялин занимался подготовкой молодых кадров для комбината. В 1944 г. в Мончегорске был открыт Горно-металлургический техникум, который в послевоенные годы испытывал острую нехватку опытных преподавателей. Комбинат выделил для преподавания своих лучших специалистов, в число которых попал и П.В. Лялин. Он преподавал геологию, минералогию и кристаллографию. Выпускники тех лет впоследствии с благодарностью отзывались о нем.

Главным геологом комбината «Североникель» П.В. Лялин был более 20 лет, вплоть до 1974 г. В конце 60-х годов он оформил последний документ о руднике «Ниттис-Кумужье» - акт об исключении его из списка месторождений.

После выхода на пенсию П.В. Лялин уехал в родной Ленинград. Все же связей с Мончегорском он не терял до самой своей смерти - писал воспоминания о жизни и делах таких замечательных людей, как В.И. Кондриков, М.М. Царевский и В.К. Котульский. Он первым высказал мысль о том, что справедливо было бы увековечить в городе их имена. Это решение было позднее воплощено в жизнь. Но и сам Петр Владимирович был в числе первопроходцев. В нашем музее есть его письма и рукописные воспоминания. В свое время сотрудник музея Е.В. Лутохина консультировалась у него по различным вопросам истории города. Впоследствии на него часто ссылался автор книги «Город в красивой тундре» Ю.С. Лукичев. Есть и один документ тех лет: копия отчета гидротехнической партии за 1933 г. Как раз начальником этой партии и был П.В. Лялин в начале своей деятельности в Монче-тундре.

ИСТОРИЯ ОТКРЫТИЯ ХИБИНСКИХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Е.А. Каменев
Апатитский филиал МГТУ, e-mail: kamenev@iep.kolasc.net.ru

Открытие, разведка и освоение Хибинских апатитовых месторождений относится к выдающимся достижениям отечественной геологии. История поисков и открытия уникальных месторождений в Хибинах охватывает длительный период от случайной находки рудных валунов в русле ручья у подножья горы Кукисвумчорр в 1921 г. до выявления при бурении глубоких структурно-поисковых скважин в долине Оленьего ручья многоярусной рудной зоны в 1975 г.

Начало открытиям апатитовых месторождений было положено экспедицией акад. А.Е. Ферсмана, организованной Минералогическим музеем РАН на средства Колонизационного отдела Мурманской железной дороги и Северной научно-промысловой экспедиции. В этот период (1921-29 гг.) были выявлены крупнейшие в мире месторождения апатита на горах Кукисвумчорр и Юкспор, на плато Расвумчорр и в Апатитовом цирке, выходящие на дневную поверхность и доступные для непосредственного наблюдения. Предварительно оценённые запасы богатых руд этих месторождений тогда казались неограниченными, способными обеспечить любые потребности в фосфатном сырье на неограниченную перспективу.

Установка на долговременную обеспеченность сырьевыми ресурсами не стимулировала развитие поисков новых рудных объектов. К началу 1960-х годов проявились две противоположные тенденции: в процессе разведок известных месторождений стало очевидным, что мощность апатитовых залежей и содержание в них

апатита с глубиной быстро сокращаются, тогда как всё возрастающие потребности в фосфорных удобрениях удовлетворяются лишь частично. Это послужило толчком для организации целенаправленных поисков, приведших в 1958-75 гг. к открытию ряда новых, не выходящих на дневную поверхность месторождений с более сложной организацией.

В специальной и популярной литературе, посвящённой Хибинам, события, связанные с открытием хибинских месторождений, освещаются с различных авторских позиций, причём диапазон исходных точек зрения достаточно широк как в отношении датировок, так и в оценке личного вклада геологов в открытие отдельных месторождений. Эти обстоятельства обязывают при дальнейшем изложении материала придерживаться хронологической последовательности и документальной точности.

Кукисвумчоррское месторождение. Первая находка апатитовой руды относится к августу 1921 г., когда в выносах притока, круто спускавшегося со склона Кукисвумчорра, А.Е. Ферсман наблюдал «... большое количество зелёных глыб до 1 пуда весом апатитовой породы, часто носившей слоистый характер. За отсутствием времени и утомлением мы не могли искать коренных выходов жил апатита, по-видимому, весьма доступных» [13]. Только через пять лет сотрудником Минералогического музея А.Н. Лабунцовым «... на втором южном отроге <Кукисвумчорра> было найдено большое коренное месторождение. Обследовать детально однодневной экскурсией это месторождение не удалось, и было лишь установлено несколько значительных обнажений апатито-нефелиновой породы, из которых главное находилось на юго-западном склоне отрога и имело размеры: по горизонтали около 70 м длины и по вертикали 8-12 м ширины» [10]. Уже в 1927 г. площади обследованных коренных рудных выходов были расширены до 500×265 м при видимой мощности 30-50 м.

Юкспорское месторождение. Летом 1927 г. поисковым отрядом в составе А.Н. Лабунцова и трёх студентов ЛГУ «… более подробно обследовано <···> месторождение Кукисвумчорр, найдено и обследовано аналогичное месторождение на Юкспоре. Главный выход апатито-нефелиновой породы расположен на вершине горы, протягиваясь с ЮЗ на СВ около 300 м…». Кроме того, были найдены рудные обнажения на обоих склонах Юкспора, расположенные в 200 м ниже «главного выхода» [10]. 19 августа 1927 г. заявочные столбы были установлены на Кукисвумчорре и Юкспоре, оценены запасы этих месторождений в 11,7 и 4 млн т. В 1928-29 гг. сотрудник Института по изучению Севера В.И. Влодавец продолжил оценочные работы на месторождении: была выполнена топографическая съёмка, проведено оконтуривание рудного тела, установлены элементы его залегания, опробование, выявлено зональное строение (верхняя зона сложена богатыми рудами, нижняя - бедными), определены запасы руды (131,6 млн т) и апатита (63 млн т) при содержании 40-75% минерала.

Месторождения Плато Расвумчорр и Апатитовый Цирк. Элювиальные «…россыпи глыб, содержащих в себе большое количество апатита», на гребне Ийолитового отрога плато Расвумчорра были обнаружены в июле 1923 г. поисковым отрядом Б.М. Куплетского в составе Э.М. Бондштедт, Е.Е. Костылёвой и А.Н. Лабунцова. Предложение А.Н. Лабунцова детально обследовать россыпь с целью вскрытия рудных выходов было отклонено. Через два года А.Н. Лабунцов оконтурил коренные выходы на площади 1 га, а в 1926 г. ему и А.А. Саукову – студенту-геохимику Политехнического института, будущему чл.-корр. АН – удалось расширить площадь до 3,4 га и проследить залежь по стенке вертикального уступа не менее, чем на 20 м. По этим параметрам были подсчитаны запасы в количестве 2 млн т [10]. Заявочные столбы на месте открытия были установлены 7 сентября 1926 г. Эта дата считается открытием месторождений Плато Расвумчорр и Апатитовый Цирк. Факт открытия этих месторождений был официально подтверждён комиссией Комитета по развитию естественных производительных сил (КЕПС) России в составе Р.Л. Самойловича, Д.И. Щербакова и П.А. Борисова, специально командированных в Хибины А.Е. Ферсманом. В результате последующих поисковых работ, проведённых В.И. Влодавцем в 1929 г., установлено, что рудные выходы, обнаруженные А.Е. Лабунцовым, являются всего лишь останцами, сохранившимися от эрозии, находящимися в нескольких сотнях метров за контурами месторождений, известных теперь как Плато Расвумчорр и Апатитовый Цирк. Ресурсы этих месторождений он оценил уже в 5,6 млн т при содержании апатита в руде 50%.

Месторождение Куэльпор. В 1929 г. при геологической съёмке центральной части Хибин Б.М. Куплетскому «... в нижней трети северного склона Куэльпора среди осыпей и мохового покрова неоднократно встречались глыбы нефелино-апатитовой породы, которые, однако, нигде не были найдены в коренном залегании». Эти и другие выходы апатита в исследованном участке, по оценке Б.М. Куплетского, «... редки, незначительны и не представляют никакого промышленного интереса» [9]. Коренные рудные выходы были выявлены здесь А.Н. Лабунцовым в июле 1931 г., а уже осенью геологом А.С. Амеландовым «...отдельные точки были связаны в крупное месторождение апатита на Куэльпоре»**.** В 1932 г. Ленинградский геологоразведочный трест приступил к проведению поисково-оценочных работ с применением открытых горных выработок и их опробования. В результате оценки установлено: «Общая длина по простиранию апатитового тела составляет около 2 км, из них суммарная длина промышленных участков приблизительно 1200 м. Мощность апатитового тела колеблется от 12 до 80 м. Северная часть линзы представлена полосатыми и пятнисто-полосатыми типами руд с содержанием P_2O_5 от 12-14% до 22-29%. Южная часть сложена пятнистым апатитом с содержанием P_2O_5 до 32-38%. Запасы по категории C_1 до глубины 100 м определены в 12 млн т апатитовой руды». Несмотря на положительную оценку, Куэльпор долгое время не интересовал геологов из-за своих небольших размеров при долговременной обеспеченности разведанными запасами на действующих рудниках, из-за удалённости от промышленных площадок. Правда, геологи на короткое время возвращались на Куэльпор, но каждый раз уходили оттуда с разочарованием: новые материалы

разведок не подтверждали оптимистических оценок, данных их предшественниками.

В 1970-80-е годы здесь проводились опытные работы по использованию ядерных взрывов для добычи руды, но потом и они были приостановлены. Наконец, уже в 90-е годы по материалам детальной разведки Куэльпорское месторождение признано не имеющим промышленного значения и числится на государственном учёте как резервное и забалансовое. Ферсмановский период поисковых исследований в Хибинах завершился открытием месторождений Кукисвумчорр, Юкспор, Апатитовый Цирк, Плато Расвумчорр и Куэльпор. Подводя итоги этих исследований, В.И. Влодавец писал: – «Суммируя результаты всех геолого-поисковых работ в Хибинских тундрах должно отметить: во-первых, открытие единственных в мире по своему масштабу нефелино-апатитовых месторождений с огромными запасами фосфорной кислоты, благодаря которым возможно будет не только удовлетворить сырьём нашу туковую промышленность, но и развить в значительной степени экспорт <...>, во-вторых, необходимость дальнейших разведок и поисков <...>, которые, надо полагать, выявят ещё более грандиозные масштабы их и откроют ещё новые месторождения» [2].

Ньоркпахкское месторождение. История геологического изучения Ньоркпахкского месторождения от открытия его в 1932 г. до передачи в промышленное освоение в 1977 г. охватывает длительный период времени. Первые сведения о находках коренных выходов апатитовых руд на горах Ньоркпахк и Суолуайв приведены П.И. Прокофьевым (Ленгеолтрест) по материалам глазомерной геологической съёмки участка в масштабе 1:25000.

В 1933 г. М.И. Шевченко (трест «Апатит») и Г.Т. Кравченко сообщают, что «…апатито-нефелиновые выделения встречены как на склонах Суолуайва, так и Ньоркпахка в 10 точках на протяжении по простиранию на 100 м при мощности 40 м» [14]. В 1937 г А.Н. Лабунцов [13] уточняет: « Месторождение залегает в луявритах. Простирание северо-восточное, падение к северо-западу под углом 30^0. По качеству руд оно приближается к кукисвумчоррскому типу с преобладанием богатых пятнистых руд. По простиранию месторождение прослежено канавами на 1550 м, средняя мощность 20 м. Запасы исчислены в 40 млн. т.»

В последующие годы (1953-1963) на месторождении с перерывами проводились общие (А.И. Александров) и детальные (Ф.В. Минаков) поиски, сопровождавшиеся горными работами (шурфы – 1260 м, канавы – 1030 $м^3$) и поисковым бурением (20 скважин). В результате которых был установлен брекчиевый характер апатитового оруденения с ийолитовым цементом, оценены ориентировочные запасы (15-20 млн т) и сделан отрицательный вывод о перспективах месторождения. Сформулированы задачи дальнейших исследований: выяснение структуры рудовмещающих ийолит-уртитов, условий залегания апатитового оруденения, разработка критериев для поисков апатитовых залежей в «ненарушенном» залегании.

Тезис о широком развитии рудной брекчии на Ньоркпахке прочно утвердился в литературе и долгое время никем не оспаривался. Т.Н. Иванова была убеждена, «… что нет сплошного тела апатит-нефелиновых пород, а имеются их обломки, ксенолиты, включенные в трахитоидные полевошпатовые ийолиты» и настойчиво отрицала практическое значение месторождения в связи с «невозможностью выделения на участке какой-либо зоны рудной брекчии, которая могла бы представлять промышленный интерес» [6]. Таким образом, апатитовое оруденение, обнаруженное П.И. Прокофьевым в 1932 г. на горах Ньоркпахк и Суолуайв, в течение 40 лет всеми исследователями считалось не имеющим промышленного значения. По этой причине даже не предпринималась попытка увязки в разрезе или в плане отдельных выходов рудной брекчии и не ставился вопрос о постановке на месторождении разведочных работ.

В 1972 г. Е.А. Каменев на основе критического анализа и обобщения результатов предшествующих оценочных работ выдвинул гипотезу о том, что брекчиевое оруденение на Ньоркпахке и Суолуайве имеет многоярусное строение, аналогичное рудной зоне детально изученного к тому времени Коашвинского месторождения. В рудной зоне были выявлены три залежи брекчиевых апатитовых руд (в последствии названные Верхней, Главной и Нижней), имеющие пластовую форму, пологое залегание и разделенные жилами вмещающих трахитоидных ийолитов [11]. Эта гипотеза позволила непосредственно приступить к детальной разведке, минуя стадию предварительной, что имело существенное значение для сокращения сроков и значительного повышения экономической эффективности подготовки его для промышленного освоения. Месторождение эксплуатируется с 1985 г.

Коашвинское месторождение. Первые упоминания о находках апатито-нефелиновых руд среди делювиальной осыпи на горе Восточный Расвумчорр приведены В.И. Влодавцем в 1930 г. Коренные рудные выходы прослежены им от ущелья «Дразнящее эхо» на восток в сторону г. Коашва на 150 м, где они оказались скрытыми под наносами. По его мнению, «...весьма вероятно продолжение апатито-нефелиновой породы и на Коашве, так как на этой горе находятся обнажения уртита, к которому она приурочена в южной части Хибинских тундр» [2]. В 1932 г. А.Е. Ферсман писал: «Начиная с крутых обрывов Расвумчоррского цирка пояс апатитовых пород уже определенно загибается на восток и впервые обнажается в обрывах южных склонов Хибин, открытых к низовьям Кольского полуострова, и здесь он прослеживается на протяжении свыше 3 км на Зап. и Вост. Расвумчорре, с тем, чтобы на крайнем востоке немного загнуться к северу и на склонах Коашвы сузиться до нескольких метров и совершенно закончиться» [12]. К такому же выводу о выклинивании апатитовой залежи на северных склонах Коашвы пришла О.А. Воробьева, проводившая здесь в 1932 г. поисково-съемочные работы. Вместе с тем она тоже допускала вероятность пережима рудного тела и продолжение его в долине р. Вуоннемиок [3].

В 1933 г. геолог М.И. Шевченко (трест «Апатит») обследовал район к востоку от ущелья «Дразнящее эхо» с целью оценки рудных перспектив. Было «…установлено, что апатитовые месторождения на южных склонах восточного Расвумчорра могут иметь промышленное значение лишь на протяжении 150 м к востоку от ущелья

Дразнящее Эхо. Дальше, на склонах восточного Расвумчорра и на 1-м плато Коашва, а также на 1-м с.-в. отроге её, апатиты имеют исключительно геологическое значение; ввиду небольшого их количества, они обнаружены в виде небольших линз и шлиров, не превышающих по простиранию 50 м и по мощности 10 м» [14]. Основываясь на материалах этих исследований, Л.Б. Антонов писал: «Несколько особняком находятся месторождения Куэльпор, Коашва, Вуоннемиок и Поачвумчорр, которые в силу незначительных запасов руды и при наличии более мощных Хибинских месторождений пока не имеют промышленного значения» [1]. В пояснительной записке к Геологической карте Хибинских тундр [4] и в обзорных работах А.Е. Ферсмана Коашвинское месторождение среди известных не упоминается.

В 1953 г. А.И. Александров обследовал обнаруженные М.И. Шевченко выходы апатита на отроге г. Коашва. Дополнительно к ранее известным он выявил ряд изолированных рудопроявлений апатито-нефелиновых пород на плато и южных склонах горы, которые он считал «...самыми верхними частями месторождения», скрытого на большой глубине». В 1957-60 гг. проводилась геологическая съёмка Хибинского массива масштаба 1:50000 и поиски месторождений апатита и других полезных ископаемых [5]. В результате работ подготовлен комплект специальных геологических карт, уточнена возрастная последовательность внедрения интрузивных комплексов (С.И. Зак, Е.А. Каменев), разработаны поисковые критерии, основанные на установлении пространственной и генетической связей апатитового оруденения с рудной субфазой продуктивного комплекса (Ф.В. Минаков) и предложено принципиально новое направление поисков.

С учётом новых данных в 1959-64 гг. выполнена геологическая съёмка продуктивной интрузии в масштабе 1:10000 и проведены детальные поиски, завершившиеся открытиями месторождений Партомчорр (1959), Коашва (1960) и Олений Ручей (1961). В 1959 г. Ф.В. Минаков оконтурил элювиальную россыпь валунов пятнистых апатитовых руд на юго-западном отроге Коашвы, что послужило основанием для разработки плана горных работ на этом участке, полностью перекрытом моренными отложениями (Ф.В. Минаков). Организация горных работ была поручена А.И. Александрову, а геологическая документация шурфов – В.В. Малыгину. Весной 1960 г. в шурфе на глубине 6 м В.В. Малыгиным была встречена полосчатая апатито-нефелиновая руда, состоящая на 70-80% из апатита. Последующие шурфы, заданные в 100-150 м друг от друга, неизменно вскрывали коренную руду. В том же году была забурена первая на Коашве скважина, пересекшая на глубине 131-286 м рудную зону, состоящую из трёх интервалов брекчированных апатито-нефелиновых руд мощностью 10-50 м с содержанием P_2O_5 16-18%. Таким образом, открытие Коашвинского апатитового месторождения, сделанное геологами Хибиногорской ГРП Ф.В. Минаковым и В.В. Малыгиным, стало результатом проведения целенаправленных и научно-обоснованных поисков с применением горных выработок и бурения.

Геологическая разведка месторождения проводилась непрерывно: вначале верхних горизонтов (до глубины 0,5 км, 1961-72 гг.), затем нижних горизонтов (до глубины 1-1,2 км, 1973-85 гг.), и последовательно по стадиям: предварительной и детальной разведки [8]. Коашвинская рудная зона изучена достаточно детально. За период разведки на площади месторождения пробурено более 400 скважин (свыше 250 тыс. п. м.), что значительно превышает суммарный объем бурения, выполненный за весь период разведки на всех хибинских месторождениях. Расхождения во взглядах исследователей на внутреннее структуры рудной зоны, обозначившиеся уже на ранних этапах её изучения, по мере накопления геологической информации не сглаживались, а, наоборот, всё более обострялись. Это относится прежде всего к проблеме правомерности геометризации рудных интервалов по разведочным скважинам в непрерывные залежи-горизонты или необоснованности таких построений. Вокруг этой проблемы велась острая дискуссия, высказывались различные гипотезы по вопросу о признании или отрицании в структуре рудной зоны нескольких горизонтов апатито-нефелиновых руд.

Т.Н. Иванова пришла к выводу, что апатито-нефелиновые руды в районе Коашвы брекчированы массивными полевошпатовыми уртитами (ювитами) и не сохранились в ненарушенном залегании. Следовательно, «… рудное тело, первоначально залегавшее, вероятно, так же, как и в районе Кукисвумчорр-Юкспор-Расвумчорра, под углом 30-40° к центру массива, подвергалось разломам дважды: сначала интрузией трахитоидных полевошпатовых ийолитов, широко развитых в районе Ньоркпахк-Суолуайва, а позднее интрузией среднезернистых массивных полевошпатовых уртитов (ювитов)» [6]. Изложенная точка зрения, отрицающая возможность выявления на Коашве рудных тел, которые могли бы вызвать промышленный интерес, была развита в последующих работах Т.Н. Ивановой. Она рекомендовала перенести поиски «ненарушенных» апатитовых руд на отрогах г. Эвеслогчорр. И.И. Перекрест объясняет формирование рудных тел-горизонтов инъекциями уртит-фосфатного расплава по серии сближенных расколов. Вследствие большой пластичности рудные и уртитовые слои реагировали образованием пликативных форм, которые перерастали в дизъюнктивные. М.М. Калинкин рассматривает рудные горизонты как структуры будинажа, пространство между которыми выполнено уртитом. Г.М. Вировлянский считает многоярусность рудной зоны Коашвы следствием внутриапатитовой тектоники, а образование брекчии объясняет результатом после-апатитовой (позднемагматической) тектоники.

Е.А. Каменев рассматривает формирование многоярусной рудной зоны в результате последовательного внедрения вначале подвижного фосфатного расплава, приведшего к образованию мощного рудного тела – аналога апатитовым залежам на главных месторождениях, впоследствии взломанного серией конических разломов, выполненных внедрениями более вязкой щелочно-силикатной (уртитовой) магмы. В результате последовательных инъекций рудное тело распалось на серию фрагментов – рудных горизонтов, разобщённых прослоями (жильными инъекциями) массивных уртитов. Рудные горизонты имеют и весьма сложную морфологию и внутреннее

геологическое строение, изменчивую мощность и различное сочетание природных типов руд, широкое развитие брекчиевых структур, особенно в апикальной части и на контактах с межрудными уртитовыми прослоями. Вместе с тем, было установлено, что раздувы мощности сближенных горизонтов сопровождаются пережимами соседних, в результате чего при палеоструктурных построениях реконструируется их первоначальная морфология [8]. Изложенная гипотеза положена в основу подсчёта запасов и получила подтверждение в процессе разработки месторождения. Ныне дискуссия по проблеме формирования месторождения Коашва утратила актуальность.

Партомчоррское месторождение. В 1939 г. А.Е. Святловский и Ф.М. Дитерихс в обнажённом русле руч. Ю. Лявойок обнаружили две «жилы» апатит-сфеновых пород мощностью до 1 м, которые они считали миниатюрной копией мощных апатитовых месторождений Хибин. Никакого практического вывода из этой находки сделано не было, и район к северу от Куэльпора надолго оставался вне интересов геологов-поисковиков. Только через 20 лет при геокартировании перспективной площади в масштабе 1:10000 у подножья г. Рисчорр были выявлены обнажения сравнительно бедных по содержанию апатита руд и пробурено несколько поисковых скважин, вскрывших убогое оруденение. По этим данным были оценены прогнозные ресурсы апатитовой минерализации в количестве 427 млн т при содержании P_2O_5 6,46% (около 15% апатита), которые из-за крайне низкого качества оруденения не были поставлены на кадастровый учёт.

В 1972 г. перед геологоразведчиками Хибин была поставлена задача по обеспечению расширенного, по сравнению с плановой добычей, прироста запасов апатитовых руд. Во исполнение планового задания в 1972-78 гг. месторождение Партомчорр было вовлечено в разведку, результаты которой подтвердили убыточность его эксплуатации. Тем не менее с учётом комплексной переработки апатитового, нефелинового и сфенового концентратов и извлечения из них стронция, редких земель, фтора, галлия, рубидия, цезия, лития и титана (элементов, которые до сих пор не интересуют промышленность), Партомчоррское месторождение поставлено на государственной баланс и числится как резервное.

Олений Ручей. Коренные рудные выходы впервые обнаружены в 1961 г. Ф.В. Минаковым в процессе детальных поисков масштабе 1:10000 в русле руч. Минеральный и Е.А. Каменевым на левом берегу руч. Олений при проведении маршрутов для подготовки к изданию геологической карты масштабе 1:50000 Хибинского горнопромышленного района. В 1970 г. скв. № 511, пробуренной на перевале Ньоркпахк-Суолуайв с целью подтверждения рудных перспектив глубоких горизонтов продуктивной интрузии, на инт. 824-835 м было вскрыто рудное тело с содержанием апатита 65-70% (26,92 % P_2O_5). По данным детальных поисков и результатов по скв. № 511 перспективы участка были оценены положительно и рекомендовано проведение структурно-поискового бурения скважин глубиной до 1-1,2 км. С этой целью по специальному проекту в 1975-78 гг. в долине руч. Олений и Минеральный было пробурено 10 структурно-поисковых скважин (9,4 тыс. м), пересекших многослойную рудную зону, состоящую из двух ярусов. Верхний ярус включает три залежи рудной брекчии ньоркпахского типа, а Нижний ярус представлен многоэтажной рудной зоной жильных тел во вмещающих рисчорритах. По сложности морфологии и внутренней структуры многоярусной рудной зоны месторождение Олений Ручей классифицируется как весьма сложное.

Список литературы

1. Антонов Л.Б. Апатитовые месторождения Хибинской тундры // Хибинские апатиты. Сб. 7. Л., 1934. С. 1-196.

2. Влодавец В.И. Общая характеристика апатитовой дуги // Хибинские апатиты. Сб. 1. Л., 1930. С. 38-47.

3. Воробьёва О.А. Геология и петрография Эвеслогчорра и примыкающих к нему высот в Хибинских тундрах. // Л., Труды СОПС, сер. геол. 1932. С. 73-104.

4. Елисеев Н.А., Ожинский И.С., Володин Е.Н. Геологическая карта Хибинских тундр. Л.-М.: ГОНТИ, 1939. 68 с.

5. Зак С.И., Каменев Е.А., Минаков Ф.В. Хибинский щелочной массив. Л.: Недра, 1972. 176 с.

6. Иванова Т.Н. Апатитовые месторождения Хибинских тундр. М.: Гостехиздат, 1963. 282 с.

7. Каменев Е.А. Особенности структуры Коашвинского апатитового месторождения // Щелочные породы Кольского полуострова. М.-Л.: Наука, 1966. С. 55-64.

8. Каменев Е.А. Геология и структура Коашвинского апатитового месторождения.- Л.: Недра, 1975.- 128 с.

9. Куплетский Б.М. Петрографический очерк Хибинских тундр // Минералы Хибинских и Ловозерских тундр. М.-Л.: Изд.-во АН СССР, 1937. С. 13-48.

10. Лабунцов А.Н. Поисково-разведочные работы по апатиту в Хибинских тундрах - краткая история исследований, кончая 1929 годом // Хибинские апатиты. Сб. 1. Л., 1930. С. 28-38.

11. Новые Хибинские апатитовые месторождения (под ред. Е.А. Каменева и Д.А. Минеева). М.: Недра, 1982. 182 с.

12. Ферсман А.Е. Апатитовые дуги и их промышленное значение. Л., 1932. С. 15-18.

13. Хибинские и Ловозерские тундры. Т. 1. Маршруты. М.: Труды Института по изучению Севера, 1925. 197 с..

14. Шевченко М.И. Результаты поисковых и разведочных работ в восточной части апатит-нефелиновой дуги хибинских тундр // Хибинские апатиты. Сб. 6. Л., 1933. С. 35-36.

КРАТКАЯ ИСТОРИЯ ХИБИНСКОГО ТИТАНИТА

И.С. Красоткин[1], А.К. Шпаченко[2], Ю.Л. Войтеховский[2], А.А. Лесков[3]
[1]Кольский филиал Петрозаводского госуниверситета
[2]Геологический институт КНЦ РАН, e-mail: ark@geoksc.apatity.ru
[3]Хибинская строительная компания, г. Апатиты

В 1930-е годы технико-экономическая политика горно-химического треста Апатит была направлена на комплексное использование полезных компонентов апатит-нефелиновых руд и других минеральных ресурсов Мурманской области. Об этом свидетельствуют многочисленные служебные документы [7], выступления управляющего трестом В.И. Кондрикова [5] и его заместителя по научной работе (по официальной иерархии) акад. А.Е. Ферсмана [14]. В системе ЦНИС ВСНХ, а затем ЦНИС НКТП в это время было образовано научно-техническое бюро по вопросам комплексного использования хибинских апатит-нефелиновых пород, которое проводило свои заседания под председательством А.Е. Ферсмана [12]. В этот период времени трест “Апатит”, кроме работ на апатит-нефелиновых месторождениях, проводил в Хибинах разведку на пирротин, молибденит, ловчоррит. Искали всё, что может быть полезным для промышленности СССР.

Один из полезных минералов хибинских апатит-нефелиновых руд – титанит (сфен) $CaTiSiO_5$, в 1930-е годы абсолютно новое сырьё для производства титановых материалов, в первую очередь – белил, а также широкого спектра другой промышленной продукции. В качестве микропримесей в хибинском титаните присутствует до 2.52 масс. % TR_2O_3, 0.98 масс. % Nb_2O_5, 0.39 масс. % ZrO_2 [5, 6].

При геолого-разведочных работах, в ходе которых проходились канавы, буровые скважины, разведочные штольни, на Кукисвумчоррском и Юкспоррском месторождениях апатит-нефелиновых руд геолого-разведывательной партией НИУ, а затем ГРБ треста «Апатит» (М.П. Фивег, Л.Б. Антонов) были обнаружены скопления титанита, которые можно было рассматривать как самостоятельное месторождение титановых руд, содержащих 10-12 % TiO_2 (25-30 % титанита) [1, 2, 10]. Сфеновое рудное тело представляло собой несколько взаимосвязанных линз мощностью до 30 м и протяженностью до 860 м в верхней контактовой зоне между апатитовыми рудами и перекрывающими их астрофиллитовыми нефелиновыми сиенитами (рисчорритами) на западном склоне Юкспорра и южных отрогах Кукисвумчорра. На поверхности рудное тело обнажалось на высотных отметках от + 400 до + 600 м. Подсчитанные запасы руды составили 12 млн. т, в том числе 3.5 млн. т по категории A_2 [1]. Наиболее перспективным оказался Юкспоррский участок, где в 1932 г. начались открытые и подземные горные работы (рис. 1).

Производственное объединение «Лакокраска» дало положительную технологическую оценку сырья, взяло на себя разработку технологии получения пигментов с перспективой строительства в г. Хибиногорске завода титановых белил на 6 тыс. т в год [3, 7]. Интерес к новому сырью проявили фирмы Германии, Бельгии, Польши, США. По технологическим требованиям концентрат для химической переработки должен был содержать не менее 35 % TiO_2, не более 1 % P_2O_5 и 5 % Fe_2O_3. А в руде было до 12 % TiO_2, около 6 % P_2O_5 и 10 % Fe_2O_3 [7].

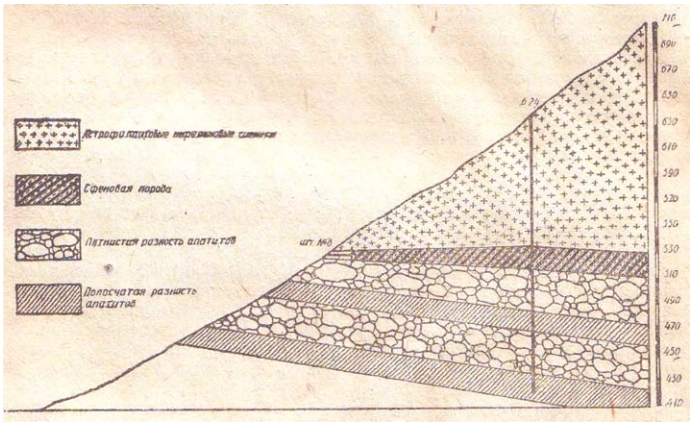


Рис. 1. Геологический разрез западной части Юкспоррского месторождения [1].

Технологию обогащения разрабатывал ленинградский институт «Механобр» на пробах, предоставленных комбинатом «Апатит», а затем Центральная испытательная станция в Хибиногорске [7, 9, 11, 13]. Первоначальная схема технологических испытаний включала гравитационное разделение на концентрационных столах, магнитную сепарацию (для отделения титаномагнетита и эгирина) и флотацию (для отделения апатита). Из-за отсутствия контрастных физических и физико-химических свойств титанита по отношению к сопутствующим минералам (апатит, нефелин и др.) руда оказалась труднообогатимой, выход концентрата составил около 40 % при содержании 30-32 % TiO_2 и извлечении в концентрат 60-70 % титана. В дальнейших исследованиях от гравитационного передела отказались. До открытия обогатительной фабрики на химические предприятия отгружалась богатая руда (до 20 % TiO_2), прошедшая ручную рудоразборку.

В 1934 г. принято решение приступить к строительству обогатительной фабрики на промплощадке 23 км, и в 1936 г. фабрика выдала первый концентрат [7]. Комбинированная схема обогащения позволяла (по проекту) перерабатывать 70 тыс. т. руды в год (с содержанием 11 % TiO_2 и 8 % P_2O_5) и получать 13.5 тыс. т. титанитового концентрата (28-30 % TiO_2) при извлечении 53.5% и 8 тыс. т. апатитового концентрата (39 % P_2O_5). Ловчорритовая (начало работы 1933 г.) [7] и титанитовая обогатительные фабрики (1936 г.) были объединены

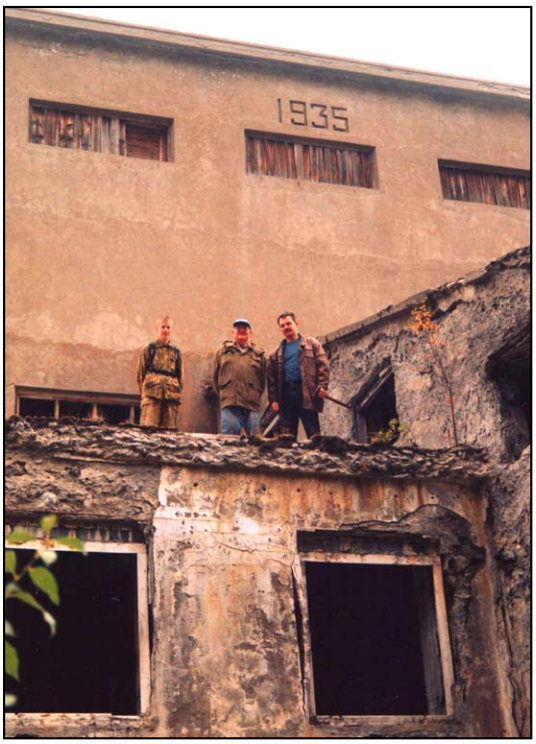


Рис. 2. Руины титанит-ловчорритовой фабрики (фото А.Л. Лескова, 2003 г.).

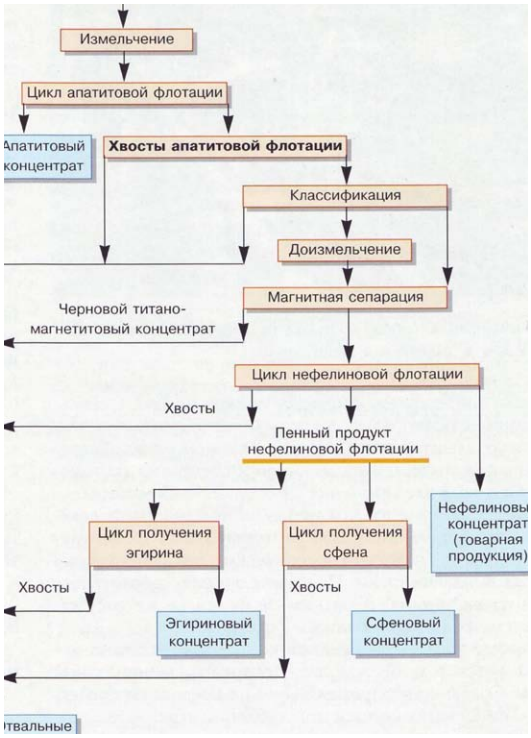


Рис. 3. Технологическая схема получения концентратов на АНОФ-2 и опытно-промышленной установке «Пигмент» [4].

в одно предприятие. Летом добывали и обогащали ловчорритовую руду, а зимой наступала очередь титанитовой руды. Частые переходы с одного вида сырья на другой стали причиной нарушений технологии и быстрого износа оборудования. Кроме того, отмечалась значительная вариация качества руды (от 4 до 19 % TiO_2). На проектные показатели выйти не удалось.

Реконструкции фабрики помешала вторая мировая война, основная часть оборудования была демонтирована и вывезена на Урал. По нашим оценкам, всего за 1933-1940 гг. добыто около 45 тыс. т. руды и выработано около 7.5 тыс. т. концентрата. После войны титанитовую руду не добывали, фабрика больше не работала, здание её использовалось случайным образом и постепенно превратилось в руины (рис. 2).

Второй период освоения хибинского титанита начался в 1970-х годах и продолжается по настоящее время [8]. В результате многолетней работы Центральной лаборатории ПО «Апатит» совместно с ИХТРЭМС КНЦ РАН в 1983 г. вступила в строй опытно-промышленная установка «Пигмент» для получения титано-кальциевого и других пигментов. В обогатительном отделении установки осуществляется обогащение пенного продукта нефелиновой флотации по сложной комбинированной схеме (рис. 3) с получением сфенового (28-33 % TiO_2) и эгиринового концентрата [4]. Максимальное годовое производство (в 2006 г.) составило 590 т. сфенового и 480 т. эгиринового концентратов.

Рис. 4. Выходы сфеновых штолен в борту Саамского карьера (фото Ю.Г. Горбунова, 1980-е годы).

Запасы сфеновой руды, подсчитанные в 1932 г. в 12 млн. т. [1, 2], так и не были представлены в Госкомиссию по запасам. С развитием Кировского рудника входы в «сфеновые» штольни оказались на крутом борту Саамского карьера (рис. 4), в 2002 г. почти полностью засыпаны в результате обвалов породы и в настоящее время недоступны для наблюдения.

Такова краткая, но драматичная история хибинского титанита. Остаётся надеяться, что он ещё найдет своего потребителя на рынке минерального сырья.

Список литературы

1. Антонов Л.Б. Сфеновое месторождение долины реки Лопарской Кукисвумчорр-Юкспор // V Хибинский сборник «Хибинские редкие земли и пирротины». Л.: Госхимтехиздат, 1933. С. 107-118.

2. Антонов Л.Б. Результаты разведки титанита (сфена) Юкспора // VI Хибинский сборник «Хибинские апатиты». Л.: НИС НКТП, 1933. С. 158-160.

3. Брусиловский А.М. Получение дуокиси титана из титано-магнетитовых и сфеновых пород и применение соединений титана в промышленности // V Хибинский сборник «Хибинские редкие земли и пирротины». Л.: Госхимтехиздат, 1933. С. 131-139.

4. Брыляков Ю.Е., Васильева Н.Я., Петровский А.А. Перспективы комплексного использования апатит-нефелиновых руд // Горный журнал. 1999. № 9. С. 42-45.

5. Кондриков В.И. Редкие элементы Хибин // V Хибинский сборник «Хибинские редкие земли и пирротины». Л.: Госхимтехиздат, 1933. С. 3-6.

6. Костылёва-Лабунцова Е.Е., Боруцкий Б.Е., Соколова М.Н. и др. Минералогия Хибинского массива (минералы). Т. 2. М.: Наука, 1978. 586 с.

7. Материалы ГОУ ГАМО в г. Кировске. Ф. 179. Оп. 1. Дела №№ 81, 89, 92, 177, 193, 198, 206, 241, 410, 434, 446, 523, 532, 541, 542, 623, 653, 669, 670, 857, 864, 883, 973, 1093, 1123 за 1931-40 гг.

8. Материалы ГОУ ГАМО в г. Кировске. Ф. 179. Оп. 11. Дела №№ 6758, 8559, 8789, 9063, 9065 за 1973-84 гг.

9. Подлесский И.Н., Смирнов Г.Ф. Значение и роль ЦИС в г. Хибиногорск // V Хибинский сборник «Хибинские редкие земли и пирротины». Л.: Госхимтехиздат, 1933. С. 15-23.

10. Семеров П.Ф. Сфен (новое титановое сырье Кольского полуострова) // Карело-Мурманский край. 1932. №№ 3-4. С. 29.

11. Смирнов Г.Ф. Обогащение титанита (сфена) // VI Хибинский сборник «Хибинские апатиты». Л.: НИС НКТП, 1933. С. 160-163.

12.Соловьянов Г.Н., Маркова И.Н. К вопросу планирования научных исследований по Кольскому промышленному комплексу // V Хибинский сборник «Хибинские редкие земли и пирротины». Л.: Госхимтехиздат, 1933. С. 210-224.

13. Степаньянц Г.А. Обогащение сфено-апатитовой породы Хибинского месторождения // V Хибинский сборник «Хибинские редкие земли и пирротины». Л.: Госхимтехиздат, 1933. С. 118-131.

14. Ферсман А.Е. Редкие элементы в щелочных массивах Кольского полуострова // V Хибинский сборник «Хибинские редкие земли и пирротины». Л.: Госхимтехиздат, 1933. С. 6-15.

МЕНДЕЛЕЕВСКИЙ ОТКЛИК В ХИБИНАХ[1]

Д.Л. Мотов
Институт химии и технологии редких элементов и минерального сырья им. И.В. Тананаева КНЦ РАН
г. Апатиты, e-mail: motov@chemy.kolasc.net.ru

Весной 1907 г. Русское физико-химическое общество устроило торжественное чествование памяти ушедшего из жизни столпа химической науки Дмитрия Ивановича Менделеева. При этом возникла мысль о созыве в этом же году в честь Д.И. Менделеева Съезда по общей и прикладной химии, который окрестили «Менделеевским».

Первый Менделеевский съезд состоялся в конце 1907 г. в Петербурге. В Положении о съезде было записано, что Менделеевский съезд по общей и прикладной химии имеет целью способствовать успехам химии и ее приложений в России и сближению лиц, занимающихся химией и ее приложением. Съезд утвердил Уставы Менделеевских съездов и Комитета по съездам. Периодичность съездов была принята раз в четыре года и, действительно, Второй Менделеевский съезд состоялся точно в 1911 г., но Третий, называвшийся уже «по чистой и прикладной химии», собрался только через 11 лет после Второго из-за 1-й Мировой и Гражданской войн и его уже созвала в 1922 г. Советская Россия в Петрограде. Четвертый съезд проходил уже в столице СССР Москве в 1925 г.

Пятый Менделеевский съезд был назван именем знаменитого ученого А.М. Бутлерова, в связи со столетием со дня его рождения, и состоялся в 1928 г. в городе, имеющем сложившуюся Химическую школу – в Казани. Председатель Оргкомитета съезда академик Александр Ерминингельдович Арбузов подтвердил значение двух имен: Д.И. Менделеева – творца Периодической системы элементов, приведшего их из хаоса в порядок, и Александра Михайловича Бутлерова – творца теории химического строения, приведшего мир органических молекул в стройную систему.

---

[1] Материалы из «Хибиногорского рабочего» за 1934 г. предоставлены А.Д. Токаревым, а напомнил о самом событии приезда делегатов Менделеевского съезда в Хибины к.т.н. И.С. Красоткин.

Шестой Менделеевский съезд состоялся в точном соответствии с Уставом – через четыре года после Пятого – и проходил он в 1932 г. в Харькове, который был тогда столицей Украины, и привязан был к 15-летию установления Советской власти.

Седьмой съезд состоялся через два года после Шестого и был приурочен к 100-летней годовщине со дня рождения Д.И. Менделеева, в честь которого и собирались съезды, посвященные его имени. Как и три первых съезда, он проходил в городе на Неве. Работами по подготовке съезда руководил Оргкомитет под началом главы физико-химического анализа академика Николая Семеновича Курнакова. Открывая съезд, он произнес пламенную вступительную речь, заканчивавшуюся тирадой: «Титаническая фигура Д.И. Менделеева представляется перед нами во всем ее величии как в прошлом, так и в особенности для научной работы настоящего».

Доклады ведущих химиков страны были посвящены оценке наследия Д.И. Менделеева и его приложения в разных направлениях современной науки. Близкий нам академик А.Е. Ферсман прочел обстоятельный доклад «Периодический закон Менделеева и геохимия». Имеющий прямое отношение к нашему Институту химии академик Н.С. Курнаков прочел доклад: «Особые точки Д.И. Менделеева в учении о растворах и топология химической диаграммы», а Николай Дмитриевич Зелинский, портрет которого, как и Н.С. Курнакова, висит в актовом зале Института химии КНЦ РАН, доклад «Д.И. Менделеев и контактные явления».

Седьмой Менделеевский съезд был особенный. Впервые со времени функционирования съездов его делегаты отправились в неблизкие выездные сессии в наиболее интересные в те времена точки: Москву, Харьков, Днепропетровск и, что для нас наиболее интересно, в Хибиногорск.

К слову сказать, на сегодняшний день состоялось уже восемнадцать Менделеевских съездов, но за всю их столетнюю историю таких далеких вояжей не делалось. Так что этот выезд «Менделеевцев» в тогдашний Хибиногорск был явлением исключительным, а сподвигнул делегатов Седьмого съезда на этот подвиг, естественно, академик Александр Евгеньевич Ферсман и привез он их не просто в Хибиногорск, а на Горную станцию Академии наук «Тиетта» 18.09.1934 г. спустя два года и пять месяцев после открытия «Тиетты» участниками Первой Полярной конференции 10.04.1932 г.

Вторая точка – Днепропетровск – для поездки была выбрана потому, что в это время был пущен ДНЕПРОГЭС – гордость страны Советов. Харьков тогда передавал свои бразды правления как столица Украины Киеву, а так как предыдущий Шестой съезд проходил именно в Харькове, решено было воздать должное этому городу.

В Москве, которая девять лет тому назад была местом проведения Пятого съезда, Седьмой съезд заканчивал свою работу торжественным заседанием, на котором были заслушаны три доклада советских ученых и восемь – иностранных. К примеру, профессор Вальтер Ноддак из Фрейбурга (Германия) прочел доклад «К вопросу о дальнейшем развитии периодической системы», а чех Ярослав Гейровский «Теория добавочного потенциала водорода и его каталитического понижения на капельном ртутном электроде».

На заключительном заседании Съезда академик А.Е. Ферсман сказал: «В сущности, многочисленные нити связывают основы научной химии с новыми путями нашей химической промышленности. Эти нити как лучи пронизывают и проникают во все области современной химической мысли, во все отдельные ветви научных исканий и подчиняют себе различные отрасли научных дисциплин от глубочайших отвлеченных теорий до их практических приложений. Мы знаем, что эти нити повседневно связывают научную мысль с практической работой, и знаем, что та пропасть, которая в дни Дмитрия Ивановича разделяла промышленность и науку, растворяется сейчас в единой великой струе великой стройки, в которой сливаются воедино и техническая мысль, и физический труд. Мы должны смело усиливать свою творческую мысль, расширять свою творческую работу, должны дерзать в общем единении науки и труда, чтобы быть достойными продолжателями великих химических идей Дмитрия Ивановича». Это было последнее выступление, подытоживавшее работу Съезда, посвященного 100-летию со дня рождения Д.И. Менделеева.

Следующий – Восьмой Менделеевский съезд – должен был состояться в 1941 г., но из-за войны все планы были нарушены и он собрался только после 18 лет от намеченной даты и 25 лет – от Седьмого, Хибинского.

Помимо Седьмого, самому Менделееву были посвящены еще два съезда: Десятый в 1969 г., приуроченный к столетию периодического закона Менделеева, и Тринадцатый – в 1984 г. – к 150-летию со дня рождения.

Что же происходило с Седьмым съездом в Хибинах три четверти века тому назад? В Хибиногорск 16.09.1934 г. прибыло 20 делегатов, среди них выдающиеся ученые страны: Почетный академик 77-летний Иван Алексеевич Каблуков – пионер нового раздела физико-химии: электрохимии неводных растворов. Он ввел понятие о гидратации (сольватации) ионов, объединившее для растворов химическую теорию, поборником коей был Д.И. Менделеев, с физической, отстаивавшейся Вант-Гоффом и Сванте Аррениусом.

Владимир Георгиевич Шапошников – академик АН Украины, профессор Киевского Политеха – специалист в области красителей, их строения и таутомерии, предложивший рациональную номенклатуру азокрасителей.

Петр Николаевич Чирвинский – молодой тогда 54-х летний профессор Донского Политеха в г. Новочеркасске, геолог-петрограф, изучивший минералы Кольского полуострова, Украины, Кавказа и Урала методами геометрохимического анализа. О нем восторженно писал в 1952 г. тогдашний Председатель Президиума Кольского филиала АН СССР академик Дмитрий Степанович Белянкин, а это был год 50-летия научно-педагогической деятельности П.Н. Чирвинского.

Профессор А.В. Сегаль, член Оргкомитета химического общества им. Д.И. Менделеева (ВМО), в деятель-

ность которого входила работа по подготовке Менделеевских съездов, его ученый секретарь в 1935-1936 гг. и член редсовета журнала «Успехи химии».

Академик Николай Семенович Курнаков, которому тогда исполнилось 74 года, – основатель физико-химического анализа, в том же году возглавивший созданный им Институт общей и неорганической химии АН СССР, который после кончины в 1941 г. стал носить его имя. В 1920-34 гг. был Председателем химической ассоциации АН СССР, организатором Менделеевских съездов. Он основал учение о сингулярных точках химических диаграмм – это было развитие воззрений Д.И. Менделеева на природу растворов.

ИОНХ им. Н.С. Курнакова АН СССР сыграл особую роль в развитии химии на Кольском полуострове, т.к. сотрудники этого института академики Иван Владимирович Тананаев и Николай Михайлович Жаворонков стояли у истоков ИХТРЭМСа КНЦ РАН, и поэтому наш Институт носит имя И.В. Тананаева, и именно ИОНХ укрепил нас, направив В.Т. Калинникова на должность директора ИХТРЭМСа, а затем Председателя Президиума Кольского научного центра РАН. Приезд Н.С. Курнакова в Хибины был знаменательным – последствия его мы ощущаем в нашей повседневной жизни.

И, конечно, наиболее значимой фигурой был академик Владимир Иванович Вернадский. В ту пору ему пошел 72-й год. Он естественник, выдающийся мыслитель, минералог и кристаллограф, основатель новых наук геохимии, биогеохимии, радиогеологии, учения о биосфере, неизменный директор Биогеохимической лаборатории, ставшей после его смерти в 1945 г. Институтом геохимии и аналитической химии им. Вернадского. Из его школы вышли академики Ферсман А.Е., Виноградов А.П., Хлопин В.Г.

В «Тиетте» В.И. Вернадский открыл собрание и подчеркнул, что прошли три года со времени создания Горной станции, появившейся в Хибинах благодаря усилиям его любимого ученика А.Е. Ферсмана, умеющего соединить научную работу с практикой - хозяйственной и организаторской. Усилия в Хибинах не могут быть уложены в готовые таблички, но они могут быть объединены при помощи системы Менделеева, которого Вернадский считал столпом геохимии, хотя во времена Менделеева геохимии как таковой не было. Теплые слова Вернадского в адрес Ферсмана и Менделеева вдохновили В.И. Кондрикова. Он вспомнил, что в ноябре 1929 г. получил назначение на должность Председателя треста «Апатит», но что такое апатит, в Москве не могли сказать. Узнал об этом он только в Ленинграде от академика Ферсмана, а сейчас около 80 НИИ работают над Хибинской проблемой и их работа направляется в Бюро, возглавляемом А.Е. Ферсманом. Доклад сделал профессор П.Н. Чирвинский, развивший теорию происхождения основных горных массивов края. В массивах Хибинского типа есть 61 элемент Периодической системы и 107 минералов, а апатит надо использовать комплексно, извлекая из него редкие земли. Обо всем этом поведал в «Хибиногорском рабочем» сотрудничавший в нем Лев Иванович Ошанин. Восторг от этой встречи у него бил через край.

А.Е. Ферсман также подвел итоги Седьмого Менделеевского съезда в «Хибиногорском рабочем». Он сказал, что из Съезда можно выбрать практические и научные ценности, которые будут играть роль в химической работе и в нашем Хибинском строительстве. Ферсман сопоставил между собой три доклада, сделанные Н.С. Курнаковым, П.И. Вальденом и Бильцом. У первого – блестящие завоевания практического характера как равновесие соляных озер и их использование, у второго – труднейшие синтезы новых веществ, у третьего – метод определения состава тел по удельным весам. Это демонстрация естественных практических выходов из сложнейших теоретических обоснований. Теоретические основы и практическая жизнь – таков урок, полученный из этих докладов.

Диалектически противоположны и вместе с тем совершенно созвучны были доклады Лизы Мейнер и Панста. Первая доказывала, что из каждого элемента можно получить все остальные, а второй утверждал, что химические элементы абсолютно постоянны и неизменны во всех реакциях природы. Оба докладчика правы, но каждый рассматривал атом с разным увеличением, в разных масштабах сил и орудий разрушения. Чем глубже мы уходим в изучение явлений, тем больше новых законов нам надо вносить в их освоение. В этом Ферсман увидел второй урок, данный Съездом – урок диалектического познания законов природы.

Третий урок съезда Ферсман усмотрел в геохимическом докладе Иды Ноддак о трех элементах - №№ 61, 85 и 87, т.е. о прометии, астате и франции, из которых астат надо искать в апатитовом комплексе, прометий - вместе с рением – в молибденовых рудах. Этот урок натолкнул мысль на поиски еще неведомых элементов.

Сам Ферсман в своем докладе попытался подвести энергетическое обоснование под процессы распределения и накопления химических элементов в земной коре. Подавляющая часть природных процессов следует основным законам энергетики, а редчайшим исключением из правила являются Хибины, в которых последовательность кристаллизации и накопления элементов не укладывается в рамки современных энергетических представлений, поэтому изучение Хибин разными методами должно пролить свет на загадочные научные проблемы с их выходом в практику.

Значение Седьмого съезда в том, что химическая мысль Союза работает по правильному пути – от теории к практике: фронту борьбы за Хибины, созданию химической промышленности, в которую войдет стройка века – Кандалакшский Химкомбинат.

В Хибинах делегаты Съезда, кроме «Тиетты», посетили апатитовый рудник, обогатительную фабрику, ловчорритовый рудник, опытный фосфорный завод, совхоз «Индустрия». Это позволило им наглядно увидеть «расцветающий прогресс» Страны советов и противопоставить его «затухающему прогрессу» Запада.

На Менделеевском съезде в качестве гостей были и молодые кадры, которые страна послала на съезд гото-

виться к научной деятельности. Из материалов съезда эти молодые кадры вынесли самое главное тогда, что они пойдут по новым путям, обгоняя Запад и создавая все новые и новые отрасли химической промышленности и достигая все более и более глубокого понимания законов природы.

Таков был итог Менделеевского съезда в Хибинах. Отзвук его звучит для нас и сегодня, помогая работать на избранном научном поприще.

ПИСЬМА АКАДЕМИКА А.Е. ФЕРСМАНА К ПРОФЕССОРУ П.Н. ЧИРВИНСКОМУ

Н.С. Прохоренко[1], А.К. Шпаченко[2]
[1]Учреждение Российской академии наук Архив РАН, Санкт-Петербургский филиал, г. Санкт-Петербург
e-mail: archive@spbrc.nw.ru
[2]Геологический институт КНЦ РАН, г. Апатиты, e-mail: ark@geoksc.apatity.ru

В Санкт-Петербургском филиале Архива РАН в личном фонде П.Н. Чирвинского хранится огромное количество документов, в том числе и несколько писем академика А.Е. Ферсмана к профессору П.Н. Чирвинскому [8].

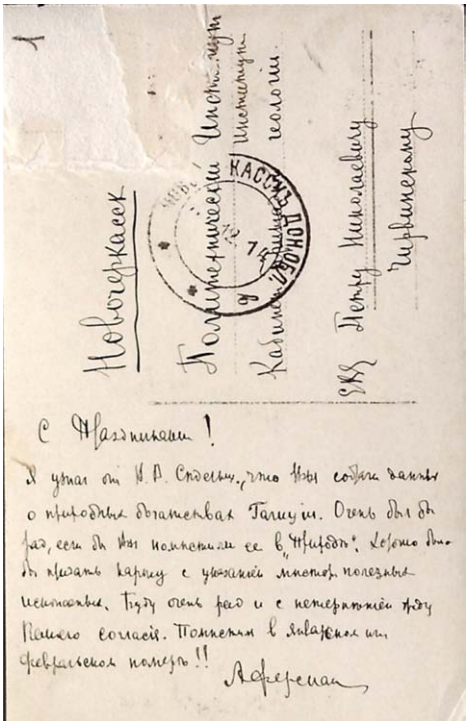
А.Е. Ферсман и П.Н. Чирвинский – представители той замечательной плеяды геологов, минералогов, петрографов, получивших своё образование в России начала XX века, продолживших образование в Европе, и со свойственной им энергией и целеустремлённостью работавших затем в нашей стране.

Об А.Е. Ферсмане и П.Н. Чирвинском интересующиеся могут легко получить библиографические ссылки и книги в научных и в общественных библиотеках. Отметим недавно изданную книгу В.И. Оноприенко и М.В. Оноприенко “Чирвинские” [7], где опубликованы уникальные воспоминания близких, а также публикации в материалах Ферсмановских научных сессий Кольского отделения Российского минералогического общества 2005-07 гг., где по архивным материалам изложены подробности пребывания П.Н. Чирвинского на Кольском полуострове [9-11].

А.Е. Ферсман и П.Н. Чирвинский были во многом схожи между собой: получили классическое гимназическое и университетское образование с золотыми медалями, происходили из культурной и научной среды, обладали огромной работоспособностью и энергией. Их судьбы сложились по-разному, но они всегда поддерживали между собой связи.

———

Первое письмо – почтовая карточка (автограф).



На лицевой стороне – надпись, сделанная А.Е. Ферсманом:

А. Ф. 1912.
Разработка С. Южакова
на Мокруше около Мурзинки

NB: На внутренней стороне открытки письмо, написанное А.Е. Ферсманом.

Новочеркасск
Политехнический Институт
Институт
Кабинет прикладной геологии
ЕВБ Петру Николаевичу
Чирвинскому

С праздниками!

Я узнал от В.В. Седе… [не разб., авт.], *что Вы собрали данные о природных богатствах Галиции. Очень был бы рад, если бы Вы поместили ее в "Природе". Хорошо было бы придать карту с указанием местор. полезных ископаемых. Буду очень рад и с нетерпением жду Вашего согласия. Поместим в январском или февральском номере!!*

А. Ферсман

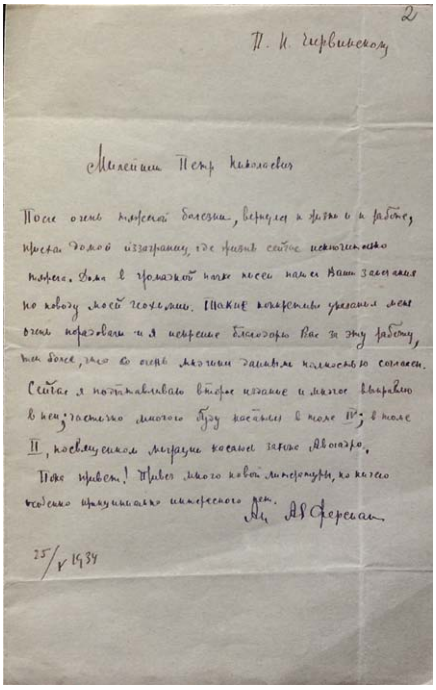
NB: ЕВБ – Его Высокоблагородию…

В 30-е годы судьбы П.Н. Чирвинского и А.Е. Ферсмана, различаясь "формально", не сильно отличались по существу. Если П.Н. Чирвинский был арестован в Новочеркасске в 1931 г. (статья 58-7, 10 лет конц. лагеря), и затем пребывал в "ссылке" на Кольском полуострове с 1932 г. по 1941 г., то А.Е. Ферсман, оставаясь на свободе, постоянно находился под реальной угрозой ареста.

П.Н. Чирвинский с осени 1933 г. находился в Хибиногорске, где с 1930 г. стала активно работать Хибинская исследовательская горная станция АН СССР, созданная трудами А.Е. Ферсмана [2, 3]. Работая в геологических подразделениях треста "Апатит", П.Н. Чирвинский также был востребован и "академической наукой" (выручали, как могли). Консультировал, выступал с докладами, они встречались, вместе работали. Об этом – следующие письма.

_____

Письмо (автограф).


2

П. Н. Чирвинскому

Милейший Петр Николаевич

После очень тяжелой болезни, вернулся к жизни и к работе, приехал домой из заграниц, где жизнь сейчас исключительно тяжела. Дома в громадной пачке писем нашел Ваши замечания по поводу моей геохимии. Такие конкретные указания меня очень порадовали и я искренне благодарю Вас за эту работу, тем более, что со очень многими данными полностью согласен.
Сейчас я подготавливаю второе издание и многое выправлю в нем; частично многого буду касаться в томе IV; в томе II, посвященном миграции касаюсь закона Авогадро.
Пока привет! Привез много новой литературы, но ничего особенно принципиально интересного нет.

Ак. А.Е. Ферсман

25/V 1934

П.Н. Чирвинскому

Милейший Петр Николаевич

После очень тяжелой болезни, вернулся к жизни и работе, приехал домой из заграниц, где жизнь сейчас исключительно тяжела. Дома в громадной пачке писем нашел Ваши замечания по поводу моей геохимии. Такие конкретные указания меня очень порадовали и я искренне благодарю Вас за эту работу, тем более, что со очень многими данными полностью согласен.

Сейчас я подготавливаю второе издание и многое выправлю в нем; частично многого буду касаться в томе IV; в томе II, посвященном миграции касаюсь закона Авогадро.

Пока привет! Привез много новой литературы, но ничего особенно принципиально интересного нет.

Ак. А.Е. Ферсман (подпись)

25/V1934

_____

Письмо (2/3 листа формата А 4) отпечатано на пишущей машинке, подписано А.Е. Ферсманом.
В верхнем левом углу штамп:

НКТП. – СССР.
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЕ БЮРО
по вопросам комплексного использования хибинской апатито-нефелиновой породы
5 сентября 1935 г.
№ 6/39
Ленинград, ул. Якубовича, 16.
Телефон 6-00-03

Проф. П.Н. ЧИРВИНСКОМУ

Многоуважаемый
Петр Николаевич!

05.09.1935

25 сентября с.г. НИС-ТЕХПРОП НКТП СССР, с разрешения зам. Наркомтяжпрома тов. Пятакова, созывает в г. Кировске совещание научно-исследовательских и хозяйственных организаций, посвящённое вопросам дальнейшего изучения и освоения полезных ископаемых Кольского полуострова.

Прилагая при этом программу работ совещания, убедительно прошу Вас сделать на нём доклад на тему, указанную в прилагаемой программе.

Ваш ответ просьба срочно сообщить по адресу Бюро /Ленинград, ул. Якубовича, д. 16/.

Председатель Бюро НИС"а
НКТП СССР, акад. (подпись) А.Е. Ферсман.

ПЛАН РАБОТ СОВЕЩАНИЯ НИС"а НКТП в гор. КИРОВСКЕ.

25 СЕНТЯБРЯ

/Открытие в 5 час. вечера/

1. ТОРЖЕСТВЕННОЕ ОТКРЫТИЕ.
2. В.И. КОНДРИКОВ.- Перспективы развития горно-энерго-химической промышленности Кольского полуострова.
3. Е.П. НЕКРАСОВ.- Ближайшие перспективы разведки, добычи и переработки руд циркония, ниобия и тантала.
4. Акад. А.Е. ФЕРСМАН.- Научные проблемы Кольского полуострова.

26 СЕНТЯБРЯ

МЕДНО-НИКЕЛЕВАЯ ПРОБЛЕМА.

1. Н.Н. ВОРОНЦОВ.- Основные вопросы проблемы и состояние строительства Комбината.
2. В.К. КОТУЛЬСКИЙ.- Медно-никелевые месторождения Кольского полуострова.
3. О.Е. ЗВЯГИНЦЕВ.- Платиновые металлы в сульфидных рудах типа Монча-тундры.
4. В.А. РУНДКВИСТ и Н.В. ЗАШИХИН.- Обогащение медно-никелевых руд
5. Проф. Н.П. АСЕЕВ и Н.С. ГРЕЙВЕР.- Металлургическая переработка медно-никелевых руд.
6. Проф. Уразов.- Возможности переработки медно-никелевых руд методом хлорирования.
7. НИКЕЛЬОЛОВО ПРОЕКТ. Проект медно-никелевого Комбината и его техно-экономическое обоснование.

27 СЕНТЯБРЯ

ПРОБЛЕМА РЕДКИХ МЕТАЛЛОВ ХИБИНСКИХ И ЛОВОЗЕРСКИХ ТУНДР.

1. М.Л. ЗОЛОТАРЬ, С.Д. ПОКРОВСКИЙ и О.А. ВОРОБЬЁВА. Результаты геолого-разведочных и поисковых работ 1935 г. в Ловозерских тундрах.
2. И.Д. БОРНЕМАН-СТАРЫНКЕВИЧ.- Анализ эвдиалитов и лопаритов.
3. Д. МИЛОВИДОВ и Я.П. КИМ.- Обогащение ловозерских эвдиалитов и лопаритов.
4. Г.А. МЕЕРСОН, И.С. КИНДЯКОВ, ЗАОЗЕРСКИЙ, Н.А. ЖИРНОВА.- Технология переработки эвдиалитов и лопаритов.
5. Проф. Б.П. СЕЛИВАНОВ.- Применение циркония и ниобия в металлургии специальных сталей.
6. К.П. АЗАРОВ.- Применение циркония в эмалевом производстве.
7. С.В. БАБУС.- Перспективы применения циркония в промышленности высокоогнеупоров.
8. С.А. ВЕКШИНСКИЙ.- Применение циркония в вакуумной промышленности.
9. М.С. АФАНАСЬЕВ и Д.Н. МИХАЛЁВ.- Месторождения ловчоррита в Хибинских тундрах.
10. П.А. ВОЛКОВ.- Технология извлечения редких земель из ловчоррита и апатита.
11. Трест “Апатит”. Результаты разведки 1935 г. на молибден в Хибинских тундрах.

28 СЕНТЯБРЯ

1. Осмотр делегатами Апатитового рудника, апатитовой и ловчорритовой обогатительных фабрик, фосфорного завода и проч.
2. Работа комиссий по выработке резолюций.

29 СЕНТЯБРЯ

1. Л.Б. АНТОНОВ. - Результаты последних геолого-разведочных и поисковых работ.
2. А.А. ПОЛКАНОВ, Б.М. КУПЛЕТСКИЙ и П.Н. ЧИРВИНСКИЙ. - Последние данные по геологии, петрографии и минералогии Кольского полуострова.
3. П.И. СОУСТОВ. - Свита Имандра-Варзуга.
4. ЗВОНОВ. - Хибинские диатомиты и возможности их использования.
5. К.А. ХАХАМ. - Работы Кировской лаборатории стройматериалов по использованию диатомита.
6. Акад. А.Е. ФЕРСМАН, М.Е. РАКОВЩИК и Б.И. КАГАН. Дальнейшие задачи геолого-разведочных и научно-исследовательских работ и подготовка к международному геологическому конгрессу.-

30 СЕНТЯБРЯ – 1 ОКТЯБРЯ

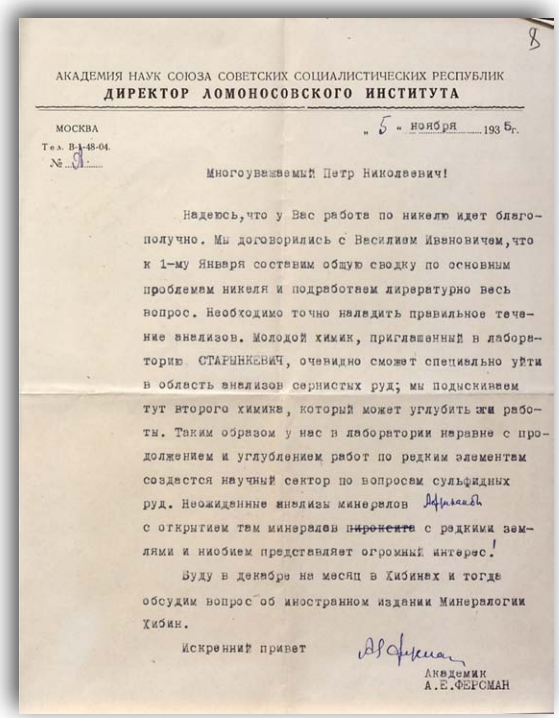
Осмотр Совхоза “Индустрия”, поездка в Монча-тундру.

NB: Предполагаемая программа совещания отпечатана на машинке. Вряд ли осенью 1935 г. в Кировске были другие совещания НИС. Из материалов Научного архива КНЦ РАН, следует, что П.Н. Чирвинский сделал на заседании 3-го полярного совещания НИС`а доклад “Новинки в минералогии Хибинских и Ловозёрских тундр”. Из стенограммы (окончание доклада): “продолжительные аплодисменты” [5].

———

Почтовый конверт с адресом, написанным от руки (почерк не А.Е. Ферсмана), с различными пометками и почтовыми штемпелями. На конверте пометка П.Н. Чирвинского зелёным карандашом: *о докладах в Кировске 1935.*

Бланк директора Ломоносовского института АН СССР
Москва *5 ноября 1935 г.*
Тел. В-1-48-04.
№ А



АКАДЕМИЯ НАУК СОЮЗА СОВЕТСКИХ СОЦИАЛИСТИЧЕСКИХ РЕСПУБЛИК
ДИРЕКТОР ЛОМОНОСОВСКОГО ИНСТИТУТА

МОСКВА
Тел. В-1-48-04.
№ А

5 ноября 1935 г.

Многоуважаемый Петр Николаевич!

Надеюсь, что у Вас работа по никелю идет благополучно. Мы договорились с Василием Ивановичем, что к 1-му Января составим общую сводку по основным проблемам никеля и подработаем литературно весь вопрос. Необходимо точно наладить правильное течение анализов. Молодой химик, приглашенный в лабораторию СТАРЫНКЕВИЧ, очевидно сможет специально уйти в область анализов сернистых руд; мы подыскиваем тут второго химика, который может углубить эти работы. Таким образом у нас в лаборатории наравне с продолжением и углублением работ по редким элементам создастся научный сектор по вопросам сульфидных руд. Неожиданные анализы минералов Африканды с открытием там минералов с редкими землями и ниобием представляет огромный интерес!

Буду в декабре на месяц в Хибинах и тогда обсудим вопрос об иностранном издании Минералогии Хибин.

Искренний привет

Академик
А.Е.ФЕРСМАН

Многоуважаемый Петр Николаевич!

Надеюсь, что у вас работа по никелю идёт благополучно. Мы договорились с Василием Ивановичем, что к 1-му января составим общую сводку по основным проблемам никеля и подработаем литературно весь вопрос. Необходимо точно наладить правильное течение анализов. Молодой химик, приглашённый в лабораторию, Старынкевич, очевидно, сможет специально уйти в область анализов сернистых руд; мы подыскиваем тут второго химика, который может углубить эти работы. Таким образом, у нас в лаборатории наравне с продолжением и углублением работ по редким элементам создастся научный сектор по вопросам сульфидных руд. Неожиданные анализы минералов ~~пироксита~~ Африканды с открытием там минералов с редкими землями и ниобием представляет огромный интерес!

Буду в декабре на месяц в Хибинах и тогда обсудим вопрос об иностранном издании Минералогии Хибин.

Искренний привет (подпись) *Академик*
А.Е. ФЕРСМАН

NB: Письмо отпечатано на пишущей машинке и подписано А.Е. Ферсманом. *Африканды* вписано им же, ~~*пироксита*~~ зачёркнуто. Очевидно, вместо *пироксита*, должно было быть напечатано *перовскита*.

Василий Иванович – В.И. Кондриков – управляющий трестом «Апатит», проводивший огромную работу по освоению полезных ископаемых Кольского полуострова. Тема никеля относится к Монче-тундре, «молодой химик Старынкевич» – И.Д. Борнеман-Старынкевич, впоследствии доктор наук успешно организовала химическую лабораторию, научила многих химиков-минералогов [1, 3]. Статья П.Н. Чирвинского по минералогии мас-

сива Африканда была опубликована в 1940 г. в Известиях АН СССР. Иностранное издание Минералогии Хибин состоялось более чем через 60 лет…

П.Н. Чирвинский после очередной отсидки в Ленинграде (с декабря 1937 г. по декабрь 1938 г.), получил паспорт на пять лет, вернулся в г. Кировск, и продолжил работу в тресте “Апатит”. Выехать за пределы Кольского он, по-прежнему, не может. Несмотря ни на что, П.Н. Чирвинский и А.Е. Ферсман переписываются, обсуждают научные вопросы.

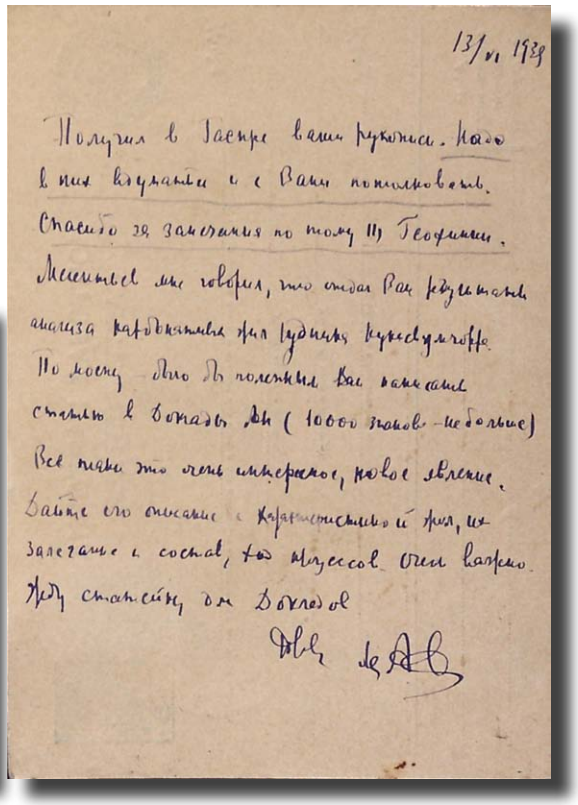
_____

Почтовая карточка. Адреса и текст письма написаны А.Е. Ферсманом. На лицевой стороне:

Мурманской области
Обогатительная улица 7 ком 11
Петру Николаевичу Чирвинскому
Крым Кореиз Гаспра АФ

Написано П.Н. Чирвинским, синим карандашом: *1939 Ферсман о моих новых работах.*

На внутренней стороне открытки текст письма (автограф):


13/VI 1939

Получил в Гаспре ваши рукописи. Надо в них вдуматься и с Вами потолковать. Спасибо за замечания по тому III Геохимии. Мелентьев мне говорил, что отдал Вам результаты анализа карбонатных жил рудника Кукисвумчорр. По-моему было бы полезным Вам написать статью в Доклады АН (10 000 знаков – не больше) Все-таки это очень интересное, новое явление. Дайте его описание с характеристикой жил, их залегание и состав, ход процессов. Очень важно. Жду статейку для Докладов.

13/VI 1939

Получил в Гаспре Ваши рукописи. Надо в них вдуматься и с Вами потолковать. Спасибо за замечания по тому III Геохимии. Мелентьев мне говорил, что отдал Вам результаты анализа карбонатных жил рудника Кукисвумчорр. По-моему было бы полезным Вам написать статью в Доклады АН (10 000 знаков – не больше) Все-таки это очень интересное, новое явление. Дайте его описание с характеристикой жил, их залегание и состав, ход процессов. Очень важно. Жду статейку для Докладов.

[Нрзб.] *Ак. А.Ф.* (подпись)

NB: Подчеркивание в тексте – П.Н. Чирвинского. Б.М. Мелентьев плодотворно работал в Кольской базе АН ССР с 1936 г., приняв химическую лабораторию от И.Д. Борнеман-Старынкевич [4]. В 1939 г. в Известиях АН ССР была опубликована статья П.Н. Чирвинского “Палеогидрология Хибинских тундр”. Тема кальцитовых жил рудника Кукисвумчорр в последующих работах П.Н. Чирвинского, по-видимому, развития не получила. В 80-х годах в Хибинах были открыты карбонатиты…

_____

Письмо на бланке
Академик А.Е. Ферсман Член Президиума Академии Наук СССР

18 сентября 1940 г.

П.Н. ЧИРВИНСКОМУ

Гор. Кировск.

Благодарю за Ваши замечания по моей рукописи. Они мне очень полезны.

Ваши работы у меня, буду их постепенно продвигать. Придется только, может быть, немного сократить.

Только что вернулся из Кавказской экспедиции, где рассмотрел совершенно загадочное месторождение Малки. Какие у Вас новинки? Сообщите мне.

Привет. (подпись)

Академик /Ферсман/

NB: Письмо отпечатано на пишущей машинке. В оригинале напечатано: П.Н. ЧЕРВИНСКОМУ, исправление сделано А.Е. Ферсманом, тем же красным карандашом вписана дата – "18" и сделана подпись.

Осенью 1941 г. П.Н. Чирвинский выехал из Кировска. После нескольких лет работ в Соликамске перебрался в г. Пермь. Даже судимость сняли. Свободен…

В своих воспоминаниях П.Н. Чирвинский написал: *С А.Е. я постоянно поддерживал связь. В частности для меня всегда была одной из форм научной связи письменное или устное высказывание по прочтению той или другой для меня интересной работы. Если мне казалось, что-либо спорным или неправильным, я не стеснялся критиковать не взирая на лица. Не всегда это нравилось, конечно. Что касается А.Е. Ферсмана, то он принимал критику и замечания с благодарностью и при случае их принимал во внимание. Это поддерживало между нами нормальные научные отношения.*

Последнее своё критическое и дискуссионное послание о третьем томе его "Геохимии" я переправил ему из Соликамска 8-го сентября 1942 г., т.е. незадолго до его последнего тяжелого заболевания [6].

_____

Письмо на бланке:

АКАДЕМИК А.Е. ФЕРСМАН ЧЛЕН ПРЕЗИДИУМА АКАДЕМИИ НАУК СССР

18 сентября 1944 г.
г. Молотов /областной/ ул.
Ленина, 191 к. 40
П.Н. Чирвинскому.

Благодарю за хорошее письмо.

Одна мысль мне особенно понравилась, надо сейчас напечатать на английском языке наши крупные работы и этим выйти на арену мировой литературы.

Это предложение надо подкрепить конкретным списком.

Что бы Вы считали подходящим для такого издания?

Привет.

АКАДЕМИК (подпись) /А.Е. Ферсман/

Невозможно в кратком материале детально прокомментировать эти письма. Очевидно, их было гораздо больше, чем сохранилось. Но даже эти письма передают нам ощущение полноты научного и личного общения между этими двумя выдающимися людьми – А.Е. Ферсманом и П.Н. Чирвинским.

Список литературы

1. Дудкин О.Б. Ирина Дмитриевна Борнеман-Старынкевич (1890 – 1988) // Тиетта. 2008. № 2. С. 21-22.

2. Макарова Е.И. История Кольского Научного центра в документах // Минералогия во всем пространстве сего слова. Труды II Ферсмановской научной сессии Кольского отделения Российского минералогического общества, посвященной 140-летию со дня рождения В. Рамзая. Апатиты, 18-19 апреля 2005 г. / Научн. ред. Ю.Л. Войтеховский, А.В. Волошин, О.Б. Дудкин. – Апатиты: Изд-во К & М, 2005. С. 18-20.

3. Макарова Е.И. От Тиетты – к Кольской базе АН СССР: история организации геологического отдела по архивным документам // Минералогия во всем пространстве сего слова. Труды III Ферсмановской научной сессии Кольского отделения Российского минералогического общества, посвященной 50-летию Кольского отделения РМО. Апатиты, 27-28 апреля 2006 г. / Научн. ред. Ю.Л. Войтеховский, А.В. Волошин, О.Б. Дудкин. – Апатиты: Изд-во К & М, 2006. С. 27-30.

4. Мелентьев Г.Б. К 100-летию со дня рождения Бориса Николаевича Мелентьева – ветерана науки Кольского Заполярья (1908-1993) // Тиетта. 2008. № 4. С. 31-35.

5. НА КНЦ РАН. Ф. 4. Оп. 1. Ед. хр. 38.

6. Чирвинский П.Н. Отрывки из научных воспоминаний. 1959. НА КНЦ РАН. Ф. 4. Оп. 1. Ед. хр. 70.

7. Оноприенко В.И., Оноприенко М.В. Чирвинские. М.: Наука, 2008. 303. с.

8. СПФ АРАН. Ф. 894. Оп. 2. Д. 262. Л. 1-11.

9. Шпаченко А.К. Нордическая фаза Петра Николаевича Чирвинского // Минералогия во всем пространстве сего слова. Труды II Ферсмановской научной сессии Кольского отделения Российского минералогического общества, посвященной 140-летию со дня рождения В. Рамзая. Апатиты, 18-19 апреля 2005 г. Апатиты: Изд-во К & М, 2005. С. 27-30.

10. Шпаченко А.К. П.Н. Чирвинский на Кольском полуострове (по архивным данным) // Проблемы минералогии, петрографии и металлогении. Научные чтения памяти П.Н. Чирвинского. Пермь, 2-3 февраля 2006 г. Пермь: Изд-во: ПГУ, 2006. С. 3-14.

11. Шпаченко А.К. Особое геологическое бюро при Мурманском окр. отделе ОГПУ, 1932-1933 гг. // Геология и минерагения Кольского региона. Труды Всероссийской (с международным участием) научной конференции и IV Ферсмановской научной сессии, посвященных 90–летию со дня рождения акад. А.В. Сидоренко и д.г.-м.н. И.В. Белькова. Апатиты, 4–6 июня 2007 г. Апатиты: Изд-во К&М, 2007. С. 56-62.

ОСНОВНЫЕ КОМПЛЕКСЫ ИСТОЧНИКОВ ПО ИСТОРИИ КОЛЬСКОГО ФИЛИАЛА АН СССР.

А.Г. Саморукова
Центр гуманитарных проблем КНЦ РАН
Апатиты, e-mail: samorukova@isc.kolasc.net.ru

Хибинская Горная научная станция, созданная в 1930 г., а в начале Великой Отечественной войны эвакуированная в Коми АССР, в 1944 г. возобновила свою деятельность в Кировске.

Организация научных исследований в послевоенный период требовала от сотрудников преодоления многих трудностей: предстояло восстановить материально-техническую базу научного учреждений, обеспечить новейшим оборудованием, решить задачу подготовки кадров ученых, создать условия для развития фундаментальных исследований по ведущим направлениям.

Хронологические рамки настоящей работы охватывают период с 1944 г. – со времени реэвакуации Кольской базы из Сыктывкара – до середины 1950-х гг. По мнению российского историка науки Г.И. Лахтина, это было время активного включения науки в народно-хозяйственную систему, когда развитие производства было одновременно и научно-техническим развитием. В этом единении приоритет находился на стороне производства, от науки требовалось решение множества практических задач, содействие стабильной работе предприятий, поддержание действующей технологии [3].

В рамках рассматриваемого периода история развития академического центра в Хибинах недостаточно изучена, восполнить этот пробел могут обширные архивные материалы Научного архива Кольского научного центра РАН и Государственного архива Мурманской области. Проблема становления и развития региональных научных центров – сложная комплексная проблема. В данном случае целью является классификация и выделение основных комплексов источников, которые касаются процесса развития научного центра в Хибинах в указанных хронологических рамках.

В работе использован широкий круг опубликованных и неопубликованных источников, различных взаимодополняющих документов по истории научного центра. При этом основную массу источников составили архивные документы, что определило некоторые сложности в подборе источников. Связано это с тем, что в советский период помимо общего делопроизводства, по широкому кругу вопросов велось секретное делопроизводство. Именно в документах с грифами «секретно», «совершенно секретно» содержатся сведения, во многом позволяющие понять истинную подоплеку реальных событий. Хотя были рассекречены многие документы архивов, в том числе относительно деятельности КНЦ АН СССР, однако, полного доступа к ним еще нет.

Все используемые источники можно классифицировать в соответствии с характером содержащейся в них информации. К первой группе следует отнести законодательные, подзаконные и нормативные акты центральных и местных органов власти, в которых определялись приоритеты науки в целом. Роль законодательного и идеологического обеспечения выполняли постановления ЦК КПСС и решения партийных съездов. Из нормативно-распорядительной документации, прежде всего, выделяются постановления - акт управления, издаваемый высшими исполнительными и распорядительными органами государственной власти. По важным политическим и хозяйственным вопросам издавались совместные постановления ЦК КПСС и Совета Министров СССР. Большинство постановлений регламентировало порядок и условия работы научных кадров, подготовки молодых специалистов. Среди них постановление Совета Министров СССР от 4 ноября 1947 г. «О подготовке научных кадров высшей квалификации в Академии наук СССР», которое создавало все необходимые условия для научного роста и повышения квалификации научных работников [17]. Часть постановлений регулировала порядок финансирования академических учреждений, предусматривая вопросы о начале или прекращении работ по определенным научным исследованиям. Постановления ЦК КПСС, непосредственно касающиеся научно-исследовательской деятельности в Хибинах, относились, прежде всего, к проблемам связи науки и производства. Пристальное внимание в документах обращалось на усиление научно-исследовательских работ и внедрение результатов исследований в область сельского хозяйства [4].

К постановлениям примыкает блок распорядительных документов - распоряжения, которые издавались в пределах компетенции должностного лица или государственного органа и имели обязательную силу. Подобные документы локального значения были направлены на конкретный объект. К таким документам относится важное распоряжение Совета Народных Комиссаров СССР от 15 апреля 1944 г., согласно которому Президиуму АН СССР разрешалось восстановить Кольскую базу им. С.М. Кирова в г. Кировск Мурманской области [11].

В 1951 г. Совет Министров СССР своим распоряжением санкционировал организацию Геологического института Кольского филиала и обязал АН СССР принять меры для укрепления Филиала научными кадрами, оборудованием и средствами для проведения экспедиционных исследований [20].

Большой исследовательский интерес представляют материалы Государственного архива Мурманской области и, прежде всего, потому, что позволяют проследить основные приоритеты местных властей по отношению к науке и научным организациям. В первую очередь это относится к документам бывшего Партийного архива Мурманской области. Деятельность Кольской базы АН СССР, а затем Кольского филиала АН СССР постоянно находилась в поле зрения Мурманского обкома КПСС. Многие вопросы внутренней жизни академического учреждения отражены в протоколах заседаний и постановлениях бюро Мурманского обкома КПСС. На заседаниях бюро обкома КПСС неоднократно рассматривались самые разнообразные проблемы, связанные с функционированием академического учреждения. Обсуждались планы научно-организационной деятельности научного центра, основополагающие направления научной деятельности, отчеты и важнейшие достижения, решались во-

просы о наградах и кадровой политике.

Помимо того, что названные документы характеризуют деятельность Мурманского обкома КПСС как контролирующую, они отражают прямое деятельное участие партийных органов в разработке основных научных направлений. Так, рассмотрев вопрос о плане работы Кольского филиала на 1952 г., бюро обкома ВКП (б) предложило филиалу решить вопрос о создании секторов, ведающих изучением технологических процессов производства, разработкой экономических проблем и обобщением практики эксплуатации горнорудных предприятий [10].

В 1957 г. в обращении к Президенту АН СССР А.Н. Несмеянову Мурманский обком КПСС в целях усиления выполняемых научно-исследовательских работ по комплексному использованию полезных ископаемых Мурманской области просит организовать Горно-технологический институт на базе уже имеющихся лабораторий [9].

В то же время архивные материалы обкома свидетельствуют и о той активной помощи, которая была оказана научному учреждению в разное время в решении организационных вопросов, в частности, в укреплении материально-технической базы Кольского филиала. Например, Мурманский обком КПСС, учитывая крайне напряженное положение с размещением существующих и вновь организуемых лабораторий, а также отсутствие у Филиала своего жилого фонда, обращается с просьбой в Госплан СССР предусмотреть в плане АН СССР капиталовложения для завершения строительства лабораторного корпуса и жилых домов [8].

Вторым по значимости комплексом источников являются материалы, отражающие деятельность Академии наук СССР, связанную со становлением сети научных учреждений на местах. Руководство сетью филиалов и баз осуществлял Совет филиалов и баз, а с 1949 г. - Совет филиалов, упраздненный в 1955 г., после чего научное руководство филиалами возлагалось на отделения Академии наук. Решение ряда вопросов, в частности, подготовка рекомендаций по развитию филиалов, составление сводных планов исследований, созыв совещаний филиалов и др. поручалось Совету по координации научной деятельности академий наук союзных республик и филиалов АН СССР.

Важную информацию по истории становления и развития академических учреждений содержат постановления Президиума и Отделений АН СССР. В констатирующей части обычно указываются цели и задачи постановления, а также причины, которые побудили составить тот или иной документ. Нередко в постановлениях присутствуют ссылки на другие документы, на основе которых они и были созданы. Это позволяет проследить процесс принятия решения от возникновения идеи до воплощения ее в жизнь, а также все изменения, которым подвергалась система академических учреждений, в том числе КФ АН СССР.

В октябре 1949 г. Президиум АН СССР принял постановление «Об установлении для филиалов и научно-исследовательских баз АН СССР единого наименования». Девять научно-исследовательских баз АН СССР, среди них – Кольская база им. С.М. Кирова, были переименованы в филиалы АН СССР [2, 6]. Это важное постановление означало, что указанные базы по масштабам своей деятельности стали отвечать требованиям, предъявляемым к филиалам.

В целях укрепления Кольского филиала им. С.М. Кирова и превращения его в научное учреждение, способное обеспечить дальнейший рост комплексных научных исследований по освоению природных богатств и развитию производительных сил Мурманской области, 15 февраля 1950 г. Президиум АН СССР принимает постановление «О структуре Кольского филиала им. С.М. Кирова и мерах его дальнейшего развития» [16].

Руководящие органы АН СССР – Общее собрание, Президиум, Бюро отделений уделяли большое внимание всем проблемам, касающимся работы филиалов. Деятельность филиалов регулярно обсуждалась на годичных собраниях АН СССР, сессиях Общего собрания, заседаниях Президиума АН СССР. Созданные Президиумом комиссии из высококвалифицированных ученых тщательно знакомились с работой филиалов, вносили конкретные предложения, направленные на ее совершенствование. После этого деятельность филиалов рассматривалась Президиумом. В принятых им постановлениях давался всесторонний анализ работы филиалов, отмечались достижения, вскрывались недостатки, определялись пути их устранения. Среди этих мероприятий можно назвать работу комиссии Президиума Академии наук СССР по проверке работы КФ АН СССР и оказанию научно-организационной помощи в 1952 г. [21].

В 1955 г. Президиум АН СССР в постановлении «О работе Кольского филиала и мерах по его укреплению и дальнейшему развитию» отметил, что в последние три года филиал осуществил геологическое и минералогическое изучение крупнейших в мире кианитовых месторождений Кейв и Мончегорских медно-никелевых месторождений. Положительно оценивались работы филиала по исследованию ряда других месторождений полезных ископаемых, а также работы по гидрологии и энергетике.

Не менее важным комплексом документов являются распоряжения Академии наук СССР, которые могли быть следствием заявки или просьбы со стороны подразделения. Эти документы важны тем, что на их основе можно проследить изменения, происходившие в КФ АН. Именно распоряжениями Президиума АН СССР утверждались изменения структуры научного учреждения [14].

Следующую группу источников составляет делопроизводственная документация (в особенности протоколы и стенограммы) Президиума АН СССР, отделений Академии наук СССР, Общего собрания Академии наук СССР, оргкомитетов конференций и симпозиумов, Бюро Совета филиалов АН СССР. Протоколы Общих собраний Президиума АН СССР отражают итоги научной деятельности по отраслям наук, постановку новых приоритетов в научных исследованиях. Преимущество этих источников в том, что они содержат последовательную запись хода обсуждения вопросов и процесса выработки решений. В протоколах также можно найти информацию об исполнении решений, принятых на предыдущих заседаниях. Протоколы заседаний Президиума АН СССР и Бюро Совета филиалов АН СССР содержат информацию о планах научно-исследовательских работ КФ АН СССР, представленных в Совет на заключение. Например, одно из первых послевоенных распорядительных заседаний Президиума от 2 августа 1945 г. при составлении плана научно-исследовательских работ на 1946 г. реко-

мендует «дать ясное определение основных вопросов, подвергающихся научной разработке в текущем году по проблемам, разработка которых рассчитана на ряд лет» [13].

Более подробно история Кольского филиала отражена в документах самого учреждения. Постановления Президиума Кольского филиала были обязательны для исполнения во всех подразделениях учреждения. В них отражены все основные сведения организационного порядка, связанные с деятельностью учреждения в области развития: финансирования, подготовки и распределения научных кадров, организации и проведения научных исследований и т.д.

Распоряжения Президиума КНЦ АН СССР являются более частными документами, и имеют конкретный направленный характер. Так, распоряжение по Кольской базе от 6 июля 1947 г. предписывает: «В целях упорядочения хранения каменных геологических материалов создать при геологическом и минералогическом секторах Базы фонды каменных геологических материалов, иллюстрирующих работу секторов» [15]. Распорядительные документы регулируют отношения, сложившиеся в результате выполнения постановлений, они выполняют корректирующую функцию, по распоряжениям можно проследить изменения, происходившие в процессе развития академического учреждения.

Протоколы заседаний Ученого совета, а затем Президиума КФ АН освещают как научную, так и научно-организационную деятельность учреждения. Принцип коллегиальности в принятии многих принципиальных решений позволяет более подробно ознакомиться с содержанием вопроса и позицией сторон. По некоторым вопросам протоколы снабжены приложениями, в которых сосредоточен полный комплекс материалов по теме (тезисы, доклады и проекты решений, некоторые черновые и другие сопутствующие материалы).

Одним из наиболее распространенных видов делопроизводственной документации являются приказы по основной деятельности учреждения. Так, приказ № 1 от 5 июня 1944 г. за подписью А.Е. Ферсмана предписывал «приступить к организации Базы, ее рабочих и жилых помещений, а также к приему личного состава, движимого и недвижимого имущества, оборудования, материалов и т.п. Кировского стационара» [15]. Приказы содержат сведения о штатном расписании, об утверждении личного состава полевых отрядов и районах их действия и т.п.

В докладных записках ученых, объяснительных записках к проектам, докладах на различных собраниях подробно излагается суть какого-либо вопроса, сюда относятся вопросы структуры, управления, внутреннего процесса развития учреждения. Это в равной степени относится и к выступлениям, прозвучавшим в стенах центральных научных учреждений и на юбилейных сессиях или на партийных собраниях. По сути, доклады являются результатом совместного труда специалистов многих подразделений.

С этим блоком тесно соприкасаются отчетные материалы, в которых отражены результаты работы подразделения, дается оценка результативности проводимых работ и отмечаются нерешенные вопросы. Отчетная документация составлялась по всем направлениям научно-организационной деятельности. Каждое подразделение готовило отчет, который в итоге входил в общий отчет о научно-организационной деятельности за год и отправлялся в Президиум АН СССР и Мурманский обком КПСС.

Наибольшую ценность представляют научные отчеты, которые являются уникальным источником, наиболее полно отражающим научную деятельность Филиала. В них фиксируются результаты деятельности отдельных ученых и научных коллективов. Документы показывают не только историю отдельных научных открытий, но и их внедрение в народное хозяйство, координацию усилий специалистов по той или другой тематике исследований. Сюда же относятся научные доклады по результатам исследований с выдвижением теоретических проблем, а также тексты монографий.

Учетно-статистическая документация представлена статистическими отчетами о движении кадров и работе аспирантуры, в которых в концентрированной форме содержится информация о количественной стороне научно-организационного развития учреждения [18]. Статистические отчеты являются соединением делопроизводственной документации и статистики, так называемой учетно-контрольной документацией, которая содержит статистические формы, подготовленные для статистической обработки. Эти документы формировались отделом кадров Президиума КФ АН и отправлялись в АН СССР, Госплан СССР и статистическое управление области.

Отдельную группу источников составляет деловая переписка, которая включает в себя служебные письма и телеграммы, заявления, прошения, жалобы, ходатайства и пр. Наиболее интересной является переписка Кольского филиала с другими организациями и ведомствами по решению научных вопросов, обращения к партийным и хозяйственным органам области и Союза ССР по организации и проведению научно-исследовательских работ (письма, тексты телеграмм, радиограмм, телефонограмм и пр.). Постоянно поддерживалась переписка с Советом филиалов и баз по поводу заключения по научным отчетам [19].

Сюда же можно отнести деловую переписку научных сотрудников. В этих документах освещены проблемы, возникшие при решении всевозможных вопросов. Список адресов очень велик (местные органы власти, прямое руководство в Москве). В этой переписке затрагивались многие проблемы, связанные с созданием материальной базы и жилого фонда для сотрудников.

К сожалению, переписка по вопросам научной деятельности очень фрагментарна, на ее основе не всегда возможно составить полную картину. Однако в сохранившихся документах отражена уникальная информация по организации новых важных научных направлений, материалы подготовки и резолюции научных конференций и съездов.

Не менее важными являются документы по личному составу, содержащиеся в приказах по личному составу, в ежегодных отчетах по кадрам и др. В них отражен прием, перемещения и увольнения работников, получение ими образования, материалы по аттестации и присвоению званий, по защите диссертаций и присуждению ученых степеней, по награждениям.

Весьма информативным источником являются периодические издания, которые позволяют выявить но-

вые факты и узнать различные оценки явлений. На стыке источников и литературы находятся академические периодические издания. Особое место в определении роли Академии наук в организации региональных научных центров, в частности филиалов и баз, занимает «Вестник Академии наук СССР» — общеакадемический ежемесячный научный журнал, выходящий с 1931 г. Статьи и выступления академиков И.П. Бардина, В.П. Волгина, В.А. Котельникова, М.Д. Миллионщикова, Г.К. Скрябина, А.Н. Несмеянова и др. всесторонне освещали вопросы становления периферийных центров науки, в том числе и Кольского филиала [5].

«Вестник АН СССР» публиковал материалы Общих собраний Академии, освещал работу Президиума, статьи по ведущим направлениям науки, обзоры научных сессий, конференций и совещаний, проводимых Академией, её учреждениями и научными советами, помещал информацию о текущей жизни Академии наук, о ее международных связях. В статьях этого журнала впервые ставятся или апробируются многие сложные вопросы истории Академии наук, описывается история, дается первая оценка и комментарии к ключевым событиям и итогам научной деятельности.

Углубленному исследованию проблем, касающихся деятельности КФ АН СССР, содействует большое количество разноплановой и уникальной информации в журнале «Известиях Карельского и Кольского филиалов АН СССР», который выходил в Петрозаводске с 1957 г. по 1959 г. В выпусках журнала появлялись обзорные статьи и оригинальные научные сообщения., научная хроника, сообщения о жизни филиала, научных достижениях и конференциях [7], статьи об истории становления научных направлений, биографии ученых. Задачи филиалов, перспективы их развития определялись в статьях и выступлениях председателей президиумов филиалов [1].

Определенный интерес представляют статьи, посвященные истории и деятельности КФ АН, которые появлялись преимущественно в местной прессе и в большинстве случаев были написаны сотрудниками научного центра. Статьи были рассчитаны на широкую аудиторию, поэтому научные работники излагали свои достижения в краткой и доступной форме. Кроме того, научные сотрудники через газеты освещали промежуточные этапы своей работы или завершение крупных проектов. Также в прессе размещалась информация о проведении крупных научных форумов, в которых участвовали ученые КФ АН. Авторами статей выступали ученые, которые являлись непосредственными участниками описываемых событий, что позволяет говорить о высокой степени достоверности публикуемого материала.

Рассмотренные источники, освещая разнообразные, нередко весьма сложные, противоречивые и неоднозначные процессы, представляют информативно богатый корпус источников для проведения комплексного изучения истории развития академического центра в указанный период. Дополняя друг друга, они составляют вполне репрезентативную источниковую базу и позволяют говорить о том, что значение научных направлений и исследований было велико не только для региона, но и выходило за его рамки. Кольский филиал АН СССР стал главным научным центром региона, разрабатывавшим проблемы развития производительных сил.

Список литературы

1. Горбунов Г.И., Сидоренко А.В. Задачи научных исследований на Кольском полуострове // Известия Карельского и Кольского филиалов АН СССР. 1957. № 1. С. 62 – 71.

2. Котельников В.А. 60-летие образования Союза ССР и развитие советской науки // Вестник Академии наук СССР. 1983. № 4. С. 9 – 21.

3. Лахтин Г.А. Организация советской науки: история и современность. М.: Наука, 1990. С. 10.

4. В.И. Ленин, КПСС о развитии науки. М.: Политиздат, 1981. С. 279, 410, 413.

5. О пересмотре сети учреждений Академии наук СССР // Вестник Академии наук СССР. 1953. № 5. С. 76.

6. Об установлении для филиалов и научно-исследовательских баз АН СССР единого наименования «Филиалы Академии наук СССР» // Вестник Академии наук СССР. 1949. № 11. С. 96

7. Фугзан М.Д. Юбилейная научная сессия Кольского филиала им. С.М. Кирова АН СССР // Известия Карельского и Кольского филиалов АН СССР. 1958. №. 2. С. 181-183.

Архивные материалы

8. Государственный архив Мурманской области. Ф. П-1. Оп. 6. Д. 256. Л. 135

9. Государственный архив Мурманской области. Ф. П-1. Оп. 6. Д. 256. Л. 138

10. Государственный архив Мурманской области. Ф. П-1. Оп. 11. Д. 995. Л. 14 – 15.

11. Научный архив КНЦ РАН. Ф. 1. Оп. 6. Д. 123.

12. Научный архив КНЦ РАН. Ф. 1. Оп. 6. Д. 123. Л.1.

13. Научный архив КНЦ РАН. Ф. 1. Оп. 6. Д. 129. Л. 2.

14. Научный архив КНЦ РАН. Ф. 1. Оп. 6. Д. 158. Л. 61.

15. Научный архив КНЦ РАН. Ф. 1. Оп. 6. Д. 160. Л. 11.

16. Научный архив КНЦ РАН. Ф. 1. Оп. 6. Д. 177. Л. 44 – 47.

17. Научный архив КНЦ РАН. Ф. 1. Оп. 6. Д. 178. Л. 53.

18. Научный архив КНЦ РАН. Ф. 1. Оп. 6. Д. 182-а.

19. Научный архив КНЦ РАН. Ф. 1. Оп. 6. Д. 184-а. Л. 88-100.

20. Научный архив КНЦ РАН. Ф. 1. Оп. 6. Д. 185. Л. 408.

21. Научный архив КНЦ РАН. Ф. 1. Оп. 6. Д. 205.

«ЛЮДИ ТАМ ЖИЛИ»: «ТИЕТТА» ГЛАЗАМИ ЕЕ ОБИТАТЕЛЕЙ

Е.Б. Халезова[1], Е.И. Макарова[1], А.К. Шпаченко[3]
[1] г. Москва
[2]Научный Архив Кольского НЦ РАН, г. Апатиты, makarova@admksc.apatity.ru
[3] Геологический институт Кольского НЦ РАН, г. Апатиты, ark@geoksc.apatity.ru

«Тиетта» (1932-1941). Художник В.В. Капитонов.

Хибинская исследовательская горная станция «Тиетта» под руководством акад. А.Е. Ферсмана 20 июля 1930 г. стала «первой ласточкой» в системе научных учреждений Академии наук в условиях ускоренных темпов развития производительных сил и освоения природных ресурсов северных окраин России. Весь предвоенный советский период «Тиетта» служила организующим центром всех научных работ, проводимых Академией Наук на Кольском полуострове, вписав свое слово в анналы отечественной истории XX века успешными результатами научных исследований и их практическим воплощением – рождением крупного промышленного и оборонного комплекса на Европейском Севере России. В ходе большой кампании по реорганизации академической науки в СССР в конце 1920-х – первой половине 1930-х гг. рождение ХИГС АН СССР стало принципиально новой формой научной работы на неосвоенных окраинах России – так Академия наук отстаивала право на статус главного научного учреждения страны, опасаясь обвинений «в оторванности от жизни» и «кастовой замкнутости».

Станция начинала свое существование в наскоро построенном деревянном доме из двух комнат. Одна из них, меблированная длинным деревянным столом и скамьями, служила рабочим кабинетом, столовой или конференц-залом по необходимости, а другая стала лабораторией, где химик-аналитик Ломоносовского института АН СССР Ирина Дмитриевна Борнеман-Старынкевич анализировала собранные геологами за время летних экспедиций в Хибинах минералы. Она – из самых стойких и отважных «ферсманянок» хибинской эпопеи, прие-

На берегу озера Малый Вудъявр слева от большого дома Хибинской Горной станции стоит баня. Выше бани - слева направо располагались: столярная мастерская, гараж и рядом конюшня, дальше маленький сарайчик. Длинный одноэтажный дом – это барак, в котором жили рабочие.

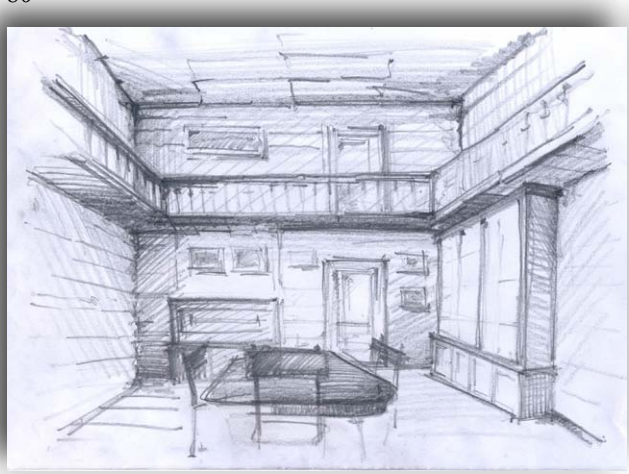
хала в июле 1930 г. в Хибины, сначала в командировку, а двумя годами позже, когда весной 1932 г. завершилась постройка основного здания «Тиетты», организовала первую в мировой научной практике полевую химическую лабораторию. С ней приехали на Север и двое ее детей – восьмилетняя Женя и шестилетний Юра. Много лет спустя Женя – Евгения Борисовна Халезова – в своих мемуарах «Дорога длиною в жизнь» посвятила этим годам отдельную главу «Хибины – сказочная страна моего детства». Ее рассказ позволяет увидеть «человеческое лицо» истории освоения Европейского Севера в череде повседневных будней обитателей «Тиетты». Вот как это было…

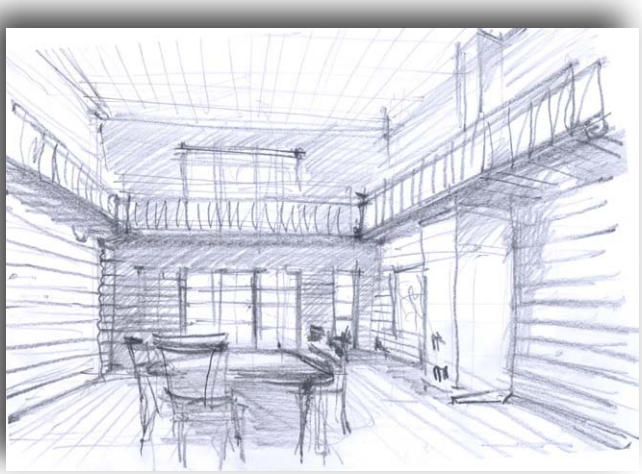
«…Тридцать шесть часов езды на поезде от Ленинграда, и мы высаживаемся на маленькой станции Апатиты; там нас ждет лошадь, запряженная в телегу. Нам предстоит проехать тридцать километров. Грузим свои тюки, чемоданы и отправляемся в путь. На расстоянии девятнадцати километров от станции начинаются Хибинские горы, где на берегу озера Большой Вудъявр расположен город Хибиногорск, который поначалу так и назывался «Девятнадцатый километр». В то время он был небольшим и состоял из одноэтажных и двухэтажных бревенчатых домов. В шести километрах от города находится рудник «Апатитовая Гора» (или «Двадцать пятый километр», считая от станции Апатиты), к которому и отправилась наша повозка, но не доезжая его у большого камня резко свернула налево, на прямую, как стрела, пустынную дорогу, которая привела нас к морене. Перед мореной налево мост через речку Вудъяврйок и за ним территория первого, созданного за полярным кругом, Полярно-альпийского ботанического сада, а выше на пригорке туристическая база ОПТЭ[1]. Едем мимо нее; дальше дорога идет среди леса, становится извилистой, и мы медленно ползем вверх. Тут еще местами лежит снег. С морены открывается вид на гору с округлой вершиной под названием Поачвумчорр, что в переводе с лопарского означает «гора при оленьей долине». Под горой живописное озеро с изрезанными берегами. Это Малый Вудъявр. А на берегу озера у подножия горы, под нависшими скалами, возвышается трехэтажное деревянное здание необычной архитектуры с вышкой, на которой развевается красный флаг. Дорога серпантином побежала вниз, потом выпрямилась; еще один километр и мы подкатили к дому», - описывает первое яркое впечатление хибинского детства Евгения Борисовна Халезова, выбравшая профессию геолога [1]. «Официально здание Хибинской горной станции было открыто в апреле, а мы, приехав в июне, вселились в него только в июле, т.к. внутренняя отделка была еще не готова, и мы жили целый месяц в бараке, предназначенном для рабочих» [2].

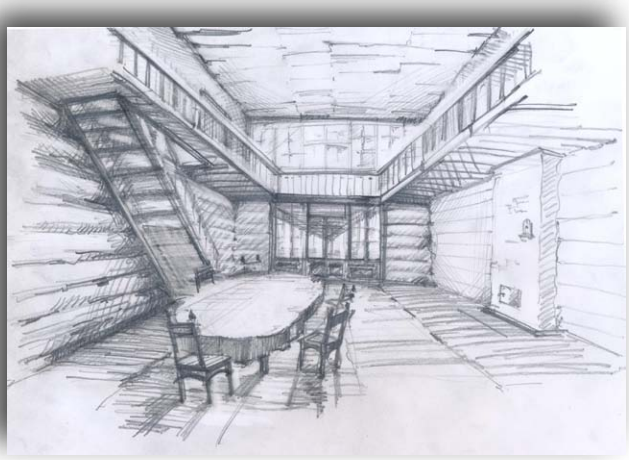
Вид «Тиетты» сзади. Фото из семейного архива И.Д. Борнеман-Старынкевич - Е.Б. Халезовой. Справа - жилой «барак», где жили рабочие, «сезонные» жильцы Тиетты и В.Ю. Фридолин, который занимал комнату в торце постройки.

«…Он был совершенно необычной архитектуры – с холлом высотой в два этажа, над которым на уровне второго этажа была круговая балюстрада; на нее выходили двери жилых комнат – наших и Александра Евгеньевича Ферсмана. Посреди холла большой овальный стол, покрытый зеленым сукном. Слева от входной двери – фисгармония, принадлежащая доктору Баннер-Фохту, иногда приезжавшему к нам откуда-то. У правой стены – камин и дверь в библиотеку, все книги которой были подарены «Тиетте» Александром Евгеньевичем. Напротив входа двустворчатые стеклянные двери, ведущие на большую веранду треугольной формы, служившую красным уголком, где на столе были разложены очередные номера научных журналов и газеты. Из холла налево, как на первом этаже, так и с балюстрады второго этажа, тянулись длинные коридоры, с левой стороны которых были большие окна, а с правой: на первом этаже – минералогический музей, химическая лаборатория и в торце кори-

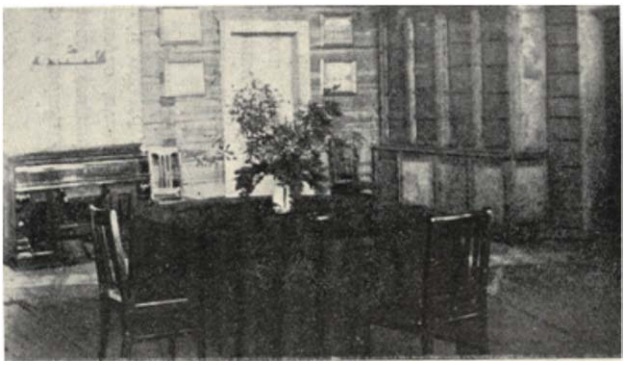
[1] ОПТЭ – Общество пролетарского туризма и экскурсий.





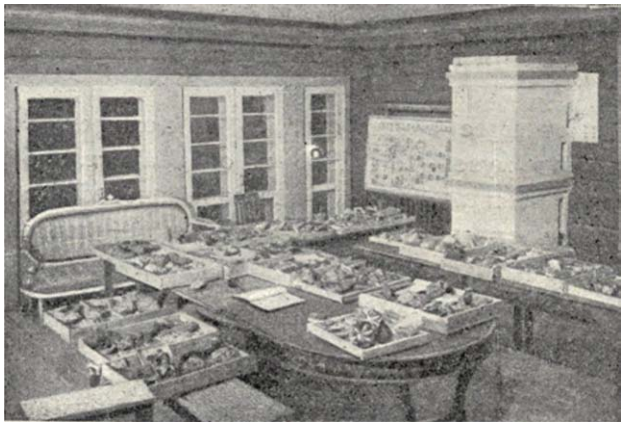


Рисунки выполнены И. Халезовым по описанию Е.Б. Халезовой (май, 2009, семейный архив Е.Б. Халезовой - И.Д. Борнеман-Старынкевич). Публикуются впервые.

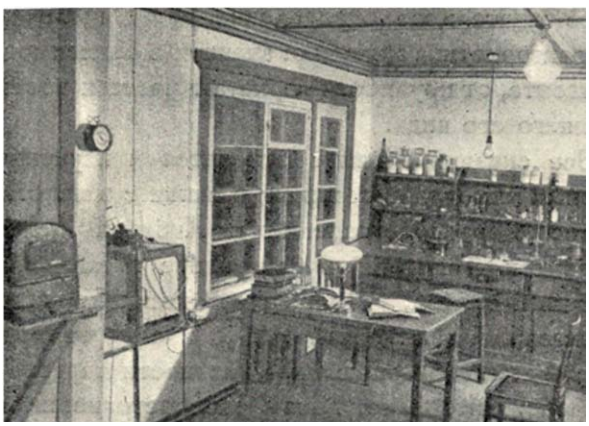


Зал заседаний (холл) Горной станции.

Красный уголок Горной станции.



Выставка минералов в холле.



Лаборатория горной станции.

Фото из книги «Хибинская Горная станция», М.: Изд-во АН СССР, 1934.

дора большая веранда – это летняя столовая; на втором этаже – несколько жилых комнат, зимняя столовая, большая химическая лаборатория и весовая. Из всех помещений второго этажа были двери, выходящие на длинный балкон, вытянутый вдоль всего фасада здания. Над холлом размещался третий этаж, где было всего две комнаты, а над ними смотровая площадка и вышка с флагштоком, на котором развевался красный флаг» [3]. Эта оригинальная по архитектурному замыслу постройка, названная академиком Н.В. Беловым «деревянным дворцом», гостеприимно принимала почти все экспедиции предвоенного времени, предпринимаемые на Кольский полуостров.

«…Откуда взялось название нашей Горной станции? Ведь сначала в любом разговоре, когда заходила речь об этом здании, произносилось только «Горная станция». Например: «Когда приедете на Горную станцию?»; «Вечером я буду на Горной станции». Ну, и так далее. У меня осталось в памяти такое: как-то вечером, в свой весенний приезд Ферсман, сидя за самоваром с немногочисленными зимними обитателями нашего дома и попивая чай, предложил: «А давайте назовем нашу Горную станцию «Тиеттой». Ведь по-лопарски это означает «наука», то есть то, чем мы все здесь занимаемся. Это предложение было принято единогласно. Так и появилось это мудрёное слово «Тиетта» сначала в шутку, а потом и всерьёз» [4].

Открытие нового здания Станции было приурочено к важному событию – впервые на Кольском Севере в течение нескольких апрельских дней 1932 г. под эгидой Научно-исследовательского сектора народного комиссариата тяжелой промышленности (НИС Наркомтяж) проводилась Первая Полярная конференция. Она стала важнейшим научным и стратегическим мероприятием, наметившим направления будущего развития горнорудного и горно-химического производства на Кольском полуострове, а также промышленного и гражданского строительства, энергетики, коммуникаций, заполярного сельского хозяйства и многих других новых направлений экономики края. Основная идея Конференции – о необходимости создания на Кольском полуострове системы взаимосвязанных горнорудных и металлургических предприятий, обеспечивающих рациональное использование минеральных ресурсов Кольского Севера, актуальна и сегодня.

«…Здесь будет, прежде всего, Центральная научная библиотека, около 10 тысяч томов, в основу которой положена моя библиотека, преимущественно освещающая геологию полярных стран, геологию Норвегии, Швеции, с одной стороны, Канады – с другой и технологические процессы. По химической технологии мы имеем библиотеку в несколько тысяч томов. Далее будет следовать лаборатория, которая из всего многообразия вопросов будет заниматься двумя вопросами: 1) нефелина и 2) редких элементов, по отношению к которым последнее слово еще не сказано… Дальше, у нас в доме будет в верхнем этаже отдельная лаборатория физико-химического анализа, геохимическая лаборатория, минералогическая и петрографическая. Таким образом, второй этаж будет заключать соответствующие ячейки исследовательских институтов Академии наук. 3-й этаж отводится для третьей задачи. Нужно во всей широте поставить ряд гидрометеорологических проблем. Пока нами намечена к проведению в жизнь одна идея: одновременная метеорологическая запись здесь подстанции и на вершине Поачвумчорра на 400-метровой высоте. Наблюдения должны производиться одновременно, и на различии записей мы сможем выяснить взаимоотношения метеорологических фактов, которые до сих пор остаются неясными, которые определяют собой как нисходящие, так и сложные восходящие токи, создающие своеобразные условия местности и характеризующие собой структуру климата Хибин. Эта задача будет выполняться нашей метеорологической станцией. Таковы наши отдельные задания. Они, конечно, будут расширяться и развиваться», - так представлял будущее «Тиетты» ее создатель акад. А.Е. Ферсман [5]. До реализации предполагавшейся постройки отдельного жилого дома рядом с «Тиеттой» её немногочисленные обитатели и переменно-постоянные «постояльцы» вели совершенно особенную жизнь, где тесно переплетались романтика экспедиционных маршрутов и будни научной работы с решением бытовых проблем выживания людей в условиях Заполярья.

Тиетта. Елена Павловна Кесслер у клумбы.
За ней – склоны г. Кукисвумчорр. 1933-34 гг.

Среди обитателей Горной станции особое место, безусловно, принадлежит акад. А.Е. Ферсману. «… Огромный жизнерадостный Александр Евгеньевич Ферсман был вездесущ. Его голос гремел то тут, то там, отдавая указания. Он всех заражал своей увлеченностью Хибинами, любовью к минералам пегматитовых жил, любовью к северной природе. …Самое прекрасное время на севере это март и апрель. Яркое солнце. Сияющий, искрящийся ослепительно белый снег… В это прекрасное время года всегда ждали Ферсмана. Приводили в порядок

Детский ансамбль гусляров в гостях в Тиетте. Акад. А.Е. Ферсман в окружении сотрудников и гостей. (Химики: 1 - И.В. Степанов, 2 - М.А. Степанова, 3 - Авенир Коровкин, ботаник, 4 - П.А. Волков, химик, 5 - А.М. Оранжиреева, 6 - И.Д. Борнеман-Старынкевич, 7 - И.Я. Холмянский, А.В. Клименко, метеоролог.

Сотрудники Хибинской горной станции. В первом ряду с бородкой – зоолог В.Ю. Фридолин, слева от него лаборантка Зина, справа, на переднем плане – Е.П. Кесслер, затем химик В.С. Быкова, А.М. Оранжиреева и И.Д. Борнеман. Сзади Оранжириевой стоит ботаник Елизавета Ивановна. Вся молодёжь - это лаборанты и препараторы. На заднем плане снимка озеро Малый Вудъявр. 1932 г. Фото из личного архива Е.Б. Халезовой.

дом. Скребли до блеска его комнату, в которой кроме кровати, стула и стола, было большое уютное кресло. Елена Павловна [Кесслер] строго следила, чтоб все было сделано, как следует. Он приезжал большой, шумный, радостный от встречи с «Тиеттой» и со своими друзьями – соратниками. Привозил нам всегда что-нибудь вкусное. Это особенно запомнилось, так как тридцатые годы были голодными и еда наша обычно состояла из вымоченной соленой трески – уха из нее на первое и котлеты из нее же на второе. Александр Евгеньевич после небольшого отдыха с дороги сразу принимался за осмотр лабораторий, беседовал с химиками, обсуждал с ними результаты их работы, загорался сам и заражал всех новыми идеями» [6].

…Соратниками и учениками А.Е. Ферсмана в Хибинах были: заведующая Горной станции Елена Павловна Кесслер, ученый секретарь Антонина Михайловна Оранжереева (Оранжиреева), минералоги Эльза Максимовна Бонштедт-Куплетская, Екатерина Евтихиевна Костылёва, Николай Александрович Лабунцов, большая и полная, несколько мужеподобная Нина Николаевна Гуткова со своим аспирантом Кузьмой Власовым; петрографы Борис Михайлович Куплетский, очень женственная и всегда нарядная Ольга Анисимовна Воробьева, которая даже в горы ходила на каблуках; химики Ирина Дмитриевна Борнеман, Татьяна Александровна Бурова, Валентина Сергеевна Быкова, Софья Григорьевна Цейтлин; зоолог Владимир Юльевич Фридолин; ботаник Николай Александрович Аврорин, который организовал первый в стране Полярно-альпийский ботанический сад. Постепенно геологические отряды уходили в горы. Оставались химики, ботаники, зоолог В.Ю. Фридолин и на какое-то время некоторые минералоги [7].

…В большом доме оставалось зимой только шесть сотрудников: химики И.Д. Борнеман-Старынкевич, Т.А. Бурова, В.С. Быкова, Ермоленко, заведующая Е.П. Кесслер и ученый секретарь А.М. Оранжереева [Оранжиреева]. Кроме научных сотрудников были еще мы [дети И.Д. Борнеман-Старынкевич – Женя и Юра] с Николавной [няня и долгие годы – член семьи И.Д. Борнеман-Старынкевич], которая выполняла зимой роль поварихи [8].

Елена Павловна Кесслер[2] была первой заведующей Станцией и незаменимой помощницей А.Е. Ферсмана до середины 1930-х гг. «Женщина среднего роста с русыми стрижеными волосами и приветливым характером – всегда живая, деловая» [9]. Благодаря ее самоотверженному труду в условиях бездорожья, отсутствия налаженной связи и элементарных удобств с апреля по июнь 1930 г. был поставлен первый дом Станции, а затем всего за два с небольшим года построено основное здание Тиетты. Елена Павловна была настоящей хозяйкой – всё хозяйство было в её руках: и истопник, и конюх, и плотник, и порядок в доме.

«…Зимой 1932-33 года электричества на Горной станции не было. Освещались керосиновыми лампами и отапливались печами. Вся работа в химической лаборатории велась на бензине и керосине при помощи бартелей и примусов. Вечерами все собирались в маленькой зимней столовой на втором этаже. Николавна подавала нам ужин. После ужина долго сидели за самоваром, который создавал уют своими песнями, рассказывали истории из своей жизни. Потом нас, детей, отправляли спать, а сами еще долго сидели, обсуждая свои дела и планы. Самые темные месяцы в Хибинах ноябрь и декабрь. Солнце совсем не появлялось, и только с 11 до 2 часов дня были сумерки, а все остальное время суток – темнота. В лунные дни, когда горы озарялись бледным голубоватым светом и казались сказочными, я выходила из теплого дома, прикрепляла к валенкам лыжи и погружалась в волшебство полярной ночи. Кругом ни души. Я одна среди этой величественной красоты. Небо сине-черное, усыпанное мелкими бриллиантиками звезд; в необъятном воздушном океане медленно плывет золотая луна. А под этим высоким куполом сказочная страна моего далекого детства – горы, горы... Надо мной высится Поачвумчорр, на другой стороне долины, за озером Малый Вудъявр – гора Тахтарвумчорр, верхнюю часть которой прорезает V-образное ущелье Географов, обрывающееся в цирк, похожий на огромное кресло, в котором когда-то в доисторические времена сидел древний седой старик и назывался он Ледником. Хотелось все это запечатлеть на бумаге, но таланта Бог не дал…» [10].

Прошли годы, и тексты все же легли на бумагу – в виде воспоминаний, пронесенных по дороге длиною в жизнь… А в них особое место – о Хибинах, «Тиетте», людях, живших и работавших там. «… В конце 1933 года при Хибинской горной станции заработала маленькая электростанция. В обоих домах зажглись лампочки, над входом в дом загорелся фонарь, лаборатория стала работать на электрических приборах. День и ночь стучал надоедный движок... Одновременно с электричеством появилось паровое отопление, и теперь не надо было топить печи. Появились новые сотрудники: молодые химики супруги Игорь Викторович и Мария Акимовна Степановы; метеоролог Клименко, с неизменной тюбетейкой на лысой голове и с остренькой бородкой, почему-то напоминавший по виду Мефистофеля, а по сути – человека в футляре. Он был всегда аккуратен, при галстуке, застегнут на все пуговицы, с тетрадкой подмышкой, в которой он точно по часам в любую погоду шел на свою маленькую метеостанцию и записывал в нее данные о температуре, атмосферном давлении, влажности и направлении ветра. С его появлением началось изучение климата горных районов Кольского полуострова. Географ Николай Михайлович Каратаев, солидный мужчина средних лет с полуседой пышной шевелюрой и такой же бородой. Он сидел за развернутой картой – о чем-то размышлял и что-то помечал на ней. А в долгие зимние вечера, когда все обитатели большого дома собирались в столовой за самоваром, рассказывал увлекательные истории о своих

---

[2] О Е.П. Кесслер, О.А. Воробьевой и А.М. Оранжиреевой см.: Макарова Е.И., Шпаченко А.К. Феи деревянного дворца на озере Вудъявр. О сотрудницах «Тиетты». 1920-1930-е гг. // Петрология и минерагения Кольского региона. Тр. V Всерос. Ферсмановской научн. сессии, посв. 90-летию со дня рожд. д.г.-м.н. Е.К. Козлова. Апатиты, 14-15 апр. 2008 г. Апатиты: Изд-во К & М, 2008. С. 52-57.

многочисленных путешествиях по стране. Высокий, красивый с вьющимися волосами экономист Холмянский, поселился со своей старенькой мамой на третьем этаже нашего необычного дома. Он почти всегда работал у себя наверху – что-то вычислял и записывал» [11].

Рядом с «Тиеттой» в бараке жили рабочие и приезжающие на лето командированные сотрудники – участники экспедиций. Там же первое время жила И.Д. Борнеман-Старынкевич с детьми. Ей, первому химику и организатору первой химической лаборатории, приближенной к полевым условиям Хибин, по праву принадлежит особое место среди постоянных жительниц «Тиетты». И не только потому, что она в числе первых откликнулась на призыв акад. А.Е. Ферсмана – бросив «насиженное» и надежное место в Ломоносовском институте в Ленинграде, поменяла его на экстремальность Заполярного Севера. Она удивляет своим человеческим подвигом как единственная мать двоих детей, не побоявшаяся взять их с собой в Заполярье и доказавшая своим примером, что в условиях Севера можно жить, работать, растить детей и быть счастливой.

«…Я быстро перезнакомилась со всеми жильцами барака. В основном это были ссыльные раскулаченные крестьяне с Украины и Эстонии: рыжебородый украинец столяр дядя Павел, любивший детей и подаривший потом нам с Юрой чудесную, пестро раскрашенную ветряную мельницу и санки-ледянки; семья эстонцев с маленьким сыном по имени Калью, который скоро, в возрасте 2.5 лет, умер от менингита; истопник Бауман интеллигентного вида, конюх дядя Петя, в распоряжении которого были две лошади: рыжий конь по имени Петух и серая в яблоках кобыла с величавым именем Клеопатра; почти не говорившая по-русски эстонка Линда, ставшая препаратором у мамы в химической лаборатории. Все это были очень милые и добрые люди» [12].

Ольга Анисимовна Воробьева (1903-1974 гг.) – первый ученый секретарь «Тиетты» и «первая фея деревянного дворца на озере Вудьявр» (см. сноску 2), как её «окрестил» в свое время академик Н.В. Белов[3] [13]. «… Очень женственная всегда нарядная О.А. Воробьева, которая даже в горы ходила на каблуках и вместе с тем – очень знающий петрограф, требовательная, умела организовать работу в отряде» [14]. «С наступлением осени все отряды собирались на Горной станции, и перед отъездом сотрудников в Ленинград устраивалась отчетная конференция и прощальный бал. Приглашались из Хибиногорска повара. Целый день из кухни доносились соблазнительные запахи, а к вечеру в холле накрывался большой стол и начиналось веселье**.** Ольга Анисимовна Воробьева и моя мама, Ирина Дмитриевна Борнеман-Старынкевич, заключили пари, кто быстрее сошьет себе бальное платье из цветастых головных платков. Мама опередила Ольгу Анисимовну, но зато у той платье было ярче и выглядело более эффектно. Премии получили обе – одна за скорость исполнения, другая за изящество. А потом Ольга Анисимовна в этом платье виртуозно исполнила танец на столе среди рюмок, не уронив ни одной из них» [15]. Чтобы портрет этой не только обаятельной, но и научно «продуктивной» женщины был полным, следует, видимо, пояснить, что в дальнейшем Ольга Анисимовна стала общепризнанным специалистом в петрографии. Кандидат (1935), затем доктор геолого-минералогических наук (1943) и лауреат Премии имени С.М. Кирова за минералого-петрографические исследования щелочных массивов Кольского полуострова (1947), она посвятила ему более 20 лет своей научной деятельности [16].

После отъезда О.А. Воробьевой «штатным» и постоянно проживавшим на «Тиетте» ученым секретарем стала А.М. Оранжиреева (1897-1960) - «очень худенькая, изящная женщина среднего роста, остроумная, очень интеллигентная, живая. Русые прямые волосы собраны в пучок ниже затылка» (см. сноску 2) [17]. Кроме заслуги по организации первого научного архива на Кольской базе ей по праву принадлежит звание первого летописца Кольской эпопеи: она оставила свой след в истории освоения Кольского Севера как автор научного труда «Работа Академии наук СССР и социалистическое строительство на Кольском полуострове» (1936). В отличие от других «жильцов» «гостеприимного дома» в Хибинах, уехав в отпуск в ноябре 1936 г. с последующим увольнением по окончании отпуска с 28 января 1937 г. с мотивировкой «по состоянию здоровья», она больше сюда не возвращалась. Ее дальнейшая, полная тайн и драматизма жизнь весьма схематично прослеживается в контексте исследований жизни и творчества ее великой подруги Анны Ахматовой в 1940-х гг. и далее, но это уже другая история…[18].

«… А еще в бараке, в торцовой его части с отдельным входом, в маленькой комнатке жил зоолог Владимир Юльевич Фридолин, впоследствии ставший моим большим другом. Это был маленький, похожий на гнома человечек с глубокой проседью в длинных кудрях и бороде, с добрыми голубыми лучистыми глазами, ласково смотрящими на мир сквозь очки. Он ходил всегда в спецовочном сером костюме и в рубашке косоворотке. Брюки заправлены в большие кирзовые сапоги, а на голове панама серого цвета с маленькими полями, похожая на колпак гнома. Владимир Юльевич изучал комаров и подолгу мог наблюдать, как они пьют кровь, сидя у него на руке. А потом он их сушил, рассматривал в бинокуляр и микроскоп. За это его в шутку прозвали комариным королем» [19]. Этот похожий на сказочного лесного эльфа человек прожил немногим более шестидесяти лет, но – как! В 22 года за участие в бурной сходке В.Ю. Фридолин был исключен из Петербугского университета. И с 1900 по 1917 гг. на целых восемнадцать лет он связал свою жизнь с революционным движением, вступив в члены РСДРП.

---

[3] Белов Николай Васильевич (1891-1982). Акад. АН СССР. Геохимик. Кристаллограф. Один из основоположников отечественной структурной минералогии, организатор кристаллографических музеев в Москве и Ленинграде. Сотрудник Ломоносовского института (Ин-та кристаллографии АН СССР) в 1930-е гг. в г. Ленинграде. Профессор Горьковского (1946) и Московского (1953) ун-тов. Председатель Национального комитета советских кристаллографов (1955), президент Международного союза кристаллографов (1966-1969).

Аресты, ссылки, каторга, побеги, партийные съезды и конференции, революционные баррикады и уличные бои, III съезд партии в Лондоне, декабрьское восстание в Петрограде, конференция РСДРП в Томмерфорсе (Финляндия), ссылка в Сибирь, побег через Манчжурию во Францию, активная работа в Париже, Гренобле, Савойе… За рубежом В.Ю. Фридолин умудрялся сочетать революционную деятельность с изучением истории и энтомологии. В Сибири, в Савойских Альпах, в Пиренеях – везде, куда его забрасывала судьба, он собирал материалы для будущих научных работ и даже прослушал лекции в Гренобльском университете.

Приняв участие в массовых манифестациях в день открытия Учредительного собрания в Петрограде в 1917 г., В.Ю. Фридолин внезапно прекратил революционную деятельность, объясняя свое решение пошатнувшимся здоровьем: «Восемнадцать лет революционной борьбы и каторга сделали свое дело», - и целиком отдался научной работе. Закончил Петроградский Географический институт (1918-1922), читал лекции по «биоценологии» (1925). Побывав на Кольском полуострове в 1923 г., В.Ю. Фридолин вернулся в Хибины в 1931 г. и возглавил на «Тиетте» зоогеографический отдел по изучению кровососущих насекомых Кольского Севера. Результатом стал фундаментальный научный труд «Животно-растительное сообщество горной страны Хибин» (1936), список фауны Кольского полуострова, а также ряд научных статей. В.Ю. Фридолин был уволен с Кольской базы 1 марта 1938 г. как «невозвратившийся из поездки в г. Ленинград и не поставивший в известность о своих работах, а также не представивший отчета о своей работе в Ленинграде…» [20]. «…Мы с ним и после того, как мы с мамой уехали из Хибин, были очень дружны и переписывались, находили общий язык, несмотря на огромную разницу в возрасте (я - подросток, он - старик). В войну я его потеряла. Фридолин умер в Ленинграде в блокаду, но точно я не знаю когда. Наша семья была в эвакуации. Письма из Ленинграда туда почти не доходили. Моя тетя (мама моих сестер, которых потом удочерила моя мама) погибла, кажется, в феврале 1942 года. Об этом мы узнали намного позже. Думаю, что и Владимир Юльевич погиб тоже в начале 1942 г. Он был одиноким и не очень приспособленным к жизни. Заботиться о нем было некому.[4] На Пискаревском кладбище в Ленинграде братские могилы погибших от голода датированы, насколько я помню, в основном 1942 и 1943 гг. Мне думается, что он продержался недолго» [21]. 31 августа 2009 г. исполняется 130 лет со дня рождения В.Ю. Фридолина.

«…В апреле 1934 года в Хибины приехала съемочная группа, чтобы снимать кинокартину «Семеро смелых». В долине Кукисвум, в одном километре от нашего дома, построили маленькую деревянную избушку. Я бегала на лыжах смотреть на съемки и перезнакомилась там со всеми артистами. Потом они замерзшие приходили к нам, мама поила их горячим чаем с черничным и брусничным вареньем, и они долго сидели, отогреваясь; рассказывали о себе, расспрашивали о нашей жизни в снегах. При этом Олег Жаков был очень серьезен, Петр Алейников балагурил, а молодая красивая Тамара Макарова была оживлена, улыбалась и спрашивала маму: « Как же вы рискнули приехать с детьми в такую глушь?» … А вот другие, исторически значимые события, очевидцев которых уже не осталось. «…1934 год. Осень. В середине сентября здесь [в т.ч. и на «Тиетте»] должен состояться Менделеевский конгресс. К нему тщательно и долго готовились: подбирали коллекции минералов, писали этикетки, раскладывали по лоткам, в холле развешивались демонстрационные таблицы и геологические карты, на которые я с любопытством взирала с балюстрады второго этажа. Накануне приезда гостей из хибиногорского ресторана приглашались повара, которые мудрили над торжественным обедом. … И вот наступил торжественный день. Горная станция встречала именитых гостей. Среди них были: академик Владимир Иванович Вернадский, академик Николай Семенович Курнаков, писатель Алексей Толстой и много других известных людей и ученых из Академии наук. Часть гостей разместилась в «Тиетте», а часть на турбазе ОПТЭ, и их привозили по утрам на заседания на машинах. Из Хибиногорска приезжали работники гортреста «Апатит». Было поставлено много геологических докладов. Мама [И.Д. Борнеман-Старынкевич] тоже делала доклад с демонстрационными таблицами о геохимическом изучении минералов Хибинского массива, в процессе которого тонкими химическими анализами был установлен ряд новых минералов, содержащих редкие земли… После окончания заседаний стол освобождался, накрывался белой скатертью, на которой появлялись разные вкусные блюда, и начинался пир. Ферсман на этих торжествах всегда был весел, много смеялся и острил» [22].

Было много других событий – иногда трагикомичных, иногда просто удивительных. Так, запомнилось смешное для нас, но чуть было не трагическое – для сотрудника «Тиетты» химика Ермоленко, решившего как следует загореть в один из погожих весенних дней в безлюдных окрестностях «Тиетты». Доверившись теплому дню, он «…одежду повесил на кустик и покатил на быстрых гоночных лыжах под ласкающими лучами теплого солнца, оставив на себе лишь лыжные ботинки да темные очки. … Было легко и приятно. Но вдруг ветерок стал крепчать. Ермоленко ощутил некоторый холод и повернул обратно, чтоб одеться. Вот и тот куст, где он оставил одежду. Куст был на месте, только ветер гнул его к земле и кругом мела поземка, а одежды нигде не было – их унес беспощадный ветер неведомо куда… Что было делать бедному, несчастному Ермоленко в такой ситуации? Не идти же нагишом к людям средь бела дня. Солнце скрылось в тучах, которые принес ветер, мороз – градусов пятнадцать, но, тем не менее, рискуя замерзнуть, он продолжал бегать на лыжах, пока не стемнело… После такого лихого катания пришлось этого незадачливого лыжника напоить спиртом, чтоб не свалился с воспалением легких…». «…Запомнилось мне еще одно событие, произошедшее то ли в марте, то ли в апреле этого [1934] года. Из далекого Ловозера на двух оленьих упряжках к нам приехали лопари со своими домочадцами

---

[4] Его родители и сестра умерли в Петрограде в 1919 г. во время эпидемии тифа, женат не был, детей не имел.

и привезли оленину, мороженую рыбу, меховые пимы и шапки с такими длинными ушами, что их можно было обмотать как шарф вокруг шеи. По дороге, на озере они попали в полынью. Нарты ушли под воду вместе с завернутым в шкуры грудным ребенком. К счастью, рванувшие вперед олени вытянули нарты, и ребенок не успел захлебнуться. Кричащему малышу родители влили в ротик глоток водки, и он моментально уснул. Пока добрались до нас, прошло несколько часов. Малицы на взрослых и подростках были как ледяные панцири и стояли колом, шкуры, служившие одеялом маленькому, тоже. Усы и брови на обветренных красных лицах покрыты инеем, белки глаз кроваво-красные от яркого весеннего солнца. Их сразу провели на кухню, где жарко топилась плита. Там развернули ребенка, растерли водкой, хлебнули ее в изрядном количестве сами. Мать накормила младенца своим молоком. Они просушили свою одежду и все, к нашему удивлению, остались живы и здоровы. Прожили наши новые знакомые у нас два дня и мы расстались с ними до будущего года».

А вот другой удивительный случай из жизни Хибин: «В один из своих приездов Ферсман с несколькими работниками треста «Апатит» и с моей мамой [И.Д. Борнеман-Старынкевич] уехали на оленях с лопарями куда-то в тундру. Через несколько дней, когда они вернулись, мама рассказывала, что на берегу одного из многочисленных озер, среди бескрайних снежных просторов стоит одинокий дом. В нем живет вполне интеллигентная семья, состоящая из мужа, жены и их двоих сыновей подросткового возраста. В доме большая библиотека. Дети, так же, как и я, учатся дома. Чтобы прокормить себя, эта семья занимается промыслом рыбы и куропаток, летом сажают картошку; есть у них какие-то запасы муки и круп. Радио нет, и они ведут жизнь отшельников, совершенно ничего не зная о том, что творится в мире. Но они довольны своей жизнью. Только непонятно, почему власти не преследовали их. В то время, если человек официально не числился на государственной службе, то это считалось тунеядством, преступлением. За это сажали в тюрьму или отправляли в ссылку. Наверное, просто никто не знал об их существовании. Эти люди очень приветливо встретили Ферсмана со всей его компанией. Мама разговорилась с хозяйкой дома и с удивлением узнала, что и она сама, и ее сыновья знают наизусть всего «Евгения Онегина» и многие сказки Пушкина, и «Демона» Лермонтова и еще много, много того, чего не знают школьники…» [23].

«В сентябре 1935 года мы должны уезжать из Хибин. …Поезд на Ленинград отходил в пять часов утра. Поэтому мы с вечера отправились на машине в Апатиты к некоему, жившему у самого вокзала, Антонову[5], занимавшему там какой-то солидный пост и не раз приезжавшему к нам на станцию все эти годы и хорошо знавшему маму. Расположившись в его единственной комнате кое-как на раскладушках, диване и креслах, задремали. Но не успели и глаз сомкнуть, как зазвенел будильник. Сонные и не выспавшиеся, потащились с нашими вещами к поезду. Нас провожал Антонов вместе с шофером Ваней. Раздался звонок, и поезд тронулся. Прощайте Хибины, сказочная страна моего детства…

...Во время войны наш дом, наша незабываемая «Тиетта» сгорела. Говорят, ее поджег какой-то злоумышленник. Позже, когда я студенткой была в Хибинах в экспедиции, и мы шли маршрутом в северную часть массива на озеро Пайкунъявр, наш путь пролегал мимо Малого Вудъявра. На берегу, где некогда стояла красавица «Тиетта», остался лишь фундамент, заросший травой и вереском. Я бродила по тому месту, где когда-то были лаборатории, прекрасный минералогический музей, богатая библиотека, наша детская, мамина комната, комната Ферсмана, а между ними – холл с высоким потолком, и тихо плакала горькими слезами…» [24].

Вместо «Эпилога»… Так случилось, что я снова побывала в местах своего далекого счастливого и незабываемого детства – и опять благодаря «Тиетте» и, наверное, папе. «…Июнь тысяча девятьсот сорок первого года. Окончен девятый класс… Я еду в Киев повидаться с папой перед тем, как он отправится в геологическую экспедицию. Мой папа, Борис Андреевич Борнеман, был сотрудником Геологического института Украинской Академии наук. Мы говорили с папой о прочитанных книгах, о моём будущем. Он хотел видеть меня писателем или врачом, считая, что это самые благородные профессии. Любя меня, папа всегда переоценивал мои возможности, и вот какую надпись сделал он в 1938 году на подаренной мне книжке Паустовского «Кипренский»: «Моей милой белочке Женюрке с пожеланием писать не хуже. Ласточка моя! Крылья у тебя уже подрастают. Нужно учиться взмахам, и полет ввысь тебе обеспечен. Главное – длительность полета. Попробуй и узнаешь, сколь сладостно пером пробуждать в людях лучшие чувства, особенно среди детей. Папа.» …Поезд отходит днем… - Спасибо тебе, Женюрка, за то, что приехала. Не забывай меня, - как будто прощаясь навсегда, говорит он. Мне были странны эти слова, и стало почему-то очень грустно, хотя я, конечно, не думала в те минуты, что мы никогда больше не увидимся. Поезд тронулся. Папа идет вдоль вагона и машет мне рукой. Паровоз набирает скорость, и мы расстаемся ... навсегда» [25].

Когда в далекие «лунные» дни моего детства я буквально «замирала», пораженная величественными пейзажами Хибин – хотела излить распиравшие меня чувства на бумаге, но не могла…, я не знала, что через вереницу лет я все же напишу свою книгу воспоминаний, пронесенных по дороге длиною в жизнь… А в них особое место будет посвящено Хибинам, «Тиетте», людям далеких 1930-х, живших и работавших там…

Моя подруга тайком от меня поместила мои мемуары в Интернет, их прочел на далеком Кольском Севере

---

[5] Антонов Леонард Борисович (1896-1985). Геолог-разведчик. Почетный гражданин г. Кировск Мурманской обл. Выпускник Московской горной академии (1929). Начальник Хибинской разведочной партии НИУ в 1929-33 гг., проводившей разведку Кукисвумчоррского месторождения апатита, главный инженер Конторы Новопромапатит (1933-35), главный геолог ГРБ треста «Апатит» (1936).

проф. Ю.Л. Войтеховский и пригласил меня от имени Кольского отделения РМО на Ферсмановскую научную сессию. И вот я снова, уже на склоне лет, окажусь в сказочной стране моего детства – все такой же прекрасной, наполненной весенним солнцем и приветливыми улыбками гостеприимных геологов.

Список литературы

1. Халезова Е.Б. Хибины – сказочная страна моего детства. Дорога длиною в жизнь // http://www.memoirs.boom.ru/index.html

2. Из письма Е.Б. Халезовой к Е.И. Макаровой от 16 мая 2009 г. Научный архив КНЦ РАН.

3. Халезова Е.Б. Хибины – сказочная страна моего детства. Дорога длиною в жизнь // http://www.memoirs.boom.ru/index.html

4. Из письма Е.Б. Халезовой к Е.И. Макаровой от 5 мая 2009 г. Научный архив КНЦ РАН.

5. Научный архив КНЦ РАН. Ф. 1. Оп. 6. Д. № 9. Л. 2.

6-12. Халезова Е.Б. Хибины – сказочная страна моего детства. Дорога длиною в жизнь // http://www.memoirs.boom.ru/index.html

13. Андреева Е.Д., Кононова В.А., Свешникова Е.В., Яшина Р.М. К 100-летию со дня рождения О.А. Воробьевой. 2003. http://hghltd.yandex.net/yandbtm?url=http%3A%2F%2Fwww.IGEM.ru

14-15. Из письма Е.Б. Халезовой к Е.И. Макаровой от 16 мая 2009 г. Научный архив КНЦ РАН.

16. Ученые Кольского научного центра (1930-2005). Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2006. С. 89.

17. Из письма Е.Б. Халезовой к Е.И. Макаровой от 6 мая 2009 г. Научный архив КНЦ РАН.

18. Макарова Е.И. Первый историк-летописец Кольской эпопеи А.Е. Ферсмана // Тр. Межд. научн. конф., посв. 125-летию со дня рожд. акад. А.Е. Ферсмана. Москва, 10-12 ноября 2008 г. М., 2008. С. 19-21.

19. Халезова Е.Б. Хибины – сказочная страна моего детства. Дорога длиною в жизнь // http://www.memoirs.boom.ru/index.html

20. Архив РАН. Ф. 188. Оп. 2. Д. 9. Л. 1-12.

21. Из письма Е.Б. Халезовой к Е.И. Макаровой от 6 мая 2009 г. Научный архив КНЦ РАН.

22-24. Халезова Е.Б. Хибины – сказочная страна моего детства. Дорога длиною в жизнь // http://www.memoirs.boom.ru/index.html

25. Халезова Е.Б. Перед войной. Дорога длиною в жизнь // http: // www.memoirs.boom.ru/ddvzh04.htm

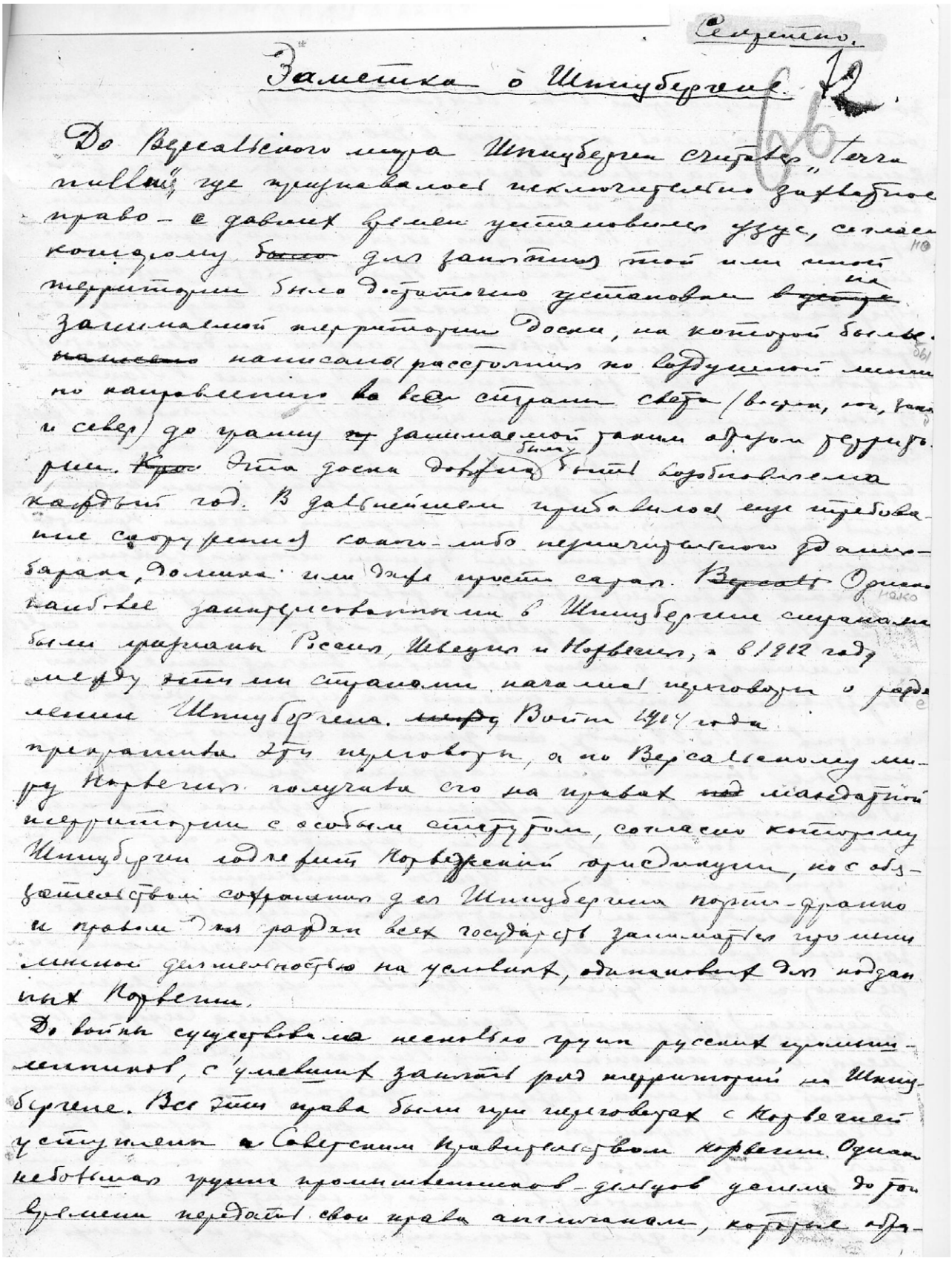
ГОРНЫЙ ИНЖЕНЕР С.Ф. МАЛЯВКИН

А.К. Шпаченко, Ю.Л. Войтеховский
Геологический институт КНЦ РАН, г. Апатиты
e-mail: ark@geoksc.apatity.ru; e-mail: woyt@geoksc.apatity.ru

Кольское отделение РМО последовательно занимается поиском и публикацией материалов по истории геологического освоения региона. Менее всего освещен период 1930-40-х гг. В 1932-33 гг. здесь работало Особое геологическое бюро при Мурманском окружном отделе ОГПУ. В его состав входили весьма квалифицированные специалисты, большей частью горные инженеры и сотрудники Геолкома – выпускники Санкт-Петербургского (Ленинградского) Горного института. О некоторых из них мы уже писали [9]. Далее публикуются материалы о С.Ф. Малявкине в связи с его недавно обнаруженной «Заметкой о Шпицбергене» (рис.). Она интересна нам потому, что государственный интерес России к архипелагу с годами не только не ослабевает, но приобретает новые акценты. Собранные биографические документы позволяют представить образ горного инженера с образованием и опытом, полученными до революции 1917 г. «Заметка…» написана от руки весьма неразборчивым почерком, в оригинале не датирована. Орфография и исправления сохранены, сомнительные места отмечены.

Заметка о Шпицбергене [5]

До Версальского мира Шпицберген считался “terra nullus”, где признавалось исключительно захватное право – с давних времен установился узус, согласно которому ~~было~~ для захвата той или иной территории было достаточно установки ~~в центре~~ на занимаемой территории доски, на которой были бы ~~нанесено~~ написаны расстояния по воздушной линии по направлению во все страны света (восток, юг, запад и север) до границ занимаемой таким образом территории. ~~Кром~~ Эта доска должна была *(“была” – вставка сверху, авт.*) быть возобновляема каждый год. В дальнейшем прибавилось еще требование сооружения какого-либо незначительного здания – барака, домика или даже просто сарая. ~~Вероят~~ Однако наиболее заинтересованными в Шпицбергене странами были признаны Россия, Швеция и Норвегия, а в 1912 году между этими странами начались переговоры о разделении Шпицбергена. ~~Миро~~ Война 1914 года прекратила эти переговоры, а по Версальскому миру Норвегия получила его на правах ~~под~~ мандатной территории с особым статутом, согласно которому Шпицберген подлежит Норвежской юрисдикции, но с обязательством сохранения дел Шпицбергена порто-франко и правом для граждан всех



Секретно.

Заметка о Шпицбергене.

До Версальского мира Шпицберген считался „terra nullius", где признавалось исключительное хозяйственное право – с давних времен установившееся узус, согласно которому для занятия той или иной территории было достаточно установить на занимаемой территории доски, на которой было написано (расстояние по воздушной линии по направлению ко всем странам света (вост, юг, запад и север) до ближайшей земли данной области территории. Эти доски должны были возобновляться каждый год. В дальнейшем признавалось еще требование сооружения какого-либо постоянного домика-барака, домика или хотя просто сарая. Другой Одним наиболее заинтересованным в Шпицбергене странами были признаны Россия, Швеция и Норвегия, а в 1912 году между этими странами начались переговоры о разделении Шпицбергена. Война 1914 года прервала эти переговоры, а по Версальскому миру Норвегия получила его на правах мандатной территории с особым статусом, согласно которому Шпицберген подлежит Норвежской юрисдикции, но с обязательством сохранения для Шпицбергена почти-фронто на правах для граждан всех государств занимающихся промышленной деятельностью на условиях, одинаковых для подданных Норвегии.

До войны существовало несколько групп русских промышленников, с успехом занятых рядом территорий на Шпицбергене. Все эти права были при переговорах с Норвегией уступлены в Советским Правительством Норвегии. Одна небольшая группа промышленников-дельцов удалось до того времени передать свои права англичанам, которые эк-

Первая страница «Заметки о Шпицбергене» С.Ф. Малявкина.
(Согласно официальному заключению, документ не имеет ограничительного грифа - авт.)

государств заниматься промышленной деятельностью на условиях, одинаковых для подданных Норвегии.

До войны существовало несколько групп русских промышленников, сумевших занять ряд территорий на Шпицбергене. Все эти права были при переговорах с Норвегией уступлены Советским Правительством Норвегии. Однако небольшая группа промышленников-дельцов успела до того времени передать свои права англичанам, которые образовали акционерное о-во Англо-Грумант, во владении которого оказалась концессия в 200 с лишком квадратных километров на южном берегу Айсфиорда между заливами Адвент-бай и Кольбай. Эта компания начала разработку угля. В дело это (когда именно, мне осталось неизвестным, вошло и Советское Правительство путем образования смешанного англо-русского акционерного предприятия. Однако большинство акций (или долей участия) находилось в ~~дело~~ руках англичан. Правление в Лондоне. В нем 2 директора (из них один председатель) – англичане – и 1 советский подданный. Попытка совместной работы не вышла, и правление постановило дело ликвидировать, причем ~~английская~~ часть предприятия могла быть выкуплена Советским Правительством преимущественно перед другими покупателями. Советское Правительство вложило довольно крупную сумму денег (в валюте) в предприятие – я точно не знаю сколько именно, но у меня получилось впечатление, что оборудование, которое имелось на руднике, когда я посетив в 1928 году, ~~оно~~ далеко не стоило тех сумм, которые были вложены Советским Правительством.

Затраты же на произведенные в руднике работы должны были с избытком окупиться за счет добытого и проданного угля. Целью экспедиции 1928 года под начальством т. Ипатова (от Главугля) в составе: Зампред Правления Мурманской дороги Михельмана, директора Англо-Грумант т. Козлова (он же предправления Северолеса), журналиста Рафаловича, инженера Сидорова (проф. Горного Института) (*“Горного Института” – вставка сверху, авт.*), меня, моего помощника инж. Рейнеке, студента Московской горной академии Евзерова и представителя Наркомфина Берлина, (партийцы – Ипатов, Михельман, Козлов, Рафалович, Евзеров), – было получение данных, на основании которых Правительство могло бы решить, следует ли выкупать это дело из английских рук и организовать собственное предприятие или нет. Попутно подлежало геологической части осмотреть месторождение угля у Горы “Пирамида”, права на (*“права на” – вставка сверху, авт.*) которое наше Берлинское торгпредство сумело закрепить за СССР.

На Шпицбергене я был в первый раз в 1915 году, когда был поставлен вопрос о покупке русским Правительством Норвежской концессии Иорта, расположенной в заливе Гринхарбур. ~~Т~~ Вследствие того, что я уже был несколько ознакомлен с геологией Шпицбергена, мне и было предложено принять участие в экспедиции 1928 года. Моей задачей было выяснение геологических условий концессии Англо-грумант. На основании проведенных мной геологических обследований, я пришел к заключению, что запасы угля (по группе С) поставленную задачу (1 миллион тонн в год) вполне удовлетворят, так как они должны быть в пределах около 200 миллионов тонн, хотя вследствие обнаруженных мной нарушений, я выкинул из подсчета довольно значительную долю из восточной части концессии. Однако неудобством концессии являлось то обстоятельство, что вследствие значительной (*“значительной” – вставка сверху, авт.*) мощности перекрывающих угленосную толщу пород (в среднем около 900 метров), как разведка, так и вскрытие месторождения возможно лишь в трёх пунктах, расположенных лишь на периферии концессии, что при эксплоатации создаёт необходимость создания и поддержания длинных (не менее 5 километров – если вскрытие произвести в двух пунктах, и свыше 10 при вскрытии в одном пункте) откаточных путей (см. карточку), причём только в пункте 1 уголь выходит на поверхность, в пункте 2 необходимо закладывать шахту глубиной около 300 метров, и в пункте 3 – свыше 400 метров (пласт падает на запад под углом в 5°). Кроме того, чрезвычайно затруднительно устройство погрузочных сооружений, так как нет совершенно защищенных от ветров и льдов мест, сооружение же искусственного порта и дорого и затруднено тем же передвижением огромных масс льда. Все эти трудности технического порядка осложняются еще ограниченностью времени навигации, которая напр. в 1915 году упала всего до 90 дней. Всё это вместе взятое не является, конечно, непреодолимыми препятствиями, но требует организации, работающей как часы. Качество угля, как паровичного вполне приличное – он мало-золистый (золы не свыше 8%) малосернистый, спекается, но кокса металлургического не даёт. Как на неподвижных установках, так и на транспорте уголь этот оказывается вполне удовлетворительным.

На Шпицбергене известны угли трех возрастов – карбоновые, меловые и третичные. Месторождения, о которых говорилось выше, принадлежат к третичным, меловые угли ~~являются~~ очень плохого качества, сильно золисты и многосернисты. Что касается карбоновых углей, то они разных качеств. Среди них имеются угли, дающие хороший ~~кук~~ кокс. ~~но~~ К таким относятся угли советской концессии “Пирамида”, дающие прекрасный кокс, недостатком которого является сильная зольность, почему их требуется обогащать. Я на основании произведенных анализов полагаю, что при смешении третичных углей и карбоновых можно получить хороший ~~к~~ металлургический кокс. В виду этого я рекомендовал обратить внимание и на концессию “Пирамида”.

После изучения всего вопроса партийная часть экспедиции ~~разделилась~~ разошлась в своём мнении о покупке – Ипатов и Рафалович находили, что только при условии, что за концессию будет уплочено не более 20-30 тысяч фунтов, её следует покупать (претензии английской стороны насколько мне было известно выходили за пределы 100 тысяч фунтов), тогда как Козлов, Михельман и Евзеров, к которым присоединился и проф. Сидоров, считали, что выкуп следует произвести во что бы то не стало, стараясь лишь снизить ~~до~~ по возможности необходимую для покупки сумму до минимальных размеров, которая сможет удовлетворить английскую сторону. Поэтому мнение Ипатова было ими опротестовано в Главконцесскоме. Я лично стоял на точке зрения, ~~той~~ что поскольку экономически вопрос об эксплоатации на Шпицбергене угольного месторождения для нас стоит

на грани рентабельности, вопрос выкупа должен решаться ~~из~~ по политическим соображениям, которые, с моей точки зрения, казалось бы вели к необходимости закрепления нашего на Шпицбергене. Однако не будучи в курсе установок Правительства в этом отношении, настаивать на этом не решаюсь, подчёркивая лишь, что организация по эксплоатации, чтобы оправдать все затраты должна работать очень чётко.

Побывав совместно с Ипатовым на Норвежской концессии, которая работала полным ходом в Адвент-бае, имея свыше 1200 человек рабочих, а затем на Голландской в Гринхарбурге, месторождения которой мне были знакомы с 1915 года, когда я посетил для оценки именно этого месторождения по поручению русского правительства Шпицберген, ~~мне пришлось~~ и которая оказалась к этому времени подготовленной к развертыванию широкой добычи – построен прекрасный порт с механизированным погрузочным устройством, сортировкой, всё механизировано, в шахтах и на поверхности имелись электровозы, построена электрическая станция, выстроен целый город, где имелись даже двухэтажные здания с паровым отоплением – всё это было мертво, и здесь находилось всего лишь 6 человек, занятых на охране этого по истине великолепно устроенного рудника – видя это у меня явилась мысль, не будет ли выгоднее купить или взять в аренду эту концессию, если Советское Правительство решит закрепляться на Шпицбергене. Эту мысль я сообщил Ипатову – мне неизвестно, доложил ли он в соответствующей инстанции этот вопрос или нет и был ли он подвергнут экономическому анализу. Естественно возбуждается вопрос, почему голландцы, затратив несомненно крупную сумму, эксплоатацией занимались лишь весьма короткое время. Отмечу, что предприятие это было в спешном порядке организовано во время забастовки угольной в Англии, по окончании которой они не смогли конкурировать очевидно ни ценой, ни качеством с английским углём, а Норвежский рынок является для них закрытым, так как Норвежцы сами усиленно развивают добычу угля на Шпицбергене, и в 1928 году все железные дороги в Норвегии потребляли лишь Шпицбергенский уголь, причем поощрение этой добычи идет даже по линии повышения цен за поставленный уголь – так в августе 1928 года в нашу бытность там, газеты сообщали, что министр путей сообщения внес соответствующий законопроект, который и был принят парламентом.

Несомненно, что арктические условия, трудности организации оборудования и снабжения (туда всё должно быть завезено, так как на Шпицбергене нет даже куска дерева), высокая зарплата и т.д. ~~создают ряд затруднений в повышенному~~ ведут к высокой стоимости угля. Это всё, конечно, подлежит глубокому техно-экономическому анализу. ~~О~~ Если для голландцев рынка нет, то для Союза такой рынок обеспечен, имея в виду возможность заброски туда своих рабочих, своего снабжения и т.д., что не будет вызывать валютных затрат, и дело может оказаться даже экономически совершенно обоснованным. Сравнивая же положение концессии Англо-грумант и Голландской, приходишь к заключению о резких преимуществах Голландской перед “Грумант” (*неразб. – зачеркнуто, авт.*) – одно положение в удобной гавани уже говорит за это, затем вдоль всего берега Гринхарбур мы имеем выходы угольных пластов (здесь их 2 рабочих, на концессии Англо-грумант 1), что даёт возможность вскрывать месторождение в любой точке по простиранию вдоль берега и т.д. А затем наличие прекрасных площадок для развёртывания складов, чего как раз не имеется у Англо-грумант. Остаётся следовательно вопрос о ~~стоимости~~ затратах – однако надо иметь в виду, что вероятно не больше чем через месяц или два предприятие может быть пущено полным ходом, тогда как в Англо-груманте потребуется не менее вероятно года, а то и больше. Что касается покупной суммы то её я, конечно, не знаю, но принимая во внимание, что голландцы не могут иметь никакой надежды на возврат затраченных сумм, а ~~может быть~~ также и на возможность пустить предприятие в ход, мне представляется, что оно может быть куплено за сходную цену. Что касается запасов, то на мой взгляд они значительно превышают запасы Англо-грумант, и благодаря проведенным выработкам могут быть проверены. Качество угля такое же как и в Адвент-бае.

Мне неизвестно, в каком положении дело находится в настоящее время, но по скольку вопрос о топливе для нашего Севера приобретает особую важность, и быть может в скором времени будет поставлен, как задача ближайшего времени, и вопрос о чёрной металлургии на Кольском п-ве, следует эту проблему серьёзно рассмотреть с техно-экономической стороны – причем мне, кажется, что настоящая кон`юнктура (кризис) особенно благоприятствует разрешению вопроса о цене за концессию. Все эти рассуждения, конечно, имеют смысл только при условии, что они не противоречат политическим установкам. Необходимо также помнить, что обеспечение (*“обеспечение” – вставка сверху, авт.*) топлива в постановке угольного дела на Шпицбергене играет едва ли не решающую роль. Еще раз напоминаю необходимость освещения вопроса и о концессии “Пирамида”.

Curriculum vitae горного инженера С.Ф. Малявкина [1]

Семен Филиппович Малявкин родился 24 Марта 1876 г.[1] в с. Уручье Трубчевского уезда Орловской губернии.

По окончании Орловского реального училища, поступил в Горный Институт, каковой окончил по I разряду в 1903 г.

С Октября 1903 г. по Октябрь 1904 г. был помощником начальника Гагринской Климатической станции, где производил обследование мраморов и асфальта.

---

[1] В [7] приведена дата рождения 16 февраля 1876 г.

В Октябре 1904 г. был прикомандирован к Геологическому Комитету. В феврале 1905 г. назначен на должность геолога Иркутского Горного Управления, где пробыл до 1-го Мая 1908 года. За это время им были проведены следующие работы: 1) Исследование местности вдоль проектируемой Тулун-Устькутской ж. д. 2) Исследование Вилюйских соляных источников. 3) Маршрутное обследование нижнего течения р. Вилюя (от д. Сунтар до Устья) и Лены (от Якутска до впадения в Ледовитый океан). 4) Исследование соляных источников Усолья, Усть-Кута и др. 5) Маршрутные исследования бассейнов рек Белой и Урика, а также Ангарско-Ленского водораздела (Березовский хреб.).

Основные результаты работ опубликованы в отчетах Иркутского Горного Управления и Горного Департамента.

За время с 1905 по 1908 гг. посещен ряд месторождений полезных ископаемых (золота в Ленской и Енисейской тайге, угля – Черемховский район, Забайкальский и др.) в целях составления плана разведочных работ или руководства таковыми. Проведено бурение на воду в Верхнеленском районе и т.д.

В это же время состоял преподавателем в Иркутском Горном Училище по геологии и горному искусству.

В конце 1905 г. был избран Правителем дел Восточно-Сибирского Отдела Р. Географического Общества.

В 1908 г. прикомандирован к Геологическому Комитету, по заданиям которого произведены следующие работы:

1908 г. Геологическое исследование вдоль линии Сучанской железной дороги.

1909 г. Геологическое исследование в Зейско-Ленском районе.

1910 г. Геологическое исследование в верхнем течении реки Сучана.

1911 г. Геологические и разведочные работы в Буреинско-Завитимском районе.

1912 г. Геологические и разведочные работы в Прихабаровском районе.

В 1913 г. выехал заграницу, где пробыл до Мая 1915 г. За это время по поручению промышленных организаций произвел работы – исследование площади распространения строительных материалов в Катаньи; несколько экспертиз месторождений мрамора в Карраре, экспертиза Сицилианских разработок серы.

По поручению Societ`a dei monument forestveri произвел обследование ряда минеральных источников в Италии и составил для него описание «Acyvi minerali d`Italia», «Минеральные воды Италии», предназначавшееся для параллельного напечатания на итальянском и русском языках. Кроме того произведен ряд мелких экспертиз. По поручению общества Люборад изучал положение рынка озокерита в Европе и ознакомился с галицийскими месторождениями. Посетил ряд месторождений Центрального Плато во Франции.

В 1915 г., по приезде в Россию был командирован Министерством торговли и промышленности на Шпицберген для экспертизы угольных месторождений острова.

В Феврале 1916 г. по поручению Военно-промышленного Комитета произвел экспертизу месторождения Шунгита в Олонецком крае и организовал разведочные работы на нем.

В феврале того же года был избран адъюнкт-геологом Геологического Комитета. В том же году совместно с инженером П.А. Пальчинским начал издание журнала «Поверхность и недра», под редакцией коего состоял все время его издания.

В 1916 году по поручению Геологического Комитета произвел осмотр месторождений полезных ископаемых в пределах Шаронанского уезда Кутаисской губернии, Барчалинского – Тифлисской, Елисаветпольского и Зангезурского – Елисаветпольской губ. По частному поручению произвел разведочные работы на месторождениях марганца и меди в Барчалинском уезде и начал разведочные работы в Зангезурском уезде.

В 1917 г. был назначен директором Горного Департамента.

В 1918 г. производил разведочные работы на медь (по частному поручению) в Зангезурском уезде и разведки цементных мергелей возле станции Тауз Закавказской ж. д.

В 1919 г. избран ученым секретарем Совета обследования и изучения Кубанского края и профессором по кафедре геологии в Кубанском Политехническом Институте на инженерно-строительном факультете. Кроме того в 1920 г. был приглашен читать лекции по физической геологии на Сельско-Хозяйственном факультете в Краснодаре.

В том же 1920 г. назначен Главным инженером Юго-Восточного Управления Промышленных разведок в Краснодаре, организовал разведочные работы Новороссийских цементных мергелей и ряд других работ. В 1920 г. вновь переизбран адъюнкт-геологом Геологического Комитета.

В 1921 г. переехал в Ленинград, где работал одновременно в Геологическом Комитете в качестве адъюнкт-геолога и в Северо-Западном Управлении Промышленных разведок в качестве главного инженера. Под непосредственным руководством его были проведены следующие работы:

1. Разведка угля и огнеупорных глин в Боровичско-Мстинском районе.
2. Разведочные работы на бокситы в Тихвинском районе.
3. Магнитометрические исследования Пудожгорского месторождения.
4. Исследование Тулун-озерского месторождения железного блеска.

В конце 1921 г. избран заведующим Секцией Неметаллических ископаемых Геологического Комитета, в каковой должности состоял до Мая 1929 г.

В 1923 г. производил геологическое исследование восточного побережья Онежского озера и руководил разведочными работами на бокситы в Тихвинском районе, на кварц, слюду и полевой шпат в Северной Карелии

и разведочные работы на глины в Боровичах.

В том же году Научным Советом Геологического Комитета принял на себя исследование в районе бокситовых месторождений Тихвинского уезда и дальнейшее руководство производившимися здесь разведочными работами.

Руководство поисково-разведочными работами на кварц, слюду и полевой шпат в Северной Карелии также были возложены на него, для чего и выезжал на место работ.

В том же 1924 г. произвел по поручению Геологического Комитета для Продосиликата экспертизу Воронежских месторождений огнеупорной глины и Полошковского каолина.

С Октября 1924 г. приглашен для чтения лекций по «Географии полезных ископаемых» в Географическом Институте, после слияния какового с Университетом получил назначение доцентом, а затем профессором Географического Факультета с поручением чтения лекций по тому же курсу.

В 1925 г. продолжал начатые в 1924 г. работы, как по геологическому исследованию Тихвинского района, так и по руководству разведками.

С 1921 г. состоит редактором составляемой сотрудниками Института Изучений «Поверхность и Недра» карты строительных материалов (26 вер. в 1”) и текста к ней, издаваемых Н.Т.О. ВСНХ.

Состоял членом Русского Географического Общества, Минералогического Общества и русского технического общества.

В последнем был заместителем Председателя XIII / Горного отдела.

В 1926 г. назначен на должность старшего геолога на основании полученной в 1924 г. квалификации Научного Совета Геолкома.

В этом же году был командирован в Испанию на Международный Геологический Конгресс, где докладывал о месторождениях фосфоритов в СССР. Доклад напечатан в Трудах Конгресса.

В 1927 г. производил обследование месторождений строительных материалов в Крыму и на Украине.

В 1928 г. был командирован на Шпицберген и производил геологическую съемку месторождений угля Grumant City и горы Пирамида.

В 1929 г. в качестве начальника Тихвинской группы разведочных партий руководил разведочными работами на боксит и известняки (последние для глиноземистого цемента).

Список напечатанных трудов [1]

(*12 работ 1910-1922 гг., авт.*)

Ряд отчетов в изданиях Горного Департамента, Геологического Комитета и Совета по обследованию и изучению Кубанского края и ряд статей и заметок в разных изданиях по использованию и исследованию полезных ископаемых.

Кроме того, в издании Академии Наук – бокситы.

13. Нерудные ископаемые т. I 1926 г. и дополнение 1928 г.

14. Издание Геолкома: Алюминий и боксит. Обзор минеральных ресурсов С.С.С.Р. 1926 г.

(*Curriculum vitae и Список трудов напечатаны на машинке, текст на итальянском языке вписан от руки – авт.*).

Из различных источников можно почерпнуть дополнительные биографические сведения. После реорганизации Геолкома с 28.11 по 26.12.1929 г. С.Ф. Малявкин директорствовал во вновь организованном (на базе секции Неметаллических ПИ Геолкома) Г.-р. ин-те нерудных ископаемых, затем до 08.10.1930 г. в Г.-р. ин-те неметаллических полезных ископаемых, затем до июня 1931 г. – в Н.-и г.-р. ин-те нерудных ископаемых [7]. Был экспертом по геологическим вопросам Карело-Мурманского комитета при Обкоме ВКП(б), возглавлявшемся С.М. Кировым. 7.02.30 г. С.Ф. Малявкин председательствовал на заседании Комиссии по организации исследований Хибинских тундр [2].

По данным [8], в ноябре 1931 г. С.Ф. Малявкин проходил по делу «о вредительской и шпионской деятельности контрреволюционных групп в геологоразведочной промышленности СССР». Коллегией ОГПУ 19 января 1932 г. осужден на 10 лет лагерей. В 1932-33 гг. работал в Особом геологическом бюро в Мурманске. Освобожден досрочно после пересмотра дела 8 мая 1934 г. коллегией ОГПУ, о периоде его жизни в 1934-37 гг. пока ничего не известно.

Среди архивных материалов Кировского филиала ГАМО не так уж много документов, по которым можно судить о работах, в которых участвовал С.Ф. Малявкин в это время. Кроме «Заметки о Шпицбергене», это записка “О состоянии сырьевой базы для получения окиси глинозема на Кандалакшском комбинате” [4] (геолого-экономическая оценка получения окиси глинозема из хвостов Хибиногорской обогатительной фабрики), приводимое далее письмо “О лечении С. Малявкина” от имени руководителя ОГБ ЛГРТ Алешина [6] и проект этого письма [3], составленный Н.И. Берлингом, вероятно, до 14.08.32 г.

О лечении С. Малявкина [6]

На днях истек 1 ½ мес. срок с тех пор, как геолог С.Ф. Малявкин был помещен в санатории “Страховик” ок. Ораниенбаума – срок, первоначально (*неразб. – авт.*) нами для лечения. По имеющимся у нас частным сведениям восстановление здоровья С. Малявкина в июле шло медленным темпом, дальнейших сведений мы не имеем. С нашей точки зрения желательно, чтобы С. Малявкин провел бы руководство последним периодом геологоразведочных работ на стройматериалы и, главное, камеральной обработкой результатов полевых работ. Поэтому, в том случае, если здоровье Малявкина достаточно восстановилось для небольших поездок по разведочным партиям без риска нового ухудшения его состояния, желательно его возвращение в Мурманск. В случае же, если здоровье еще не позволяет ему теперь же принять на себя руководство в условиях полевых работ, предпочтительно довести лечение до конца, чтобы гарантировать его участие осенью и зимой в камеральной обработке материала. Полевые же работы будут заканчиваться под руководством Н. Берлинга. Поэтому просим Вас снестись с медчастью Санатория и, в зависимости от их отзыва, принять по данному вопросу то или иное решение, обратив внимание на высказанные нами пожелания.

Нач. Мурокротд. ОГРПУ /Алешин/

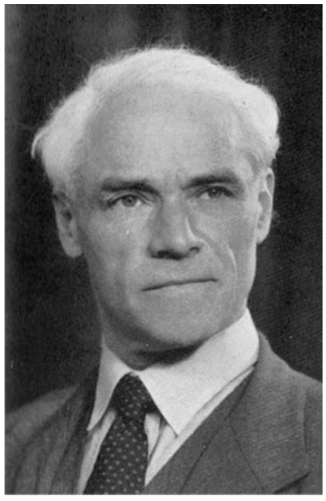
С.Ф. Малявкин был освобожден досрочно после пересмотра дела 8 мая 1934 г. коллегией ОГПУ. По данным В.А. Котлукова, написавшего прекрасный очерк о его жизни и деятельности [7], в 1935-37 гг. С.Ф. Малявкин работал в ЦНИГРИ, руководил литологическими работами в Каменском и Магнитогорском районах на Урале. Основоположник Ленинградской школы литологов, крупный специалист в области нерудных полезных ископаемых профессор С.Ф. Малявкин скончался 25 мая 1937 гг. после тяжёлой болезни.

Список литературы

1. Архив СПГГИ/ТУ. Личное дело С.М. Малявкина. № 599.
2. ГОУ ГАМО в г. Кировске. Ф. Р-179. Оп. 1. Д. 6. Л. 38.
3. ГОУ ГАМО в г. Кировске. Ф. Р-179. Оп. 1. Д. 204. Л. 11.
4. ГОУ ГАМО в г. Кировске. Ф. Р-179. Оп. 1. Д. 204. Л. 82-84.
5. ГОУ ГУМО в г. Кировске. Ф. Р-179. Оп. 1. Д. 204. Л. 66-69.
6. ГОУ ГАМО в г. Кировске. Ф. Р-179. Оп. 1. Д. 207. Л. 5.
7. Котлуков В.А. Семен Филиппович Малявкин (1876-1937) // Выдающие ученые Геологического Комитета – ВСЕГЕИ. Л.: Наука, 1982.
8. Репрессированные геологи. Гл. ред. В.П. Орлов. М.-СПб.: МПР РФ, ВСЕГЕИ, РосГео, 1999. 452 с.
9. Шпаченко А.К. Особое геологическое бюро при Мурманском окружном отделе ОГПУ, 1932-1933 гг. // Геология и минерагения Кольского региона. Тр. Всерос. научн. конф. и IV Ферсмановской научн. сессии, посв. 90-летию со дня рожд. акад. А.В. Сидоренко и д.г.-м.н. И.В. Белькова. Апатиты, 4-6 июня 2007 г. Апатиты: Изд-во К & М, 2007. С. 56-62.

ON LIFE OF LAWRENCE R. WAGER, AN OUTSTANDING MOUNTAINEER AND EXPLORER

G.P. Glasby
University of Göttingen,Germany; University of Sheffield, England; Institute of Oceanography, India



Prof. L.R. Wager (1958.)

Lawrence Wager had the distinction of making his mark in three separate fields, as a geologist, mountaineer and an explorer. As Alexander R. McBirney from the University of Oregon said,

«Lawrence Wager was by any measure one of the most important geologists of his time. His discovery and studies of the Skaergaard Intrusion of East Greenland were a landmark contribution to igneous petrology, and his work, together with that of his students and colleagues contributed to some of the most basic concepts of magmatic differentiation».

Wager the Explorer

Lawrence Wager was born in 1904 and was brought up in the Yorkshire Dales. He and his brother Hal were free to roam in some of the beautiful scenery in England. There is no doubt that this had a profound influence on the boys.

In 1922, Wager went up to Cambridge to read geology. Being greatly enthusiastic about mountaineering, in 1925 he became President of the Cambridge University Mountaineering Club of which he was President and held the position till 1926. By the

time he left Cambridge in 1929, Wager was already beginning to establish his credentials as a field geologist and had acquired a reputation as being one of the best and safest young climbers in Britain.

Between 1930 and 1952 Wager led five major expeditions to East Greenland. The most famous was the Fourth East Greenland Expedition in 1935-1936 which lasted 14 months.

In January 1930, Wager was invited by Gino Watkins to join the 1930-31 British Arctic Air Route Expedition to Greenland.

During the northward voyage along the east coast of Greenland in August 1931, Wager identified a number of Tertiary igneous intrusive centres stretching from Kap Gustav Holm at 66ºN to Kangerdlugssuaq. He also identified and named the Skaergaard Intrusion after the peninsula at the mouth of the Kangerdlugssuaq Fjord (meaning large fjord in the eskimo language). The exposure of the rock was excellent and its layering could be easily seen. Wager made this discovery from the deck of the ship because they were unable to go ashore then.

During this time, the entire coast of the Kangerdlugssuaq Fjord was photographed from the air and many high quality aerial photographs were taken, a few of which showed the Skaergaard Intrusion. At the end of October, Wager participated in the second relief of the Ice Cap Station, which was located at the highest point on the Ice Cap. This involved a 250-mile return sledge journey. The weather conditions were extremely bad for most of the journey and it took 39 days to reach the station.

In July 1935, Wager organized and led the British East Greenland Expedition which lasted till September 1936. This was to be Wager's most famous expedition. The most significant appointment for this expedition was W.A Deer, a 25 year old Ph.D. student from Cambridge. The names Wager and Deer were to become linked forever.

The Quest sailed from Aberdeen on July, 1935. They had a very rough trip to Iceland. When they reached Greenland on July 15, the Quest was jammed in by huge icebergs but they gradually managed to manoevre through them but not before the captain had announced that, if they touched a berg with the swell prevailing, the ship would be lost!

The geological programme undertaken by Wager in Greenland was extremely demanding. There were two principal objectives, the main one being the detailed mapping of the Skaergaard Intrusion and the second one the mapping of as much of the area to the east of Kangerdlugssuaq as could be reasonably reached by short journeys.

In all, 35,000 square km of difficult country was mapped geologically during this expedition with some small areas mapped in detail. This was a remarkable achievement accomplished almost entirely by two sledging parties, each of two men. It is clear that Wager was a bit of a slave driver but he was able to achieve these results through his own drive and enthusiasm, which he passed on to others.

The geological results of Wager's four expeditions in the 1930s were published in four volumes of Meddelelser om Grønland. According to Wager's obituary in The Times, the account of the Skaergaard Intrusion by Wager and Deer in 1939 was judged by many to be the most significant single contribution then made to to the science of petrology.

Wager the Mountaineer

Wager was already quite an experienced climber when he joined the Cambridge University Mountaineering Club (CUMC) in 1925-26. He went to the Alps for about a month every year between 1924 and 1928 usually from about mid-July to mid-August. In 1928, he was in the remoter Dauphiné Alps with Jack Longland and others. It was on remote peaks that they found themselves entirely on their own and they could explore new routes. One new traverse that year was the Pic Gaspard to the Pave where Wager's eye for a line brought them safely down the steep and muddled west Face of the Pic Gaspard. By 1928, Wager had achieved a reputation as one of the best and safest young rock-climbers in Britain.

Members of the 1933 Mount Everest Expedition.

In December 1932, Wager was invited to join the 1933 Mount Everest Expedition. The expedition arrived in Bombay in February, 1933, and four of them, Wager, Hugh Ruttledge, the expedition leader, Jack Longland and Percy Wyn Harris, took the train to Agra to see the Taj Mahal. They arrived at Darjeeling on February 17 and began the long trek towards Tibet through lush vegetation, then climbing up to 14,900 ft at the Tibet boundary.

Following their arrival at Base Camp at 16,800 ft, it took

Wager, Wyn Harris, Longland and Birnie until May 28 to reach Camp V at 25,700 ft because of bad weather and the steepness of the new route up to the North Col. On May 29, Wager, Wyn Harris and Longland managed to get up to Camp VI with eight porters.

Wyn Harris and Wager leaving Camp VI for Camp V on May 30, 1933.

On May 30, Wager and Wyn Harris made the first assault on the summit of Everest They set off at 5:30 AM following a very cold night and got up to the second step but found it impossible to climb. This was because if the smoothness of the rock there. They then traversed across the north face 200 to 300 ft below the crest, crossed the great snow couloir and reached approximately the same point as Norton and Summerville in 1924 at about 28,100 ft. This was to remain the record for highest on Everest without oxygen until Reinhold Messner and Peter Habeler climbed Everest in 1978.

On the way down, Wager, despite his extreme exhaustion, forced himself up to the NE shoulder of Everest and became the only climber to have looked down on the SE face of Everest until Hillary and Tenzing were able to do so in 1953. The last drag into camp was just about all they were capable of achieving. When Dr. McLean, the expedition Medical Officer, examined Wager and Wyn Harris, he found both were temporarily suffering from dilated hearts resulting from their experiences at high altitude without oxygen. This heart strain on Everest almost certainly caused Wager's premature death in 1965.

In July 1938, Wager spent the whole month in Norway and took the opportunity to visit V.M. Goldschmidt at his home in Holmenkollen in Oslo. This was to be the only meeting between Wager and Goldschmidt but it was important in view of the attention that Wager's group at Oxford subsequently gave to testing the validity of the Goldschmidt Rules based on geochemical data from the Skaergaard rocks.

War service

Wager was, of course, an expert in the interpretation of arial photographs. In May 1940, Wager was persuaded to join the Photographic Interpretation Unit of the Air Ministry.

In 1942, Wager heard that a small photographic interpretation unit was scheduled to go to Murmansk in northern Russia to keep watch on the Tirpitz and to train their Russian counterparts. He decided he was the best man to lead this team and volunteered to go but then bitterly regretted his decision. Wager was very glad to get back in October. He had survived the notorious Murmansk run and was mentioned in Despatches. The Tirpitz was eventually sunk on November 1944, in Tromsø in southern Norway during an attack by 30 Lancaster Bombers.

Late years in universities (1943-65)

In 1943, Wager applied for the Professorship at Durham and was accepted. The main problem was to get his release from the RAFVR. He arrived in Durham with his family on January 1, 1944, to take up his chair as successor to Arthur Holmes.

In April,1943, not long after he had been flown to Britain from neutral Sweden by Britain's Secret Intelligence Service, V.M. Goldschmidt wrote to Dr. Wager to thank him for his offer of assistance. One senses a great deal of mutual respect between these two men, although they were never to meet again. Wager was probably too preoccupied with his work in Durham and Goldschmidt became a semi-invalid after his near-fatal heart attack in December 1944.

The Macaulay Institute for Soil Research

Letter from V.M. Goldshmidt.

In the period of austerity immediately after the war, continuing research in Greenland was out of the question. Wager therefore began his investigations on the British Tertiary Igneous Province, firstly in the Western Red Hills Complex on Skye in the 1940s and later on in Rhum.

In 1951, Wager was appointed to the Chair of Geology at Oxford In going to Oxford, Wager was, in fact, taking over a rather moribund department which had been run down during the war years. Wager set himself the task of creating a modern, world-class geology department.

In particular, Wager put a lot of effort into the analysis for the Skaergaard rocks using Instrumental Neutron Activation Analysis (INAA), spark source mass spectometry and X-ray Fluorescence Analysis (XRF) as the main tools for analysis in order to study the fractionaion trends of elements in these rocks. One of the main objectives at that time was to test the validity of the Goldschmidt Rules by applying them to the Skaergaard Intrusion in East Greenland.

In 1957, Wager undertook the massive task of writing a book with Malcolm Brown on layered igneous rocks which took 10 years to complete.

In 1955, Wager had heart attack during an undergraduate field trip to the Lake District. In November 1965, he had a second coronary and died almost immediately.

Professor L. R. Wager: major awards and honours

1933	Polar medal
1935	Mungo park medal of the royal scottish geographical society
1939	Lyell fund of the geological society of london
1941	Awarded degree of doctor of science (sc.D.) By cambridge university
1945	Bigsby medal of the geological society of london
1946	Elected fellow of the royal society
1948	Spendiarov prize of the russian academy of sciences (presented at the albert hall during the international geological congress in london)
1951-53	Vice president of the geological society of london
1952	President of arctic club
1958	President of section c (geology) of the british asssociation for the advancement of science
1960-63	President of the mineralogical society of great britain and ireland
1962	Lyell medal of the geological society of london
1974	The wager prize of the iavcei was instituted in 1974 (renamed the wager medal in 1994)

References

Adie R.J. Lawrence Rickard Wager. 1904-1965 // J. Glaciol. 1967. N 6. P. 584-585.

Anon. Portrait of Prof. L.R. Wager // The Advancement of Science. 1958. V. 15. N. 58. P. 8.

Anon. Obituary Prof. L.R. Wager – Geologist and Mountaineer // The Times. 1965. November 22. P. 12.

Anon. Obituary Notice. Professor L.R. Wager, an Editor of the Journal of Petrology, died suddenly in London on 20 November 1965 // J. Petrol. 1966. N. 7(1). P. 1.

Brooks C.K. L.R. Wager and the geology of East Greenland // Geol. Soc. Am. Centennial Spec. Issue. 1985. V. 1. P. 237-250.

Brooks K. The Skaergaard intrusion; from icon to precious metal deposit // Geology Today. 2005. N. 21 (6). P. 218-221.

Brown G.M. The layered ultrabasic rocks of Rhum, Inner Hebrides // Phil. Trans. R. Soc. Lond. 1956. B 240. P. 1-53.

Brown G.M. Obituary. Prof. L.R. Wager // Nature. 1966. N. 210. P. 675-676.

Brown G.M. L.R. Wager, Geologist // Geologists' Association Circular. 1992. N. 890. P. 6-7.

Courtauld A. A journey in Rasmussen Land: A Paper read at the Evening Meeting of the Society on 2 March 1936 // Geogr. J. 1936. N. 88. P. 193-215.

D'Aeth N.H. The British Arctic Air Route Expedition. Appendix I: Report on flying work // Geogr. J. 1932. N. 79. P. 473-480.

Deer W.A. Laurence Rickard Wager. 1904-1965 // Biographical Memoirs of Fellows of the Royal Society. 1967. V. 13. P. 358-385.

Deer W.A. Professor Deer replied // J. Geol. Soc. 1974. N. 130. P. 485-486.

Dunham K.C. Obituary. Lawrence Rickard Wager // Geochim. Cosmochim. Acta. 1966. N. 30. P. 839-840.

Glasby G.P. The development of trace element analysis in rock samples using X-ray fluorescence techniques. Unpubl. B. Sc. thesis. Univ. Oxford. 1966. 197 p.

Glasby G.P. V.M. Goldschmidt: The British Connection. A Tribute on the 60th Anniversary of his Death // Geochem. News. 2006. V. 129. N. 1. P. 14-31.

Glasby G.P. V.M. Goldschmidt in Britain // Geoscientist. 2007. N. 17 (3). P. 22-27.

Letter from V.M. Goldschmidt to Dr. Wager dated April 5, 1943, to thank Dr. Wager for his offer of assistance and to offer his assistance to our Norwegian forces and to our allies // Oxford University Museum of Natural History. Wager papers. L. 89.

Letter from V.M. Goldschmidt to Professor Wager dated February 18, 1944, congratulating him on his appointment to the Professorship at Durham University // Oxford University Museum of Natural History. Wager papers. A. 41.

Hargreaves J. L.R. Wager: A Life 1904-1965 // The Author. Oxford, 1991. 141 p.

Longland J. In Memoriam Lawrence Rickard Wager // Alpine J. 1966. P. 349.

McBirney A.R. Differentiation of the Skaergaard intrusion // Nature. 1975. N. 253. P. 691-694.

McBirney A.R. (Ed.) Special issue dedicated to L.R. Wager on the occasion of the fiftieth anniversary of publication

of the Skaergaard Intrusion of East Greenland // J. Petrol. 1989. N. 30. P. 249-478.

McBirney A.R. Mechanisms of differentiation of the Skaergaard Intrusion // J. Geol. Soc. London. 1995. N. 152. P. 421-435.

McBirney A.R., Creaser R.A. Skaergaard Layered Series. Part 7. Sr and Nd isotopes // J. Petrol. 2003. N. 44. P. 757-771.

Nielsen T.F.D., Brooks C.K. Precious metals in magmas from East Grenland: Factors important to the mineralization of the Skaergaard Intrusion // Econ. Geol. 1995. N. 90. P. 1911-1917.

Ruttledge H. Everest 1933. London: Hodder & Stoughton, 1934. 299 p.

Ruttledge H. The Mount Everest Expedition, 1933: A Paper read at the Afternoon and Evening Meetings of the Society on 6 November 1933 and repeated on the evening of November 1933 // Geog. J. 1934. N. 83. P. 1-17.

Ruttledge H. Everest: The Unfinished Adventure. 63 plates + 2 fold. maps. London: Hodder & Stoughton, 1937. 288 p.

Seward A.C. Harold Wager. 1862-1929 // Proc. Royal Soc. London. Ser. B. 1930. V. 106. N. 747. P. 1-29.

Shaw D. The beginnings of Geochimica et Cosmochimica Acta // Geochem. News. 2003. N. 114. P. 20-22.

Shipton E.E. Obituary Michael Spender // Geogr. J. 1945. N. 66. P. 238-239.

Shipton E. Professor L.R. Wager F.R.S. // Geogr. J. 1966. N. 132. P. 176-177.

Smales A.A., Wager L.R. (Eds) Methods in Geochemistry. London: Interscience Publishers Ltd, 1960. 464 p.

Venables S. Everest Summit of Achievement. London: Royal Geographical Society, 2003. 252 p.

Vincent E.A. Memorial of Lawrence Rickard Wager. Febr. 5, 1904 – Nov. 20, 1965 // Amer. Miner. 1968. N. 53. P. 608-617.

Vincent E.A. Geology and Mineralogy at Oxford. 1860-1986. History and Reminiscence. Department of Earth Sciences, University of Oxford. 1994. 245 pp.

Vincent E.A. Sir George Malcolm Brown. 5 Oct. 1925 – 27 March 1997 // Biographical Memoirs of the Fellows of the Royal Society. 1998. N. 44. P. 63-76.

Wager L.R. The british arctic air route expedition: Continuation from the May Journal of a paper read at a Spec. Evening Meeting of the Society on 12 Dec. 1931. Appendix III. Preliminary Account of the Geological Work by L.R. Wager // Geogr. J.1932. N. 79. P. 483-488.

Wager L.R. Geological investigations in East Greenland. Part I. General geology from Angmagsalik to Kap Dalton. The British Arctic Air Route Expedition. 1930-1931**.** Leader H.G. Watkins and The Scoresby Sound Committee's 2nd East Greenland Expedition in 1932 to King Christian IX's Land. Leader E. Mikkelsen. Medd. om Grønland. 1934. N. 105 (2). P. 1-46 + 12 plates.

Wager L.R. Geological investigations in East Greenland. Part II. Geology of Kap Dalton The Scoresby Sound Committee's 2nd East Greenland Expedition in 1932 to King Christian IX's Land. Leader E Mikkelsen. Medd. om Grønland. 1935. N. 105 (3). P. 1-32 + 7 plates.

Wager L.R. The Kangerdlugssuak region of East Greenland: Evening Meeting of the Society. 24 May 1937 // Geogr. J. 1937. N. 40. P. 393-425.

Wager L.R. Professor Wager said // Quart. J. Geol. Soc. London. 1945. N. 101. P. 30-31.

Wager L.R. Geological investigations in East Greenland. Part IV. The stratigraphy and tectonics of Knud Rasmussen Land and the Kangerdlugssuaq Region The Scoresby Sound Committee's 2nd East Greenland Expedition in 1932 to King Christian IX's Land. Leader E. Mikkelsen. Plus The British East Greenland Expedition. 1935-1936. Leader L.R. Wager. Medd. om Grønland. 1947. N. 105 (3). P. 1-32 + 7 plates.

Wager L.R. Beneath the earth's crust // The Advancement of Science. 1958. V. 15. N. 58. P. 31-45.

Wager L.R. The major element variation of the layered series of the Skaergaard Intrusion and a re-estimation of the average composition of the hidden layered series // J. Petrol. 1960. N. 1. P. 364-398.

Wager L.R., Brown G.M. Layered Igneous Intrusions. Edinburgh & London: Oliver & Boyd, 1968. 588 p.

Wager L.R., Brown G.M., Wadsworth W.J. Types of igneous cumulates // J. Petrol. 1960. N. 1. P. 73-85.

Wager L.R., Deer W.A. Geological investigations in East Greenland. Part III. The petrology of the Skaergaard Intrusion, Kangerdlugssuaq, East Greenland. The Scoresby Sound Committee's 2nd East Greenland Expedition in 1932 to King Christian IX's Land. Leader E Mikkelsen. Plus The British East Greenland Expedition. 1935-1936. Leader L.R. Wager. Medd. om Grønland. 1939. N. 105 (4). 346 p. + 27 plates + one map.

Wager L.R., Hamilton E.I. Some radiometric rock ages and the problem of the southward continuation of the East Greenland Caledonian Orogeny // 1964. N. 204. P. 1079-1080.

Wager L.R., Mitchell R.L. The distribution of trace elements during strong fractionation of magma. Further study of the Skaergaard intrusion, East Greenland // Geochim. Cosmochim. Acta. 1951. N. 1. P. 129-208.

Wager L.R., Vincent E.A., Smales A.A. Sulfides in the Skaergaard intrusion, East Greenland // Econ. Geol. 1957. N. 52. P. 855-903.

Watkins H.G. The british arctic air route expedition: A Paper read at a Special Evening Meeting of the Society on 12 Dec. 1931 // Geogr. J. 1932. N. 79. P. 353-367.

W.E.G. Obituary. Dr. Jean Charcot // Geogr. J. 1936. N. 88. P. 477-478.

Минералогия и кристаллография

НОВЫЕ ПОСТУПЛЕНИЯ В КОЛЛЕКЦИЮ МУЗЕЯ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА ЗА 2008 ГОД

В.В. Борисова, А.В. Волошин
Геологический институт КНЦ РАН, г. Апатиты, e-mail: borisova@geoksc.apatity.ru

Одной из важнейших задач музея геологии и минералогии Геологического института является сбор и пополнение коллекции минералов, пород и руд Кольского полуострова. По ряду причин, в том числе и финансовых, музейные работники не имеют возможности организовывать самостоятельные поля для сбора музейной коллекции. Поэтому глубоко признательны всем, кто, болея душой за музей, оказывает в этом помощь - сотрудникам института и других геологических организаций, а также коллекционерам-любителям, которые ежегодно, приносят в дар музею образцы с редкими, новыми, а также просто красивыми минералами Кольского полуострова. В 2008 г. в коллекцию музея поступило более чем 130 образцов минералов Кольского полуострова, из них 18 образцов выставлены в экспозиции музея, остальные пополнили музейный фонд. Минералы, поступившие в коллекцию музея, можно объединить в следующие группы: 1) новые минеральные виды Кольского полуострова; 2) минералы, впервые обнаруженные на Кольском полуострове; 3) коллекция минералов Хибинского и Ловозерского щелочных массивов; 4) коллекция минералов Западных Кейв.

Новые минеральные виды Кольского полуострова.

В июле 2008 г. Международной комиссией по новым минералам был утвержден очередной новый минерал Кольского полуострова – пункаруайвит. По составу это литиевый титаносиликат. Минерал был обнаружен в двух местах – В Ловозерском и Хибинском щелочных массивах. В Ловозерском массиве минерал найден в уссингит-эгирин-микроклиновой жиле в нефелиновых сиенитах г. Пункаруайв, по которой он получил свое название. В Хибинском массиве – в натролит-микроклиновой жиле в разгнейсованных фойяитах г. Эвеслогчорр. Минерал открыт коллективом сотрудников Геологического института – В.Н. Яковенчуком, Г.Ю. Иванюком, Я.А. Пахомовским, Е.А. Селивановой и Ю.А. Корчак. Также в открытии пункаруайвита участвовали сотрудники кафедры кристаллографии Санкт-Петербургского государственного университета – С.В. Кривовичев и Д.В. Спиридонова. В.Н. Яковенчуком передан в музей образец с пункаруйавитом, который экспонируется в витрине с новыми минералами, открытыми сотрудниками Геологического института.

Давнее сотрудничество с музеем Геологического института известного на Кольском полуострове коллекционера минералов А.С. Подлесного оказывает значительную помощь в пополнении коллекции. В экспозиции музея уже имелось 45 образцов с новыми и редкими минералами Хибинского щелочного массива, любезно предоставленных коллекционером. В 2008 г. им были переданы музею еще два новых минеральных вида Кольского полуострова - хлорбартонит и костылевит. Оба минерала найдены автором в Коашвинском карьере Хибинского щелочного массива. Особую ценность представляет образец с хлорбартонитом, поскольку ранее этот новый минерал Кольского полуострова отсутствовал в коллекции музея и теперь его можно видеть в экспозиции с новыми минералами.

Минералы, впервые обнаруженные на Кольском полуострове.

Впервые в Сахарйокском щелочном массиве на Западных Кейвах были обнаружены два ранее неизвестных для Кольского полуострова минерала – бехоит и миметит и опубликованы сотрудниками института Л.М. Лялиной и Д.Р. Зозулей [1, 2]. Бехоит относится к бериллиевым гидроксидам, миметит – к арсенатам свинца (группа апатита). Оба минерала установлены в пустотах растворения между кристаллами эгирин-авгита в пегматитах: бехоит - в пегматитовом теле эссекситов, миметит – в пегматитах на контакте нефелиновых сиенитов и щелочных габброидов (эссекситов).

В 2007 году В.В. Левицкий (г. Москва) передал музею небольшой (2х2 см) образец с первой находкой на Кольском полуострове и в России – твейтитом-(Y) [3]. В 2008 г. им же был передан музею более крупный образец твейтита-(Y) размером 15х6 см с того же участка - г. Ровгора в Западных Кейвых.

Первые находки на Кольском полуострове - бехоит, миметит и твейтит-(Y) экспонируются в витрине с редкими минералами Западных Кейв.

Коллекция минералов Хибинского и Ловозерского щелочных массивов.

Хибинский и Ловозерский щелочные массивы Кольского полуострова по праву считаются уникальнейшими минералогическими объектами, и, пожалуй, единственными в мире по количеству и разнообразию минеральных видов. По последним минералогическим сводкам в каждом из этих массивов насчитывается более 400 минеральных видов. Коллекция минералов Хибино-Ловозерского комплекса в музее значительно превосходит коллекции с других геологических объектов. Тем не менее, в музее имеются далеко не все известные в этих массивах минералы, а в имеющихся образцах отражено не все богатство красок и морфологии минералов, поэтому поступления минералов именно с этих массивов всегда вызывают большой интерес как у сотрудников музея, так и у посетителей.

Хибинский массив. Сотрудником Геологического института, известным первооткрывателем минералов Ю.П. Меньшиковым были переданы в музей минералы этого массива, которые обогатили и украсили экспозицию чкаловит, лейкофанит, лампрофиллит (2 образца) и дельхайелит. Следует отметить, что чкаловит из Хибинского массива - первое поступление в музей, поскольку ранее в коллекции имелись образцы чкаловита только из Ловозерского массива. Образец с лейкофанитом (г. Эвеслогчорр) присутствовал в музее в единственном экземпляре. Теперь коллекция пополнилась лейкофанитом с другого участка Хибинского массива - г. Кукисвумчорр. Образцы с лампрофиллитом и дельхайелитом отличаются красочностью и необычной формой кристаллов.

В экспозиции Хибинского массива музея появились два образца из старых сборов (из запасников). Определение и точная привязка образцов была сделана известным минералогом, сотрудником МГУ И.В. Пековым и сотрудником института В.Н. Яковенчуком, много лет занимающимися минералогией Хибин. Один из образцов - астрофиллит г. Малый Маннепахк, по своим свойствам отличается от других астрофиллитов, имеющихся в коллекции музея: он обладает крупнопластинчатой веерообразной формой, почти черным цветом и стеклянным блеском. Другой образец – нормандит с отрогов г. Лявочорр, с характерным коричневатым цветом и радиально-лучистой формой, пополнил немногочисленную коллекцию образцов хибинских нормандитов.

Безусловно, украсил экспозицию выставочного зала музея крупный образец, размером 40×20×26 см с натролитом в ассоциации с кристаллами серовато-белого микроклина и черного пластинчатого ильменита с г. Пик Марченко, переданный музею Ю.Л. Войтеховским.

Ловозерский массив. После летнего полевого сезона 2008 г. И.В. Пековым был передан в музей весьма оригинальный, крупный, размером 40×36×4 см, образец измененного порфировидного мурманитового луяврита с г. Флора. На темно-сером фоне основной массы породы развиты необычные полости выщелачивания виллиомита и витусита-(Ce) в форме «елочек» и «снежинок». И.В. Пеков ежегодно пополняет коллекцию музея новыми, редкими или необычными минералами Кольского полуострова.

Коллекция минералов Западных Кейв.

Самая большая коллекция минералов этого района была передана в музей Ю.Л. Войтеховским. Она представлена более 100 кристаллами альбита и 15 образцами амазонита с окраской различной интенсивности, собранными им на г. Ровгора по время полевого сезона. Три наиболее крупных образца с идиморфными кристаллами голубовато-зеленого амазонита и удлиненными сдвойникованными кристаллами альбита в серо-черном кварце, а также «полосчатый» амазонит, в котором чередуются полосы с окраской различной интенсивности, демонстрируются в музее. Остальные образцы пополнили обменный фонд.

Поскольку в последнее время появилось много заявок на коллекции минералов и руд Кольского полуострова, то не менее важной стала задача пополнения уменьшающегося с годами обменного фонда музея. За прошедший год коллекция из 21 минерала отправлена в колонию-поселение г. Оленегорск (Мурманская область) для создания там геологического музея, коллекция минералов Кейвских тундр из 52 образцов передана в Геологический музей Адыгейского государственного университета, и коллекция из 17 образцов минералов - в Институт Геологии Карельского научного центра РАН.

Список литературы

1. Лялина Л.М., Селиванова Е.А., Савченко Е.Э. и др. Бехоит $Be(OH)_2$ Сахарйокского щелочного массива, Кольский полуостров – первая находка // Геология и минералогия Кольского региона. Тр. Всеросс. (с междунар. участием) научн. конференции и IV Ферсмановской научн. сессии, посвящ. 90-летию со дня рожд. акад. А.В. Сидоренко и д.г.-м.н. И.В. Белькова. Апатиты, 4-6 июня 2007 г. Апатиты: Изд-во K & M, 2007. С. 178-179.

2. Лялина Л.М., Савченко Е.Э., Селиванова Е.А.и др. Первая находка миметита в породах Сахарйокского щелочного массива (Кольский полуостров) // Петрология и минералогия Кольского полуострова. Тр. V Всеросс. (с междунар. участием) Ферсмановской научн. сессии, посв. 90-летию со дня рожд. д.г.-м.н. Е.К. Козлова. Апатиты, 14-15 апреля 2008 г. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2008. С. 270-271.

3. Пеков И.В., Чуканов Н.В., Кононкова Н.Н. и др. Твейтит-(Y) и редкоземельные разновидности флюорита из амазонитовых пегматитов Западных Кейв, Кольский полуостров, Россия. Генетическая кристаллохимия природных Ca, REE–фторидов // Зап. ВМО. 2008. № 3. С. 76-93.

МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ХОРОГОЧИНСКОГО МАССИВА (ЮГО-ВОСТОЧНОЕ ОБРАМЛЕНИЕ СЕВЕРО-АЗИАТСКОГО КРАТОНА)

И.В. Бучко[1], А.А. Сорокин[1], М.Д. Толкачев [2]
[1] Институт геологии и природопользования ДВО РАН, г. Благовещенск
[2] Институт геологии и геохронологии докембрия РАН, г. Санкт-Петербург

В пределах юго-восточного обрамления Северо-Азиатского кратона известны крупные области проявления анортозитов анортозит-мангерит-чарнокит-гранитной (AMCG) ассоциации - Джугджурская и Каларская, что является характерной особенностью большинства древних кратонов [3, 7, 10]. В то же время, менее значительные по площадям разобщенные массивы габбро-анортозитов Кенгурак-Сергачинский, Хорогочинский и др. установлены в пределах, соответственно, Селенгино-Станового и Джугджуро-Станового супертеррейнов Северо-Азиатского кратона. Выполненные в последние годы геохронологические исследования позволили выделить два этапа проявления автономных анортозитов, относимых к AMCG - ассоциациям: раннепротерозойский (1.74 - 1.70 млрд. лет (джугджурский комплекс) [15]) и позднеархейский (2.62 млрд. лет, Каларский массив [10] и 2.63 млрд. лет, Хорогочинский массив [5]) . Следует отметить, что габбро-анортозиты претерпели воздействие наложенного высокоградного метаморфизма, возраст которого определен в 1849±15 млн. лет [16]. В постоянной ассоциации с габбро-анортозитами джугджурского и каларского комплексов наблюдаются тела ультрабазитов и пироксенитов, относимых к перидотит-пироксенитовой ассоциации. Принадлежность их к указанным комплексам дискуссионна, и, согласно существующим представлениям, они условно относились к раннему протерозою [4, 8, 13].

Хорогочинский массив расположен в бассейне одноименного ручья в пределах Ларбинского блока западной части Джугджуро-Станового супертеррейна, где занимает площадь около 20 км^2. В его составе объединены разобщенные линейные тела габбро, габбро-анортозитов и анортозитов, иногда рассланцованных, площадью первые км^2 – первые десятки км^2, среди которых отмечаются силлы и дайки роговообманковых, оливин-роговообманковых пироксенитов и перидотитов, занимаюших как секущее, так и согласное положение. Контакты габбро-анортозитовой ассоциации с вмещающими породами четкие, реже постепенные. При этом большинство выходов монопородные, но в некоторых есть слабая дифференцированность.

Наиболее крупный, отнесенный к петротипическому массив состоит из двух тел: северного и южного. Следует отметить, что для южного тела характерна грубая дифференциация, выражающаяся чередованием разнопородных участков, мощностью первые сотни метров с признаками скрытой расслоенности. Здесь по результатам полевых наблюдений выделено две ассоциации пород: нижняя - сложенная плагиопироксенитами (150 м) и оливинсодержащими пироксенитами (170 м) и верхняя – представленная лейкогаббронноритами (200 м) и анортозитами (160 м). Контакты интрузии с подстилающими кристаллическими сланцами постепенные, при этом в последних, установлены линзы ультраосновных кристаллических ортосланцев: оливиновых, двупироксен-оливиновых, с характерными акцессорными минералами – шпинелью, магнетитом, хромитом.

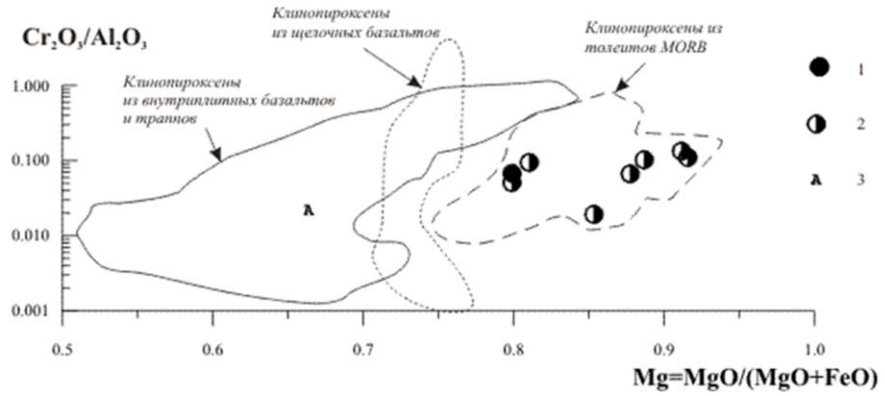


Рис. 1. Диаграммы #MgO - Cr_2O_3/Al_2O_3 для пироксенитов Хорогочинского массива.
Условные обозначения: клинопироксениты из
1 - верлитов, 2 - роговообманковых пироксенитов, 3 - анортозитов, габбро-анортозитов.

Северное тело сложено, в основном, анортозитами. Для него характерен процесс анортитизации, широко проявленный во вмещающих кристаллических сланцах в зоне экзоконтакта шириной до первых сотен метров. Не исключено, что часть анортозитов сформирована метасоматическим путем.

Вмещающими для пород Хорогочинского массива являются мигматизированные комплексы курультинской серии, с которыми тесно ассоциируют чарнокиты (древнеалданский ИК) и эндербиты (дамбукино-ларбинский ИК), связанные с проявлением метаморфизма гранулитовой фации. При этом температура их преобразования по данным двупироксенового геотермометра составила 900^{o}C, а давление 12 кбар. Эндербиты дамбукино-ларбинского ИК имеют возраст 2.67+0.06 млрд. лет (U-Pb метод), что вероятнее всего отражает время гранулитового метаморфизма [1]. Пространственная и возрастная близость позволяет предполагать, что анортозиты Хорогочинского массива и сопровождающие их чарнокиты и эндербиты относятся к единой AMCG-ассоциации.

В пределах Хорогочинского массива наблюдается пространственное совмещение двух ассоциаций пород – габбро-анортозитовой и перидотит-пироксенитовой. Преобладающими породами первой ассоциации являются

анортозиты, габбро-анортозиты, в подчиненном количестве присутствуют габбро и габбронориты. В перидотит-пироксенитовой ассоциации наибольшим распространением пользуются массивные роговообманковые и оливин-роговообманковые пироксениты, в подчиненном количестве отмечаются гарцбургиты, верлиты и вебстериты.

Габбро-анортозиты и анортозиты состоят из замещенного роговой обманкой клинопироксена, общее количество которого редко превышает 30%, и плагиоклаза, содержание которого изменяется от 80 до 70%. В качестве акцессорных минералов установлены сфен и магнетит. Следует отметить, что при повышенном содержании плагиоклаза наблюдаются постепенные переходы габброидов к анортозитам.

Клинопироксен (f=34%, где f=Fe*/(Fe*+Mg)×100) образует изометричные выделения величиной до 0.01 мм. Габбро, габбро-анортозиты и анортозиты претерпели метаморфизм амфиболитовой фации, выразившийся в замещении диопсида амфиболом, в редких случаях наблюдается гранат. Более поздние низкотемпературные преобразования пород привели к развитию хлорита по вторичному амфиболу.

Гарцбургиты, роговообманковые и оливин-роговообманковые пироксениты, вебстериты представляют собой массивные породы, почти черного цвета, состав которых определяется соотношением темноцветных минералов – оливина (5-20%), орто- (до 40%) и клинопироксенов (до 40%). При этом в качестве акцессорных минералов встречены магнетит, хромшпинель, пирит и пирротин. Микроструктура пород - мелко-среднезернистая, порфировидная, панидиоморфнозернистая, микротекстура - массивная.

Минералогические особенности. Оливин (f=22-35%) постоянно присутствует в гарцбургитах, где наблюдается в близидиоморфных выделениях размером 2×1 мм. По нему интенсивно развивается серпентин, образуя петельчатые структуры, сложенные лизардитом и магнетитом. По химическому составу оливин из ультрабазитов Хорогочинского массива характеризуется высокой железистостью 22-35%. Невысокие содержания CaO (0.043-0.044%) исключают не только возможность выделения минерала в составе кумулусных парагенезисов, в которых содержания этого элемента должны быть не менее 0.2%, но и щелочной состав исходного расплава, для оливинов которого характерны значительно более высокие значения окиси кальция >0.3% [11]. Установленные количества CaO наиболее близки оливинам, кристаллизующимся из реститовых или остаточных расплавов. Однако высокие значения температур появления ликвидусного оливина 1788°C (для гарцбургитов) и 1686°C (для верлитов), рассчитанные по [23] и их модельный состав Fo_{87} и Fo_{78} заметно более магнезиальный, чем наблюдаемый в реальности, позволяют предполагать, что ликвидусный оливин, взаимодействуя с остаточным расплавом, повышал свою железистость. Максимальные температуры и минимальная железистость свойственны минералам гарцбургитов, в которых установлены и повышенные содержания Cr_2O_3 и Na_2O.

Учитывая химический состав оливина из ультрамафитов (его большая магнезиальность и большие количества SiO_2, Cr_2O_3, MgO, Na_2O, K_2O, NiO и меньшие FeO, MnO), можно предположить, что эти породы более ранние по отношению к пироксенитам. От ранних оливинов к поздним закономерно снижаются содержания MgO, SiO_2 и увеличиваются FeO, MnO.

Ортопироксен (бронзит, f=22-27%) встречается только в гарцбургитах, где он формирует равноразмерные зерна с оливином. Крупным выделениям ортопироксена свойственно зональное строение, их центральные части густо наполнены тонкими включениями, вытянутыми вдоль спайности. Высокая железистость ортопироксена, по аналогии с составом сосуществующего оливина (f=22-27%), также может свидетельствовать об остаточной (реститовой) природе расплава, из которого он кристаллизуется. Для минералов кумулусных парагенезисов ультрабазитов, состав которых заимствован из [12], характерны низкие железистость (до 20%) и содержания TiO_2, FeO*. Наличие в гарцбургитах ортопироксена в отсутствие клинопироксена характеризует давление при кристаллизации пород не менее 8 кбар, в противном случае, при снижении давления, совместно с клиноэнстатитом появляется пижонит и диопсид-авгит.

Клинопироксен (f=7-20%) - сквозной минерал всех породных разновидностей, за исключением гарцбургитов. Размеры его зерен сопоставимы или несколько больше выделений оливина, интерстиции между которыми он занимает. Наиболее информативным для определения параметров кристаллизации и условий формирования базальтовых магм является химический состав клинопироксенов [14, 17, 25, 26]. Как отмечалось выше, в породах габбро-анортозитовой ассоциации клинопироксен по составу соответствует диопсиду (f=34%), в то время как в перидотит-пироксенитовой – авгиту (f=7-20%). Авгиты из роговообманковых пироксенитов и их оливиновых разностей характеризуются минимальной железистостью, что обусловлено максимальными содержаниями MgO (19.31-22.61%). Для клинопироксенов установлены относительно высокие содержания TiO_2 (до 1.25%) и Al_2O_3 (до 4.87%), свидетельствующие об их кристаллизации при давлении в магматической камере не более 7 кбар [25].

По зависимости магнезиальности (#Mg=MgO/(MgO+FeO)) и отношения Cr_2O_3/Al_2O_3 (рис. 1) авгиты Хорогочинского массива перидотит-пироксенитовой ассоциации наиболее близки клинопироксенам из базальтов хр. Шписс (Южная Атлантика) [14, 17] и базальтам СОХ [12].

Состав диопсидов из габбро-анортозитовой ассоциации совпадает с аналогичными минералами из верлитов перидотит-пироксенитовой ассоциации, от которых отличается более высокими f, TiO_2, FeO, Na_2O. По отношению #Mg - Cr_2O_3/Al_2O_3 клинопироксены из габбро-анортозитов попадают в поле клинопироксенов из внутриплитных базальтов и траппов (Земля Королевы Мод, Антарктида) [14], в то время как аналогичные минералы из верлитов – в поле толеитов MORB. Давление, оцененное по [25], составляет для габбро-анортозитов и верлитов около 7 кбар.

Геохимические особенности. Ультраосновные породы характеризуются относительно высокими содержаниями MgO и низкими TiO_2, Al_2O_3, CaO и на петрохимических диаграммах образуют единые тренды с габброидами, для которых установлены относительно высокие содержания MgO, низкие TiO_2 и умеренные Al_2O_3, FeO, CaO. Обособленные поля занимают анортозиты, для которых установлены высокие содержания глинозема (до 31.57%), низкие TiO_2 (до 0.21%), FeO* (до 1.51%) и MgO (до 1.83%).

В целом для пород Хорогочинского массива характерно увеличение содержаний SiO_2 и Al_2O_3, снижение FeO*, TiO_2 и CaO от гарцбургитов и верлитов к анортозитам, что свойственно для комплексов повышенной глиноземистости [6, 9, 11, 18]. В целом, по особенностям петрохимического состава, в частности, по соотношению MgO/Al_2O_3 породы габбро-анортозитовой и перидотит-пироксенитовой ассоциаций принадлежат Opx-Pl тренду, с некоторым отклонением клинопироксенсодержащих пироксенитов в область Cpx-Pl. Отчетливо проявленная тенденция увеличения содержаний SiO_2, Al_2O_3 при снижении TiO_2 и FeO* с уменьшением содержания MgO соответствует боуэновскому тренду кристаллизации исходного расплава.

Содержания редких земель в породах габбро-анортозитовой и перидотит-пироксенитовой ассоциаций Хорогочинского массива существенно ниже концентраций REE базитов внутриплитных обстановок и приближаются к базальтам N-MORB. При этом анортозиты и габбро-анортозиты характеризуются дифференцированным спектром REE ($(La/Yb)_n$=15-35), при низких концентрациях редкоземельных элементов (особенно HREE), и отчетливо выраженной положительной европиевой аномалией Eu/Eu* = 1.1-4.1. Перидотитам и пироксенитам свойственны значительно менее дифференцированные спектры REE ($(La/Yb)_n$=2.6-5.4) и хорошо проявленная отрицательная аномалия Eu/Eu* = 0.6-0.8 (рис. 2А).

Для пород Хорогочинского массива отмечаются высокие значения для Ba и Sr, минимумы для Ta, Nb, Zr и Hf, нормированные по примитивной мантии. Такие геохимические особенности характерны для магм, генерирующихся из надсубдукционной мантии. Отмечаются пониженные для надсубдукционных ультрабазит-базитовых ассоциаций содержания Rb, U, Th, Конформность спектров распределения малых элементов, за исключением Sr [для габбро-анортозитов свойственен отчетливый максимум этого элемента по отношению к примитивной мантии (185-328 г/т), в то время как для перидотитов и пироксенитов установлен минимум Sr (17-44 г/т)] позволяет полагать, что перидотит-пироксенитовая и габбро-анортозитовая ассоциации Хорогочинского массива являются дифференциатами единого магматического расплава (рис. 2Б).

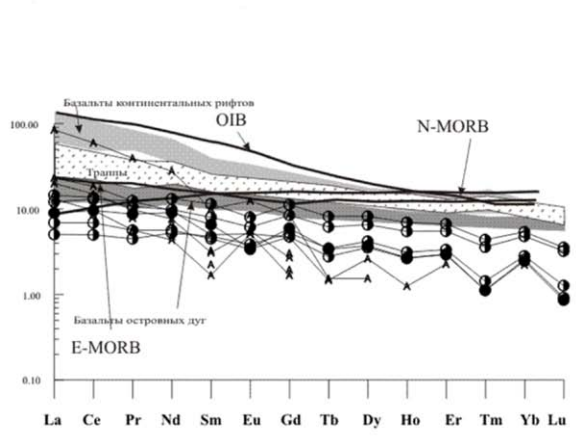


Рис. 2А. Нормированные по хондриту C_1 [24] спектры распределения РЗЭ в породах Хорогочинского массива. Условные обозначения: 1 - верлиты, 2 - пироксениты, габброиды; 3 - анортозиты, габбро-анортозиты.

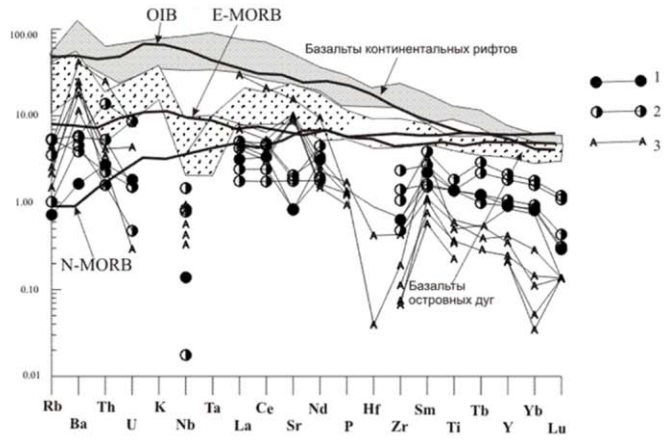


Рис. 2Б. Нормированные по примитивной мантии [24] спектры распределения малых элементов в породах Хорогочинского массива. Условные обозначения см. рис. 2А.

Породам рассматриваемого массива свойственны низкие концентрации большинства совместимых и несовместимых элементов, за исключением перидотитов, в которых установлены повышенные содержания Ni (367-1094 г/т), Co (39-50 г/т), Cr (1754-2395 г/т).

Таким образом, минералогические особенности пород Хорогочинского массива позволяют предполагать, что породы габбро-анортозитовой и перидотит-пироксенитовой ассоциаций образовались из одного источника. При этом габбро-анортозиты и верлиты могли образоваться в единой магматической камере с обособлением оливин-клинопироксеновой составляющей и всплыванием плагиоклаза. Основными закономерностями изменения состава пород в процессе кристаллизации являются: снижение FeO*, TiO_2 при увеличении SiO_2, Al_2O_3 и практически постоянных CaO при снижении #Mg, что соответствует боуэновскому тренду. Отсутствие переходных разновидностей между габбро-анортозитовой и перидотит-пироксенитовой ассоциациями свидетельствует о флотации плагиоклаза.

Для определения магматического источника первичного расплава и режима его магмогенерации использовались соотношения как петрогенных компонентов, так и редких элементов. По соотношению Ti/Y >500 установлено, что исходный расплав Хорогочинского массива соответствует составам, образующимся в результате плавле-

ния источника с присутствием граната, так как при отсутствии последнего значения Ti/Y не превышают 500 [2]. К близким выводам приводит анализ соотношения $TiO_2 – P_2O_5$. Низкие содержания обоих элементов характерны для источников магм переходной области между зонами стабильности шпинели и граната [2].

Согласно существующим моделям, литосферное растяжение приводит к адиабатическому апвеллингу горячей мантии, появлению расплавов толеитового состава и внедрению их в основании горячей мантии (андерплейтинг) [19-21]. В результате формируются высокоглиноземистые базальтоидные магмы габбро-анортозитового состава и происходит обособление оливин-ортопироксеновых расплавов. Кристаллизация большого количества плагиоклаза и его флотация в верхних частях магматических камер приводит к гравитационной неустойчивости и диапирическому всплыванию «анортозитовой каши» в верхние коровые уровни [20, 22].

Исследования выполнены при поддержке Президиума ДВО РАН (проект «Крупные магматические провинции Восточной Азии: металлогения, модели магматизма и рудообразования»).

Список литературы

1. Бибикова Е.В., Другова Г.М., Дук В.Л. и др. Геохронология Алдано-Витимского щита // Методы изотопной геологии и геохронологическая шкала. М.: Наука, 1986. С. 135-159.

2. Бин-Цюань Чжу, Яо-Гуо Ху, Сянь-Ян Чан и др. Крупнейшая магматическая провинция Эмейшань: результат плавления примитивной мантии и субдуцированного слэба // Геология и геофизика. 2005. Т. 46. № 9. С. 924-941.

3. Богатиков О.А., Летников Ф.А., Марков М.С. и др. Анортозиты и ранние этапы развития Земли и Луны // Анортозиты Земли и Луны. М.: Наука. 1984. С. 246-271.

4. Бучко. И.В. Перспективы платиноносности Каларского габбро-анортозитового массива // Проблемы геологии и разведки месторождений полезных ископаемых. Томск, 2005. С. 460-464.

5. Бучко И.В., Сальникова Е.Б., Котов А.Б. и др. Возраст и тектоническое положение Хорогочинского габбро-анортозитового массива (Джугджуро-Становой супертеррейн) // Докл. РАН. 2008. Т. 423. № 2. С. 238-242.

6. Великославинский Д.А., Биркис А.П., Богатиков О.А. и др. Анортозит-рапакивигранитная формация. Л: Наука, 1978. 296 с.

7. Гаврикова С.Н., Николаева Л.Л., Галанин А.В. и др. Ранний докембрий южной части Становой складчатой области. М.: Недра, 1991. 171 с.

8. Геологическая карта Приамурья и сопредельных территорий. Масштаб 1:2500000 // Объяснительная записка. С.-Петербург, Благовещенск, Харбин, 1999. 135 с.

9. Дмитриев Л. В., Силантьев С. А., Плечова А. А. Сравнение базальтового магматизма в условиях разной скорости спрединга на примере Срединно-Атлантического хребта (САХ) и Восточно-Тихоокеанского поднятия (ВТП) // Российский журнал наук о Земле. 2000. Т. 2. № 3/4.

10. Ларин А.М., Котов А.Б., Сальникова Е.Б. и др. Каларский комплекс (Алдано-Становой щит) – древнейший представитель анортозит-мангерит-чарнокит-гранитной магматической ассоциации: результаты геохронологических, геохимических и изотопно-геохимических исследований // Петрология. 2006. Т. 14. № 1. С. 4-24.

11. Магматические горные породы. Основные породы. Т. 3. Ред. Е.Е.Лазько, Е.В. Шарков. М: Наука, 1985. 488 с.

12. Магматические горные породы. Ультраосновные породы. Т. 5. Ред. Е.В. Шарков. М: Наука, 1988. 509 с.

13. Мартынюк М.В., Рямов С.А., Кондратьева В.А. Объяснительная записка к схеме корреляции магматических комплексов Хабаровского края и Амурской области. Хабаровск: ПГО «Дальгеология», 1990. 215 с.

14. Мигдисова Н.А., Сущевская Н.М., Латтенен А.В. и др. Оценка условий формирования базальтовых магм по составам клинопироксенов // Вестник Отделения наук о Земле РАН. 2003. № 1.

15. Неймарк Л.А., Ларин А.М., Овчинникова Г.В. и др. U/Pb возраст Джугджурских анортозитов // Докл. АН. 1992. Т. 323, № 4-6. С. 514-518; Докл. АН. 1992. Т. 323. № 3. С. 514-518.

16. Сальникова Е.Б., Ларин А.М., Котов А.Б. и др. Каларский анортозит-чарнокитовый комплекс (Алдано-Становой щит): возраст и тектоническое положение // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 2004. Т 12. № 3. С. 3-11.

17. Сущевская Н.М., Мигдисова Н.А., Беляцкий Б.В. и др. Образование обогащенных толеитовых магм в пределах западной части Африкано-Антарктического хребта (Южная Атлантика) // Геохимия. 2003. № 1. С. 1-22.

18. Шарков Е.В. Петрология магматических процессов. М: Недра, 1983. 200 с.

19. Anderson J.L., Bender E.E. Nature and origin Proterozoic A-type granitic magmatism in the southwestern Unated States Of America // Lihtos. 1989. V. 23. P. 19-52.

20. Ashwal L.D. Anorthosites. Springer-Verlag, Berlin. 1993. 422 p.

21. Emslie R. F. Anorthosite massifs, rapakivi granites, and late Proterozoic rifting of North America // Precambrian Research. 1978. № 7. P. 61-98.

22. Emslie R.F., Hamilton M.A., Theriault R.J. Petrogenesis of mid-Proterozoic Anorthosite-Mangerite-Charnockite-Granite (AMCG) complexes: Isotopic and Chemical evidence from the Nain Plutonic Suite // J. Geol. 1994. V. 102. № 5. P. 539-558.

23. Ford C.E., Russel D.G., Craven J.A., and Fisk M.R. Olivine-Liquid Equilibria: Temperature, Pressure and Composition Dependence of the Crystal/Liquid Cation Partition Coefficients for Mg, Fe2+, Ca and Mn // J. Petrol. 1983. V. 24. Part 3. P. 256-265.

24. McDonough W., Sun S-s. The composition of the Earth // Chemical Geology. 1995. V. 120. Is. 3-4. P. 223-253.

25. Nimis P. Clinopyroxene geobarometers for magmatic systems. CpxBar – Excel version by 2000.

26. Plyusnina L.P. Experimental study on metabasite equilibria, geothermometry // Experiment in the solution of topical problems in geology. M.: Nauka, 1986. P. 174-183.

ЗОЛОТО УЧАСТКА КАЙЛАРЫ

Ю.Л. Войтеховский, А.В. Чернявский, А.А. Басалаев, Е.Э. Савченко
Геологический институт КНЦ РАН, г. Апатиты, e-mail: woyt@geoksc.apatity.ru

Пана-Куолаярвинская структура – одна из наиболее перспективных на обнаружение золоторудных объектов в пределах Кольского п-ова. Этот тезис обосновывается не только её геотектонической позицией и составом слагающих пород, но и наличием в ней месторождения Майское (рис. 1). Поэтому, проводя поиски на участке Кайлары в 70 км к ССЗ, где ранее были найдены кварцевые жилы с бедной сульфидной минерализацией, авторы ориентировались на этот эталонный объект [2]. Ниже приводятся первые результаты изучения золоторудной минерализации участка Кайлары, свидетельствующие скорее об их различии, чем о сходстве.

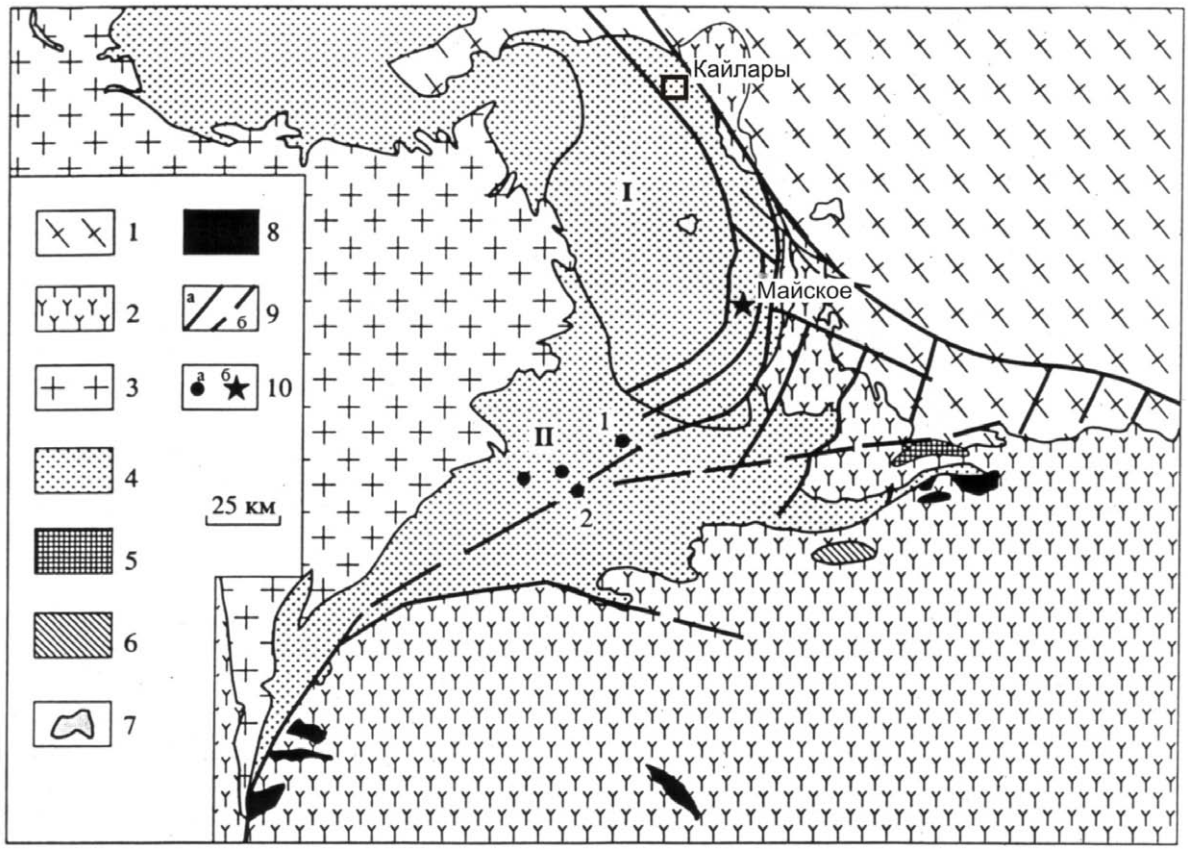


Рис. 1. Тектоническая схема Салла-Пана-Куолаярвинской части Лапландско-Карельского пояса [4].

I – Салла-Куолаярвинская структура; II – Куусамо-Панаярвинская структура; 1 – гранулиты и гнейсы Беломорского мегаблока; 2 – позднеархейские гранитоиды Карельского мегаблока (2.725-2.695 млн. лет); 3 – свекокарельские раннепротерозойские граниты (1.880-1.770 млн. лет); 4 – зеленокаменные породы; 5 – чарнокитовые граниты; 6 – калиевые граниты Нуорунен (2.450 млн. лет); 7 – палеозойские щелочные малые интрузии Салланлатва и Вуориярви (380 млн. лет); 8 – дифференцированные, первично-расслоенные перидотит-габбро-норитовые интрузии (2.340-2.400 млн. лет); 9 – глубинные разломы: прослеженные (а), предполагаемые по геофизическим данным (б); 10 – месторождения золота: золото-сульфидные (вкрапленный тип) Юмасуо (Juomasuo, а1), (Konttiaho, а2) и золото-кварцевое (жильное) Майское (б).

Главные рудные минералы в кварцевых жилах участка Кайлары – пирит, часто образующий прекрасные кристаллы кубического габитуса, и гематит, замещающий его по краям и трещинам (рис. 2, 3). Вблизи пирита в кварце установлено зерно кобальтина с квазикристаллографическими очертаниями, в краевой части зерна пирита – ксеноморфное зерно миллерита (рис. 4). Золотосодержащая минеральная ассоциация представлена мелонитом в зёрнах с более или менее кристаллографическими контурами, калаверитом и золотом в ксеноморфных зёрнах (рис. 2, 3). Все три минерала найдены в тесном срастании (рис. 2), кроме того, мелонит и золото образуют срастания между собой и отдельные зёрна, но вблизи друг друга (рис. 3). Минералы золотосодержащей ассоциации установлены в краевых частях крупных зёрен пирита.

Анализ крупных (до 1 см) идиоморфных кристаллов пирита, тщательно отпрепарированных от кварца, выявил важное обстоятельство. На кристаллах пирита преобладают грани куба, а грани ромбододекаэдра имеют

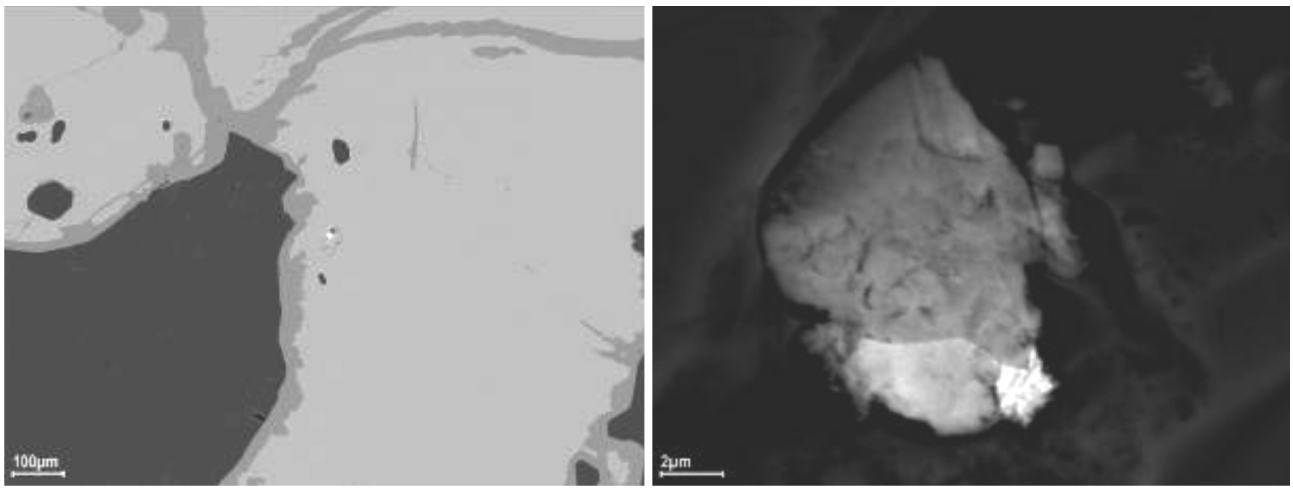


Рис. 2. Слева: серое – пирит, тёмно-серые каймы по пириту – гематит, чёрное – кварц, мелкое светлое пятно в пирите в центре – см. справа. Справа: мелонит (серое, верхняя часть), калаверит (светло-серое, внизу слева) и самородное золото (белое, внизу справа) в пирите (черное). Здесь и далее – микрозондовая диагностика, MS-46 Cameca, аналитик Е.Э. Савченко, Геологический институт КНЦ РАН, эл. вес. норм. %: мелонит – Te 81.57, Ni 18.43, формула $Ni_{0.98}Te_2$, калаверит – Te 52.85, Au 47.15, формула $Au_{1.16}Te_2$, самородное золото – Au 94.87, Ag 5.13, формула $Au_{0.91}Ag_{0.09}$.

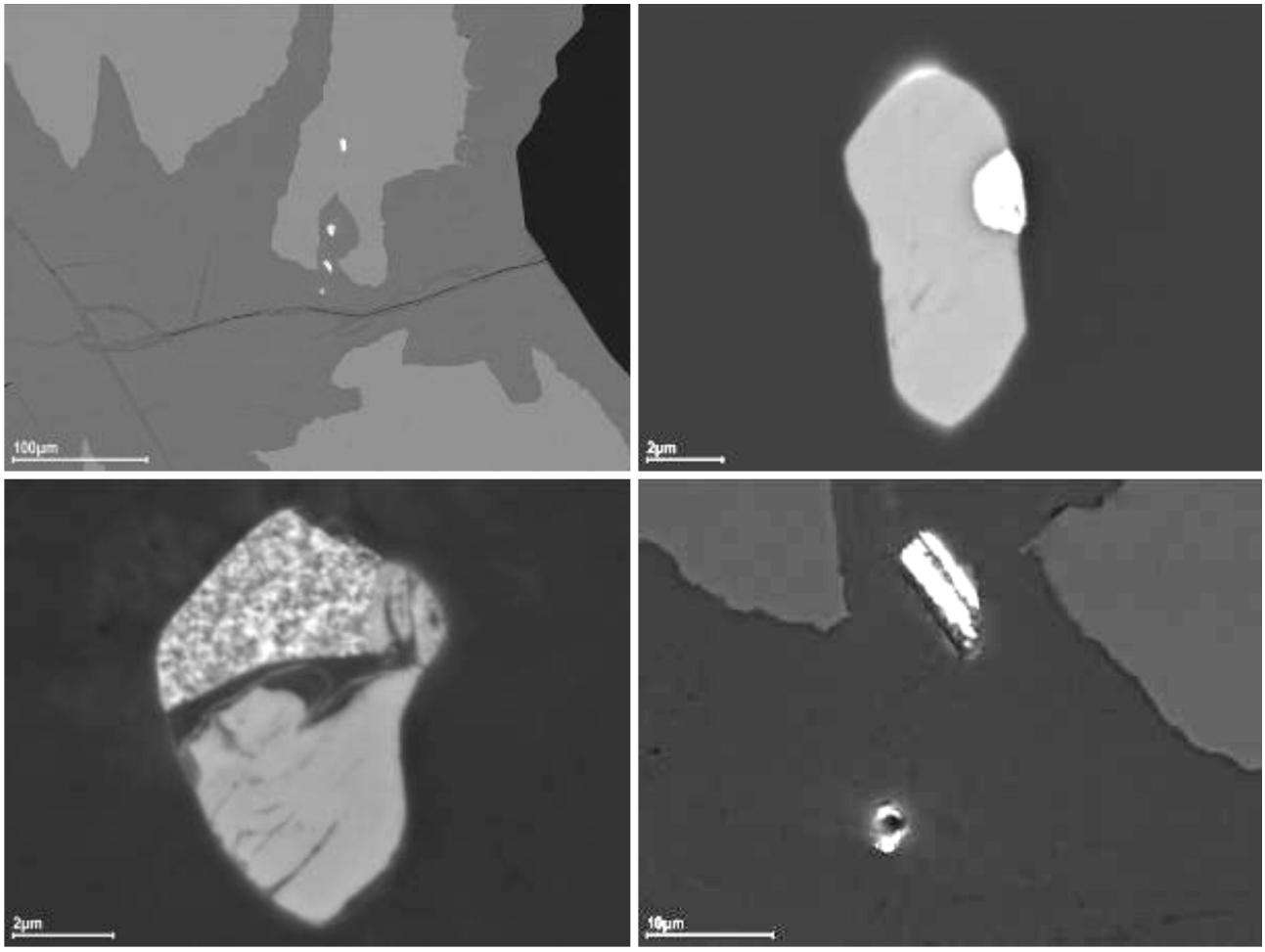


Рис. 3. Вверху слева: серое – пирит, тёмно-серое – гематит, чёрное – кварц, светлые зерна (сверху вниз) – см. далее. Вверху справа: верхнее светлое зерно в пирите, серое – мелонит $Ni_{0.96}Fe_{0.12}Co_{0.02}Te_2$, белое (зерно справа и кайма вверху) – золото $Au_{0.89}Ag_{0.11}$. Внизу слева: второе светлое зерно в гематите, серое – мелонит $Ni_{0.97}Fe_{0.21}Co_{0.02}Te_2$ и его тонкое срастание с золотом $Au_{0.80}Te_{0.11}Fe_{0.05}Ni_{0.04}$. Внизу справа: два нижних светлых зерна в гематите, вверху – мелонит $Ni_{0.98}Co_{0.06}Te_2$, внизу – золото $Au_{0.94}Ag_{0.06}$.

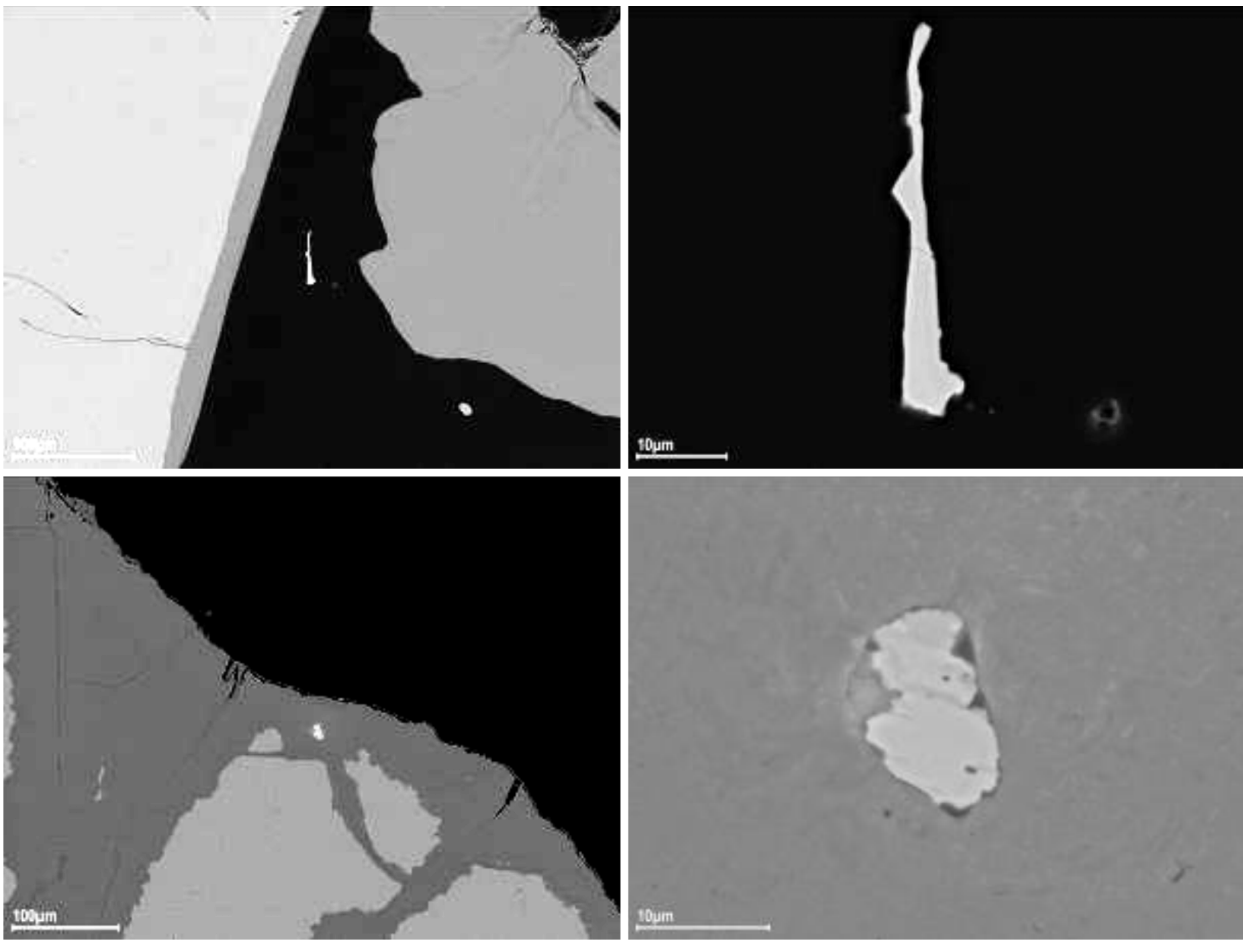


Рис. 4. Вверху слева: серое – пирит, тёмно-серое – гематит, чёрное – кварц, светлое в центре – кобальтин (вверху справа), Co 29.34, Fe 5.80, Ni 0.84, As 39.55, S 24.48, формула $Co_{0.65}Fe_{0.14}Ni_{0.02}As_{0.69}S$. Внизу слева: серое – пирит, тёмно-серое – гематит, чёрное – кварц, светлое зерно в кайме гематита – миллерит (внизу справа), Ni 61.34, Fe 4.57, S 34.10, формула $Ni_{0.98}Fe_{0.08}S$.

подчинённое значение (рис. 5). Лишь в редких случаях на мелких кристаллах пирита эти две простые формы развиты примерно одинаково (рис. 5, вверху слева). При этом на пирамидах нарастания граней куба (и только на них) установлены индукционные поверхности (псевдограни) срастания с кварцем, имеющие характерную ступенчатую морфологию и чётко проявленные псевдогексагональные контуры отпечатка кристаллов кварца на пирите (рис. 5). Это доказывает совместный рост кварца и пирита, вмещающих золотосодержащую ассоциацию [1, 3].

Таким образом, минералы-концентраторы золота установлены в виде мелких (~ мкм) зёрен в краевых зонах пирита. Это золото и (реже) калаверит в отдельных зернах или сростках с мелонитом. В кварце рядом с пиритом встречен кобальтин, в краевой зоне пирита – миллерит. По периметру и трещинам пирит интенсивно замещается гематитом. На крупных (~ 1 см) идиоморфных кристаллах пирита в пирамидах нарастания граней куба обнаружены индукционные поверхности с кварцем, что доказывает их совместный рост.

Это позволяет сформулировать схему формирования оруденения. (1) Формирование кварцевых жил с одновременной и свободной кристаллизацией пирита и кобальтина, на заключительной стадии роста пиритом захвачены самородное золото, калаверит, мелонит и миллерит. (2) Замещение пирита гематитом вдоль трещин и по периметру зерен, не приведшее к видимому изменению золотосодержащей минеральной ассоциации.

Оруденение участка Кайлары отлично от такового месторождения Майское в нескольких аспектах. Принципиальное отличие состоит в том, что на месторождении Майское золото-сульфидная минерализация явно наложена на кварц, тогда как на участке Кайлары они сингенетичны. Главные рудные минералы на месторождении Майское представлены халькопиритом, пирротином, Co-пентландитом, магнетитом, галенитом и сфалеритом, в срастании с которыми находятся золото и редкие алтаит, цумоит, костибит и галеноклаусталит. Пирротин замещается агрегатом марказита и пирита. На участке Кайлары главным рудным минералом является пирит, сингенетичный вмещающему кварцу и сопутствующей ассоциации золота, калаверита, мелонита, миллерита и кобальтина. К сходным чертам обоих объектов следует отнести то, что составы рудных минеральных ассоциаций в большей (месторождение Майское) или меньшей (участок Кайлары) степени специализированы на Ni, Co и Te. По-видимому, в этом проявляется их положение в Пана-Куолаярвинской структуре, насыщенной вулканическими и интрузивными породами основного и ультраосновного состава. Реконструкция условий и механизмов формирования золоторудных кварцевых жил участка Кайлары требует их более детального изучения, которое будет выполнено по материалам полевых работ 2009 года.

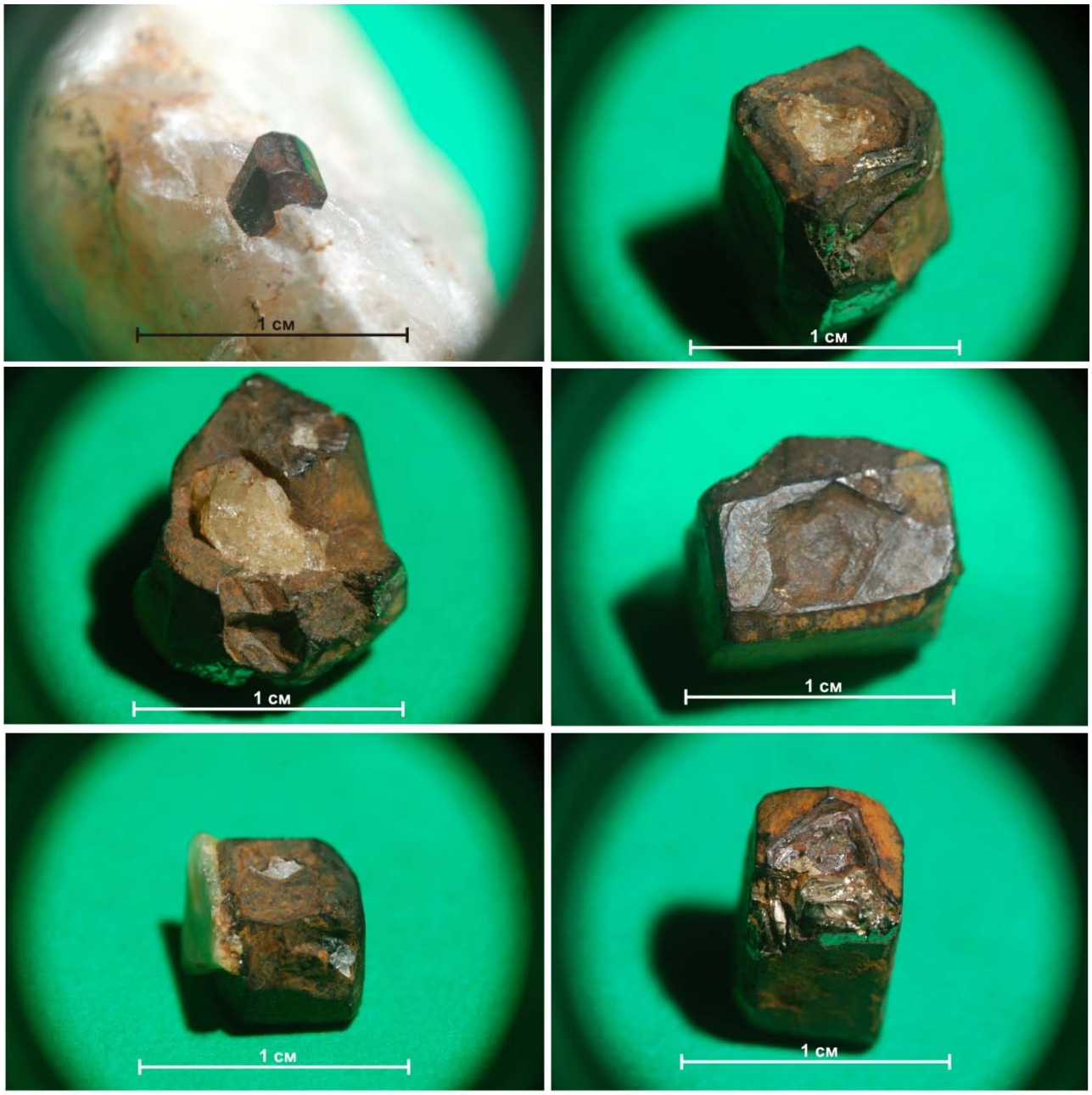


Рис. 5. Индукционные поверхности кварца на пирамидах нарастания граней куба идиоморфных кристаллов пирита.

Список литературы

1. Григорьев Д.П. Онтогения минералов. Львов: Изд-во Львовского университета, 1961. 284 с.

2. Сафонов Ю.Г., Волков А.В., Вольфсон А.А., Генкин А.Д., Крылова Т.Л., Чугаев А.В. Золото-кварцевое месторождение Майское (Северная Карелия): геологические и минералого-геохимические особенности, вопросы генезиса // Геология рудных месторождений. 2003. Т. 45. № 5. С. 429-451.

3. Чесноков Б.В. Относительный возраст минеральных индивидов и агрегатов. М.: Недра, 1974. 104 с.

4. Ward P., Harkonen I., Nurmi P.A., Pankka H.S. Structural studies in the Lapland greenstone belt, northern Finland and their application to gold mineralization // Current Research 1988. Geological Survey of Finland. Espoo, 1989. P 71-77.

СИНТЕЗ НОВЫХ АНАЛОГОВ МИНЕРАЛОВ – ФТОРОФОСФАТОЦИРКОНАТОВ РУБИДИЯ

М.М. Годнева, Д.Л. Мотов, В.Я. Кузнецов
Институт химии и технологии редких элементов и минерального сырья КНЦ РАН
г. Апатиты, e-mail: motov@chemy.kolasc.net.ru

Среди минералов, содержащих, помимо циркония, одновременно фтор и фосфор, известен только один квадруфит $Na_{11.83}Ca_{1.81}Ti_{2.4}Mn_{0.8}Zr_{0.4}(Si_2O_7)_2(P_{3.74}O_{14.5})O_4F_2$, открытый Н.П. Хомяковым. Нами из водных растворов при комнатной температуре впервые выделен искусственный аналог фторофосфатогидрофосфатоцирконат калия $K_3Zr_3F_3(HPO_4)_3(PO_4)_2$ [1]. Класс фторофосфатов щелочных и поливалентных металлов состоит из единичных соединений. Они представляют, помимо теоретического, практический интерес, так как могут проявлять ценные электрофизические свойства [5]. Фосфатные ионообменники на основе циркония получают из кислых фторидных растворов [11]. При этом возможно образование фторофосфатоцирконатов. Фтористые соединения циркония обладают рентгенолюминесценцией (РЛ) [2]. Полагали, что фторофосфатоцирконаты должны обладать более интенсивным свечением, чем соединения, содержащие одну люминогенную группу. С рубидием фторофосфатоцирконаты не были известны.

В исходные растворы $ZrO(NO_3)_2{\cdot}2H_2O$ при непрерывном перемешивании вводили RbF. По достижении однородности смесей приливали концентрированную H_3PO_4. После выстаивания смесей при комнатной температуре в течение 7–45 суток полученные осадки отфильтровывали, промывали последовательно водой, спиртом и высушивали на воздухе.

Идентификацию фаз в полученных осадках проводили с помощью рентгенофазового, кристаллооптического, термического, химического, рентгеноспектрального анализов и методом ИК-спектроскопии. Рентгенограммы записывали на приборе ДРФ-2 (графитовый монохроматор, CuK_α-излучение). Монокристалльная съемка проводилась на рентгеновских камерах РКВ и КФОР-4. Кристаллооптические определения выполнены с иммерсионными жидкостями. Термограммы снимали в неосушенном воздухе с Pt-Pt/Rh-термопарой. В качестве эталона использовали прокаленный оксид алюминия. Убыль массы определяли с помощью торзионных весов марки ВТ-1000. ИК-спектры в области частот 400–3800 $см^{-1}$ записывали с помощью спектрометра Specord M80. Образцы для съемок готовили прессованием таблеток с KBr и CsI. Химический анализ проводили по стандартным методикам. Определение фосфора, циркония и рубидия – с помощью рентгеноспектрального анализа, фтора – после двойной отгонки потенциометрическим методом, NO_3^--иона – восстановлением до аммиака, а затем методом Къельдаля. Содержание воды определяли с помощью ТГА или по потере массы после выдерживания образцов при 250°С.

При мольном отношении (м.о.) $PO_4/Zr = 0.5$ и добавке RbF до м.о. к Zr 5:1 получен мелкокристаллический осадок, в котором содержались крупные хорошо ограненные изотропные октаэдрического облика кристаллы, которые отобраны под бинокуляром. Их поверхность в ряде случаев облеплена трудно удаляемыми мелкими образованиями. Октаэдры имеют рентгенограмму (3.33, 3.62, 1.820, 5.50)[1], обладают кубической сингонией с параметром элементарной ячейки a=18.8035(7)Å, пространственной группой O_h^7 = Fd3m(227), V=6648,3(7) $Å^3$, $\rho_{расч.}$=3.45 $г/см^3$, z=32. Показатель преломления равен 1.448.

В ИК-спектре октаэдров наблюдаются узкие полосы поглощения, подтверждающие присутствие NO_3-, PO_4-групп и атомов фтора (рис. 1, спектр I), причем полуширина дублетной полосы, относимой к NO_3 группе (~100 $см^{-1}$), в два раза меньше, чем наблюдается для простого $RbNO_3$. Практическое отсутствие расщепления полос нитрат-иона характерно для азотнокислых солей с ионным типом связи. В случае координации NO_3-группы к цирконию, как это имеет место для $ZrO(NO_3)_2{\cdot}nH_2O$ [9], полоса, относимая к $\nu(NO_3)$ в области 1200-1600 $см^{-1}$, расщеплена. Полоса в области 900–1200 $см^{-1}$, присущая $\nu(PO_4)$, имеет малую полуширину (60 $см^{-1}$), что также свидетельствует об отсутствии ее координации цирконием. Таким образом, на основании ИК-спектра можно констатировать, что минерал является редко встречающейся в природе тройной солью и ее формула может быть записана как $\mathbf{ZrF_4{\cdot}Rb(PO_4)_{0.33}{\cdot}RbNO_3}$. В ИК-спектре имеется сильная полоса, относимая к концевым атомам фтора, но поскольку для Zr(IV) характерны координационные числа 6, 7, 8, а атомов фтора только четыре, в полиэдре циркония должны быть и мостиковые атомы фтора.

По данным ТА (рис. 2) минерал устойчив до 584°С (убыль массы составляет всего 0.6%). При этой температуре начинается инконгруэнтное плавление. Общая убыль массы при нагревании до 1000°С составила 40.0% при теоретически возможной 43.27%.

Другой минерал $\mathbf{RbZrF_2PO_4{\cdot}0.5H_2O}$ (3.29, 3.37, 4,43, 9.1)*[2] получен при м.о. $PO_4/Zr = 1 – 2$ и добавке $RbF/Zr = 5$ в виде сферолитов с $N_{ср}$ =1.535. В его ИК-спектре нет колебаний $\rho(H_2O)$ в области 700–800 $см^{-1}$, характерных для координированной воды, но имеются полосы кристаллизационной воды при 3500–3620 $см^{-1}$ [3]. Низкотемпературный эндоэффект на кривой ДТА вызван дегидратацией соединения. Эндоэффекты в интервале 615–700 °С обусловлены, вероятно, разложением с образованием более плотно упакованных соединений. В начале рыхлый продукт становится плотным, затем в интервале 761–796 °С происходит эндотермическая кристаллиза-

[1] Наиболее сильные линии на рентгенограмме.

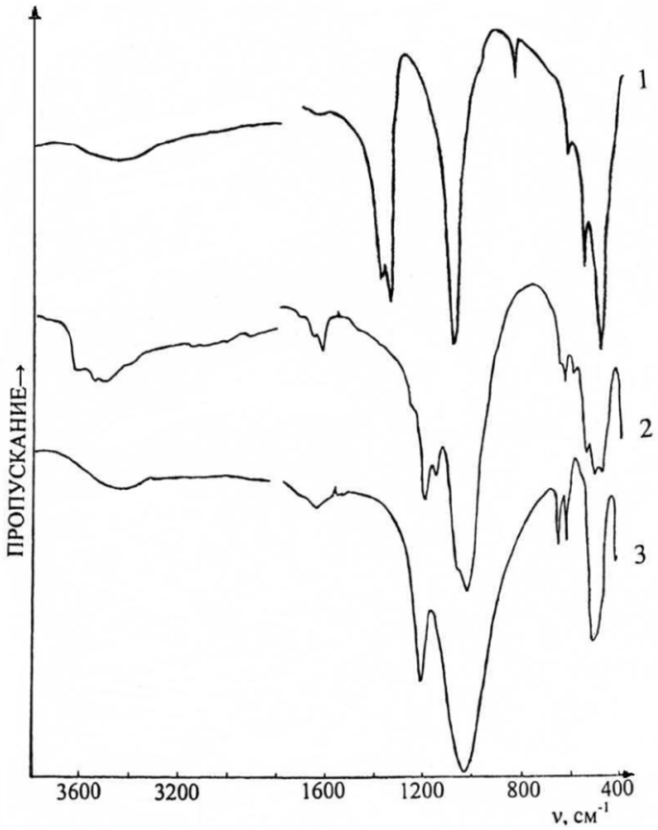


Рис. 1. ИК-спектры. 1 – $ZrF_4{\cdot}Rb(PO_4)_{0.33}{\cdot}RbNO_3$, 2 – $RbZrF_2PO_4{\cdot}0.5H_2O$, 3 – $Rb_3H_3Zr_3F_3(PO_4)_5$.

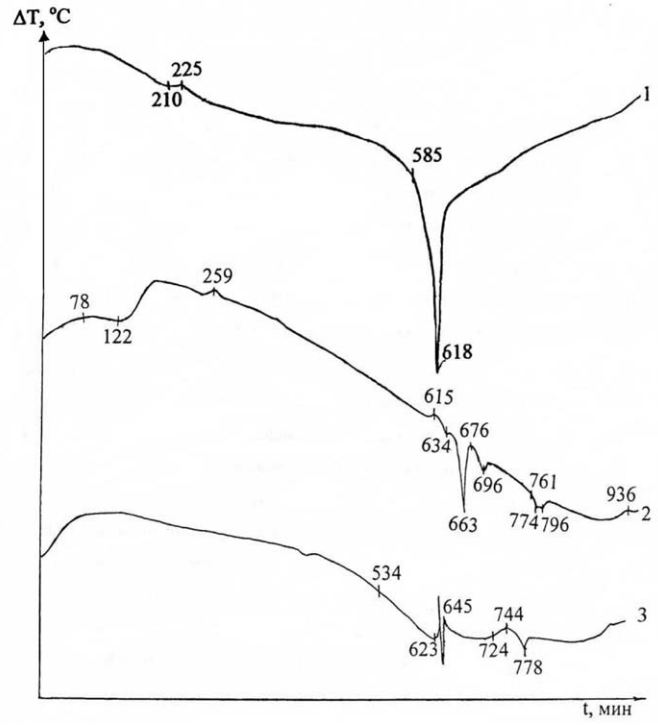


Рис. 2. Кривые ДТА. 1 – $ZrF_4{\cdot}Rb(PO_4)_{0.33}{\cdot}RbNO_3$, 2 – $RbZrF_2PO_4{\cdot}0.5H_2O$, 3 – $Rb_3H_3Zr_3F_3(PO_4)_5$. Навеска, г: 1 – 0.2324, 2 – 0.1487, 3 – 0.1141. Скорость нагрева 9°С/ мин.

ция $Rb_2Zr(PO_4)_2$ [10, карта 45–693] и $RbZr_2(PO_4)_3$[10, карта 44–9], найденных в продукте прокаливания до 950 °С, в котором также содержится ZrO_2 [10, карта 86–1449].

При м.о. PO_4/Zr = 1-2 и добавке RbF/Zr = 2 из водных растворов азотнокислого циркония был получен третий минерал **$Rb_3H_3Zr_3F_3(PO_4)_5$** (3.11 3.16 3.83 5.56) [2], кристаллы которого представляют собой мельчайшие (~2μ) слабо анизотропные зерна со средним показателем преломления N = 1.595. Этот минерал является ортофосфатом как по формульному составу, так и по данным ИК-спектроскопии. Для групп HPO_4 и H_2PO_4 должно быть поглощение при 940-1010 $см^{-1}$, относимое к $\nu_s(PO_3)$, а также при 1210–1260 $см^{-1}$ – δ(POH) [6, 8], которых нет в спектре полученного минерала. В то же время полосы поглощения PO_4-группы $\nu_3(PO_4)$ и $\nu_4(PO_4)$ расщеплены, что свидетельствует о понижении симметрии фосфатных групп до C_{3v} (по две таких полосы). Ранее для фторофосфатов было найдено [7], что частоты валентных колебаний атомов фтора лежат в области спектра, свободной от частот колебаний PO_4-групп. Во всех спектрах имеется поглощение 500–510 $см^{-1}$, которое относится к колебаниям концевых атомов фтора. При этом не исключено наличие мостиковых атомов фтора, которые находят отражение в спектрах при более низких частотах.

На кривой ДТА этого минерала имеется два высокотемпературных эндоэффекта выше 600°С, т.е. фторофосфат устойчив. Перед началом первого весьма узкого эндоэффекта на кривой ДТА наблюдается небольшой скачок вверх. Такой вид кривой ДТА объясняют перегревом, когда имеет место стадия распада, а затем “запаздывание” разложения одного из образовавшихся продуктов [4]. После распада преобладает $RbZr_2(PO_4)_3$ и в малом количестве присутствует примесь неустановленного состава. После второго эндоэффекта заканчивается убыль массы. При этом в продукте прокаливания содержатся те же соединения, что и для $RbZrF_2PO_4{\cdot}0.5H_2O$, т.е. помимо $RbZr_2(PO_4)_3$ появляются $Rb_2Zr(PO_4)_2$ и ZrO_2.

Работа выполнена при финансовой поддержке Программы Президиума РАН “Разработка методов получения химических веществ и создание новых материалов. (Подпрограмма: Направленный синтез неорганических веществ с заданными свойствами и создание функциональных материалов на их основе)”

Список литературы

1. Годнева М.М., Мотов Д.Л., Кузнецов В.Я. Фазообразование по разрезу системы $ZrO(NO_3)_2$-KF-H_3PO_4-H_2O при отношении PO_4^{3-}/Zr = 1.5-2.0 // Журн. неорган. химии. 2008. Т. 53. № 10. С. 1770-1775.

2. Годнева М.М., Мотов Д.Л., Борозновская Н.Н. и др. Синтез фтористых соединений циркония (гафния) и их рентгенолюминесцентные свойства // Журн. неорган. химии. 2007. Т. 52. № 5. С. 725-730.

3. Годнева М.М., Никитина С.Д., Мотов Д.Л.и др. Установление химических связей в сульфатофтороцирконатах калия методом ИК-спектроскопии // Журн. неорган. химии. 2001. Т. 46. № 5. С.799.

4. Егунов В.П. Введение в термический анализ. Самара, 1996. 270 с.

5. Нагорный П.Г., Капшук А.А., Корниенко З.И. и др. Синтез и структура нового фторфосфата $Na_5Cr(PO_4)_2F_2$ // Журн. неорган химии. 1990. Т. 35. № 4. С. 839-842.

6. Печковский В.В., Мельникова Р.Я., Дзюба Е.Д. и др. Атлас инфракрасных спектров фосфатов. Ортофосфаты. М.: Наука, 1981. 248 с.

7. Фомичев В.В., Зимина Г.В., Нагорный П.Г. и др. Колебательные спектры двойных фторидофосфатов // Журн. неорган. химии. 2000. Т. 45. № 11. С. 1889-1893.

8. Черноруков Н.Г., Жук М.И., Великжанина Е.Н. Получение и исследование двойных фосфатов гафния и натрия // Журн. неорган. химии. 1989. Т. 34. № 7. С. 1738-1741.

9. Bénard-Rocherullé P., Rius J., Louër D. Structural Analysis of Zirconium Hydroxide Nitrate Monohydrate by X-ray Powder Diffraction // J. Solid State Chemistry. 1997. V. 128. P. 295.

10. The Powder Diffraction File. International Centre for Diffraction Data.

11. Troup J.M., Clearfield A. On the Mechanism of Ion Exchange in Zirconium Phosphates // Inorg. Chem. 1977. V. 16. № 12. P. 3311-3314.

БАОТИТ ИЗ ЛАМПРОИТОВОЙ ДАЙКИ КВАЛОЙЯ, СЕВЕРНАЯ НОРВЕГИЯ

Д.Р. Зозуля[1], Л.М. Лялина[1], К. Куллеруд[2], И.К. Равна[2], Е.Э. Савченко[1]
[1]Геологический институт Кольского НЦ РАН, г. Апатиты, e-mail: zozulya@geoksc.apatity.ru
[2]Департамент геологии, Университет Тромсе, Тромсе, Норвегия

Серия даек ультракалиевого состава была недавно обнаружена на острове Квалойя (Северная Норвегия) в пределах развития докембрийского фундамента Западного Тромсе [2]. Фундамент представляет «окно» размером 120×20 км в комплексе каледонид и состоит в основном из пород тоналит-тронджемит-гранодиоритового комплекса (2.9-2.6 млрд. лет) и зеленокаменных поясов (2.84-2.6 млрд. лет), комплекса даек основного состава (2.4 млрд. лет), интрузий габбро-диоритов и гранитов (1.8-1.7 млрд. лет) [12]. Дайки секут граниты с возрастом 1.8 млрд. лет, имеют мощность от 0.1 до 1 м и в пределах единого линеамента прослежены в западном простирании на 5 км.

Порода имеет порфировую структуру с вкрапленниками флогопита (до 5 об. %) размером 1-5 мм. Иногда флогопит имеет зональное строение, при этом краевые участки представлены тетраферрифлогопитом, что следует из обратной схемы плеохроизма. Основная масса состоит из К-магнезиоарфведсонита (30-40 об. %), ортоклаза (40-50 об. %) и акцессорных минералов - апатит (5-7 об. %), баотит (до 3 об. %), рутил (1-3 об. %), циркон, кварц и барит. В некоторых образцах обнаружены единичные зерна Ti-эгирина, магнезиальной слюды с аномально низким содержанием Al_2O_3 (1-2 мас. %) и неизвестной минеральной фазы - Na-Mg-Ba фосфата. Вторичный минерал представлен хлоритом (5-7 об. %). По составу породообразующих минералов (высокие K_2O (4.5-6.0 мас. %) и TiO_2 (0.7-3.5 мас. %) в магнезиоарфведсоните, повышенное содержание FeO (1.6-3.6 мас. %) в ортоклазе, низкие Al_2O_3 (9.2-10.7 мас. %) и высокие TiO_2 (2.1-2.6 мас. %) во флогопите) и химическому составу пород (SiO_2 = 54.8-56.8 мас. %, MgO = 4.9-6.2 мас. %, CaO = 3.1-4.2 мас. %, TiO_2 = 3.2-4.0 мас. %, BaO = 0.55 - 1.47 мас. %, P_2O_5 = 2.5-3.0 мас. %, Zr = 2650-3000 ppm, ∑REE = 900-1260 ppm, Sr = 2300-2500 ppm, Cr = 270-350 ppm, Ni = 240-320 ppm, K/Na = 2.3-2.9, K/Al = 1.0-1.2, K_{agp} =1.4-1.7, Mg# = 65-73, La/Yb_n = 100-140 [2]) породу можно отнести к лампроитам переходного типа.

Перечисленные особенности химического состава породы не только определяют специфику состава породообразующих минералов, но и уникальность акцессорной минерализации. При этом основными факторами явились аномально высокие содержания в породе Ba, Ti, Sr, P, REE. Это отразилось в появлении первичных акцессорных Ti-Ba силикатов (баотит) и Na-Ba-Mg фосфатов, а также Sr-Y-REE-апатита.

Баотит $Ba_4(Ti,Nb)_8Si_4O_{28}Cl$ - весьма редкий минерал - впервые установлен в гидротермальных кварцевых жилах, генетически связанных со щелочными граносиенитами месторождения Байан-Обо, Китай [5]. На сегодняшний день баотит известен в 13 месторождениях мира, но для некоторых из них существуют только упоминания о находке минерала без результатов его изучения. Проявления баотита связаны с: 1) карбонатитами и карбонатитовыми дайками [8, 9, 16]; 2) щелочно-гранитными пегматитами и гидротермалитами [5, 11, 14]; 3) лампрофировыми дайками [13]; 4) натролитовыми жилами [4, 17]; 5) щелочными метасоматитами [1, 7, 15]; 6) жилами альпийского типа [10].

Баотит из разных проявлений имеет переменный химический состав, что обусловлено главным образом широким изоморфизмом Ti и Nb. Максимальные значения Nb_2O_5 (до 30.2 мас. %) отмечены для баотита из карбонатитов, при этом содержание TiO_2 уменьшается до 7.9 мас. % [8, 16]. Наиболее низкие содержания Nb_2O_5 и при этом высокие TiO_2 обнаружены в баотите из лампрофиров (0.22-2.72 и 39.94-41.54 мас. %, соответственно) [13]. Содержание Cl в ранее исследованных образцах баотита варьирует в пределах 1.3-2.7 мас. %.

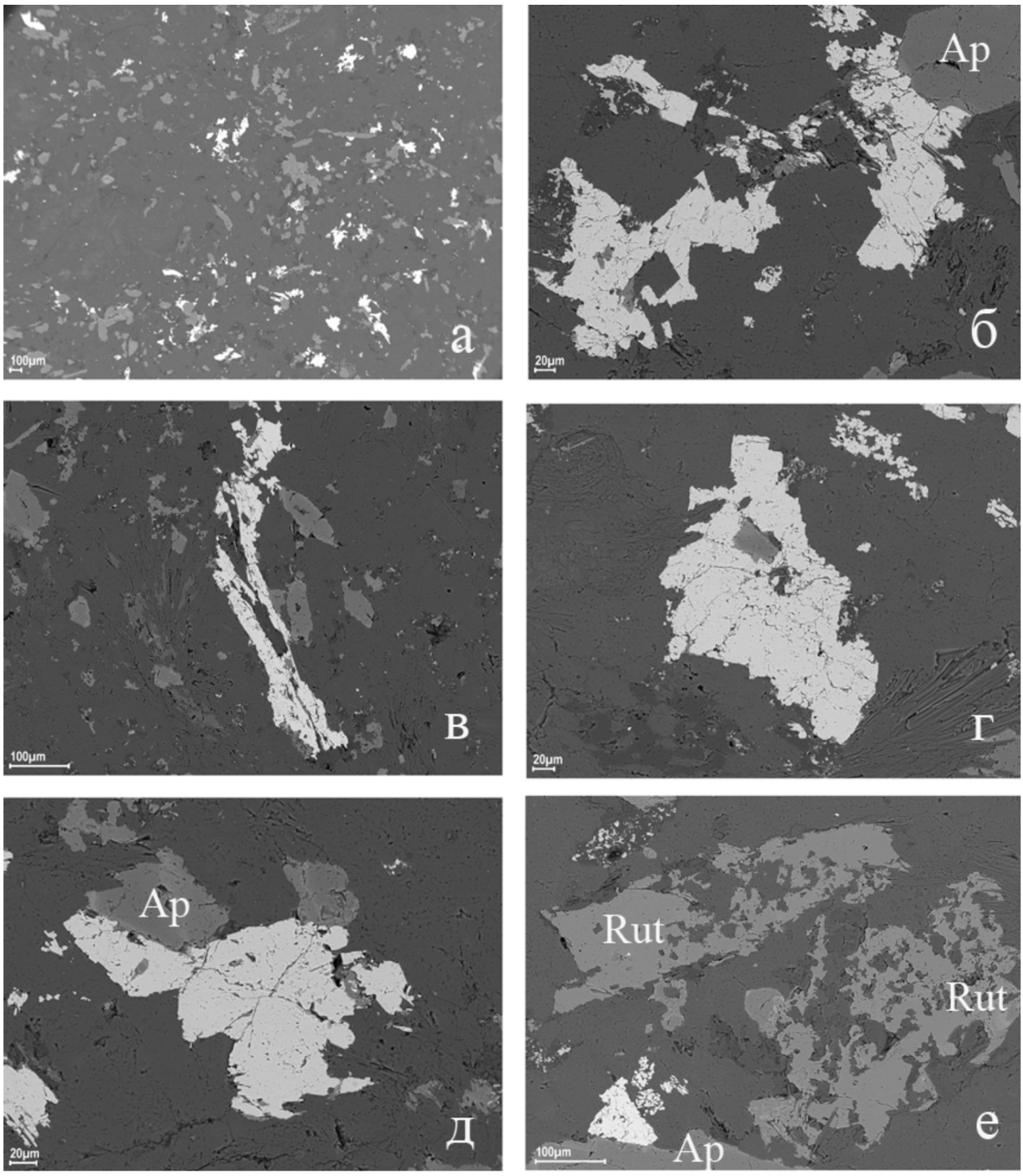


Рис. 1. Распределение баотита (самый светлый) и апатита (серый) в ортоклаз-амфиболовой основной массе породы (а) и морфология выделений баотита (б, в, г, д) и рутила (е) в дайке Квалойя (РЭМ-фото). Ap – апатит; Rut – рутил.

В качестве изоморфных примесей баотит почти всегда содержит железо, кальций, алюминий, тантал, стронций (от долей до первых мас.%).

Для объяснения значительных вариаций состава баотита предлагались разные схемы изоморфных замещений. Сохранение электронейтральности структуры при вхождении ниобия в октаэдрическую позицию титана возможно следующими способами: 1) одновременное вхождение в эту же позицию двух- и трехвалентных катионов (Fe^{3+}, Al^{3+}, Mg^{2+}, Fe^{2+}), 2) частичное замещение кремния алюминием в тетраэдрической позиции, либо 3) образование вакансий в позиции двухвалентных катионов [8, 10, 13]. Вопрос о роли хлора в составе минерала остается самым неясным. Считается, что атомы хлора занимают крупные полости (или полые каналы) между парами колец [SiO_4]-тетраэдров [3, 6], что, возможно, делает атомы хлора относительно подвижными в структуре минерала. Следствием этого является крайне непостоянное содержание хлора в баотите, возможность «корреляции» его с разными катионами и неучастие в сохранении электронейтральности структуры [5, 8, 13].

Баотит в дайке Квалойя распространен неравномерно: от 1 до 3 об.%, обогащая отдельные участки до значений породообразующего минерала (5-6 об.%). Минерал образует изометричные и удлиненные зерна с сильно изрезанными границами (рис. 1 а-д), часто трещиноват и дезинтегрирован. Размеры индивидов варьируют от 10 до 500 мкм. Макроскопически баотит прозрачен, имеет стеклянный блеск и цвет от светло-коричневого до желтого. Последний обусловлен спецификой его химического состава (низкое содержание ниобия, см. ниже). Обычно размещается в полевошпат-амфиболовой основной массе. Часто находится в срастании с апатитом и включает его зерна (рис. 1 б, г). Контакты с другим Ti минералом, рутилом, не наблюдаются.

По химическому составу баотит из дайки Квалойя относится к низкониобиевым разностям (табл. 1), что и обуславливает светлую окраску минерала. Содержание изоморфного ему титана достигает 39.4-41.4 мас. % TiO_2. Минерал имеет повышенные значения BaO (39.30-40.97 мас. %), характерные именно для низкониобиевых разностей. Анализ кристаллохимических формул показывает, что компенсация заряда при замещении $Ti^{4+} \leftrightarrow Nb^{5+}$ происходит по перечисленным выше схемам. Практически во всех образцах (табл. 1) алюминий входит в тетраэдрическую позицию $[Si, Al]^{IV}$, титан частично замещается трехвалентными катионами Fe (и Al) и двухвалентного Mg. Дополнительный эффект возможен не за счет образования вакансий в позиции бария, как это предложено в [13], а за счет вхождения одновалентного калия, что следует из обратной корреляции Ba и K (рис. 2). Таким образом, полная схема изоморфизма будет иметь вид:

$$2Ti^{4+} + Ba^{2+} \leftrightarrow Nb^{5+} + Me\ (Fe^{3+}, Al^{3+}, Mg^{2+}) + 2K^{+}.$$

Что касается хлора, то в образцах из дайки Квалойя проявляется прямая корреляция с барием и слабая обратная с ниобием (рис. 2) и может быть предложена следующая схема замещения $Ba^{2+} + Cl^{-} \leftrightarrow K^{1+}$.

Таблица 1. Химические составы (мас. %) баотита из лампроитовой дайки Квалойя.

Оксиды	NT-5-1	NT-5-2-1	NT-5-2-2	NT-5-2-3	NT-5-2-4	NT-5-2-5
SiO_2	16.23	15.02	15.26	15.74	15.61	15.34
TiO_2	41.43	40.71	41.10	40.14	39.40	40.64
Al_2O_3	0.15	0.06	0.08	0.10	0.00	0.06
Nb_2O_5	0.39	0.40	0.27	0.21	0.27	0.25
Fe_2O_3	0.16	0.16	0.07	0.12	0.05	0.12
MgO	0.00	0.08	0.08	0.00	0.00	0.00
CaO	0.00	0.03	0.06	0.02	0.00	0.03
BaO	40.16	40.62	39.26	40.60	40.97	40.64
SrO	0.26	0.44	0.38	0.39	0.42	0.27
K_2O	0.20	0.14	0.36	0.15	0.12	0.14
Cl	2.18	2.22	2.29	2.31	2.35	2.20
Сумма	101.16	99.88	99.21	99.78	99.19	99.69
	Кристаллохимическая формула (расчет на 28 (O))					
Si	4.075	3.882	3.924	4.060	4.072	3.958
Al^{IV}		0.020	0.025			0.017
∑	4.075	3.902	3.949	4.060	4.072	3.975
Al^{VI}	0.042			0.029		
Ti	7.822	7.911	7.951	7.788	7.730	7.887
Nb	0.044	0.047	0.031	0.025	0.031	0.029
Fe^{3+}	0.030	0.031	0.014	0.022	0.009	0.023
Mg		0.030	0.031			
∑	7.937	8.019	8.027	7.864	7.770	7.939
Ba	3.950	4.113	3.957	4.105	4.188	4.109
Ca		0.009	0.015	0.006		0.008
Sr	0.038	0.065	0.057	0.057	0.063	0.040
K	0.063	0.047	0.119	0.048	0.041	0.048
∑	4.051	4.234	4.148	4.216	4.292	4.205
Cl	0.929	0.972	0.997	1.008	1.039	0.978

По содержанию видообразующих катионов (Ba, Ti, Nb, Si) наиболее близок к описываемому минералу баотит из лампрофиров Богемского массива [13]. В обоих случаях минерал представлен низкониобиевой разно-

видностью с высоким содержанием титана (рис. 2). Также баотит в обоих месторождениях имеет повышенные значения BaO. Различия проявляются в содержании элементов-примесей (пониженные Al, Fe, Ca, присутствие K и Sr) и в более высоком количестве Cl для баотита Квалойя (рис. 2). Это, вероятно, обусловлено различиями химических составов исходных расплавов.

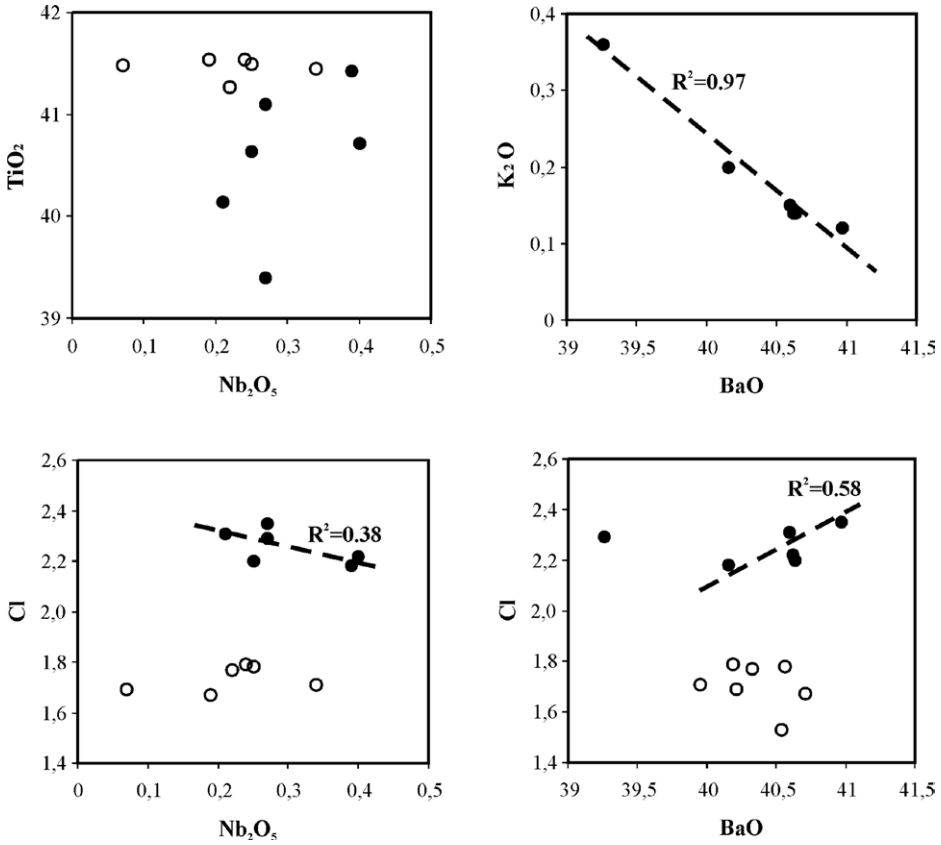


Рис. 2. Составы баотита из лампроитовой дайки Квалойя (залитые знаки) и лампрофиров Богемии (прозрачные знаки) на диаграммах Nb_2O_5-TiO_2, Nb_2O_5-Cl, BaO-K_2O и BaO-Cl.

Исходя из ксеноморфной морфологии баотита, можно сделать вывод о том, что минерал в дайке Квалойя является одной из наиболее поздних фаз. Образование минерала обусловлено аномально высокими содержаниями бария и титана в исходном расплаве, а также высокой скоростью его кристаллизации. В результате, указанные элементы не полностью вошли как изоморфные примеси в кристаллические структуры относительно ранних породообразующих минералов (калиевый полевой шпат, амфибол, флогопит), но и образовали собственную минеральную фазу. Дополнительную роль сыграло низкое содержание кальция в расплаве и его полное вхождение в структуру ранее закристаллизовавшегося апатита, о чем свидетельствует отсутствие титанита. Оставшийся после кристаллизации баотита титан «ушел» на образование рутила.

Список литературы

1. Ефимов А.Ф., Еськова Е.М. Минералогия щелочных метасоматитов западного склона Урала // Новые данные по геологии, минералогии и геохимии щелочных пород. М.: Наука, 1973. С. 90-128.

2. Зозуля Д.Р., Куллеруд К., Равна Е.К. и др. Щелочные породы и лампроиты фундамента Западного Тромсе, Норвегия // Геохимия магматических пород. Материалы XXV Всероссийского семинара с участием стран СНГ. Школа «Щелочной магматизм Земли». Санкт-Петербург-Москва: ГЕОХИ РАН, 2008. С. 61-62.

3. Некрасов Ю.В., Пономарев В.И., Симонов В.И. и др. Уточнение атомной структуры баотита и изоморфные отношения в этом минерале // Кристаллография. 1969. Т. 14. С. 602-609.

4. Пеков И.В., Чуканов Н.В., Турчкова А.Г. Новое в минералогии Хибинского массива. Матер. межд. симп. «Минералогические музеи в XXI веке». Санкт-Петербург, 2000. С. 80-82.

5. Семенов Е.И., Хун Вен-Син, Капитонова Т.А. О новом ниобиевом минерале баотите // Докл. АН СССР. 1961. Т. 136. № 4. С. 915-916.

6. Симонов В.И. Баотит – минерал с метасиликатными кольцами $[Si_4O_{12}]$ // Кристаллография. 1960. Т. 5. С. 544-546.

7. Шурига Т.Н., Рябева Е.Г., Дубакина Л.С. Баотит – новая находка в СССР // Докл. АН СССР. 1980. Т. 252. № 5. С. 1220-1223.

8. Cooper A. F. Nb-rich baotite in carbonatites and fenites in Haast River, New Zealand. // Miner. Magazine. 1996. V. 60. N 3. P. 473-482

9. Heinrich E.W., Boyer W.H., Crowley F.A. Baotite (Pao-T'ou-K'uang) from Ravalli County, Montana // Amer. Miner. 1962. V. 47. P. 987-993.

10. Johan Z., Johan V., Besson M. Tungsten-bearing baotite from Pierrefitte, Pyrenees, France // Miner. and Petrol. 1991. V. 45. P. 19-27.

11. Karpenko V., Pautov L. Formation of baotite in alcaline rocks of a moraine of Dara-i-Pioz glacier, Tadjikistan // Neues Jahrbuch für Mineralogie - Monatshefte. 2002. N 10. P. 459-467.

12. Kullerud K., Skjerlie K.P., Corfu F., de la Rosa J. The 2.40 Ga Ringvassoy mafic dykes, West Troms Basement Complex, Norway: the concluding act of early Paleoproterozoic continental breakup // Precambrian Res. 2006. V. 150. P. 183-200.

13. Nemec D. Baotite – a rock-forming mineral of Ba-rich hyperpotassic dyke rocks // Neues Jahrbuch fur Mineralogie – Monatschefte. 1987. N 1. P. 31-42.

14. Obodda H.P., Leavens P.B. Zagi mountain - Northwest frontier province, Pakistan // Miner. Record. 2004. V. 35. P. 205-220.

15. Potter E.G., Mitchell R.H. Mineralogy of the Deadhorse Creek volcaniclastic breccia complex, northwestern Ontario, Canada // Contrib. to Miner. and Petrol. 2005. V. 150. P. 212-229.

16. Wall F., Williams C.T., Wooley A.R. Pyrochlore from weathered carbonatites at Lueshe, Zair // Miner. Mag. 1996. V. 60. P. 731-750.

17. Wise W.S, Gill R.H. Minerals of the Benitoite Gem mine // Miner. Rec. 1977. V. 8. P. 442-452.

ГЛУБИННЫЙ КСЕНОЛИТ-ВЕБСТЕРИТ ИЗ ЖЕРЛОВОЙ ФАЦИИ КОНТОЗЕРСКОЙ КАЛЬДЕРЫ

В.Ю. Калачев, А.В. Волошин, Е.Э. Савченко
Геологический институт КНЦ РАН, г. Апатиты, e-mail: kalatchev@geoksc.apatity.ru

Контозерский вулканоплутонический комплекс прорывает позднеархейские гранитоиды Центрально-Кольского блока и выполняет кальдерообразную депрессию диаметром 8 км в районе оз. Контозеро в 60 км к северо-востоку от п. Ловозеро. Её выполняют интрузивные породы и вулканогенно-осадочные породы ловозерской и контозерской свит (рис. 1).

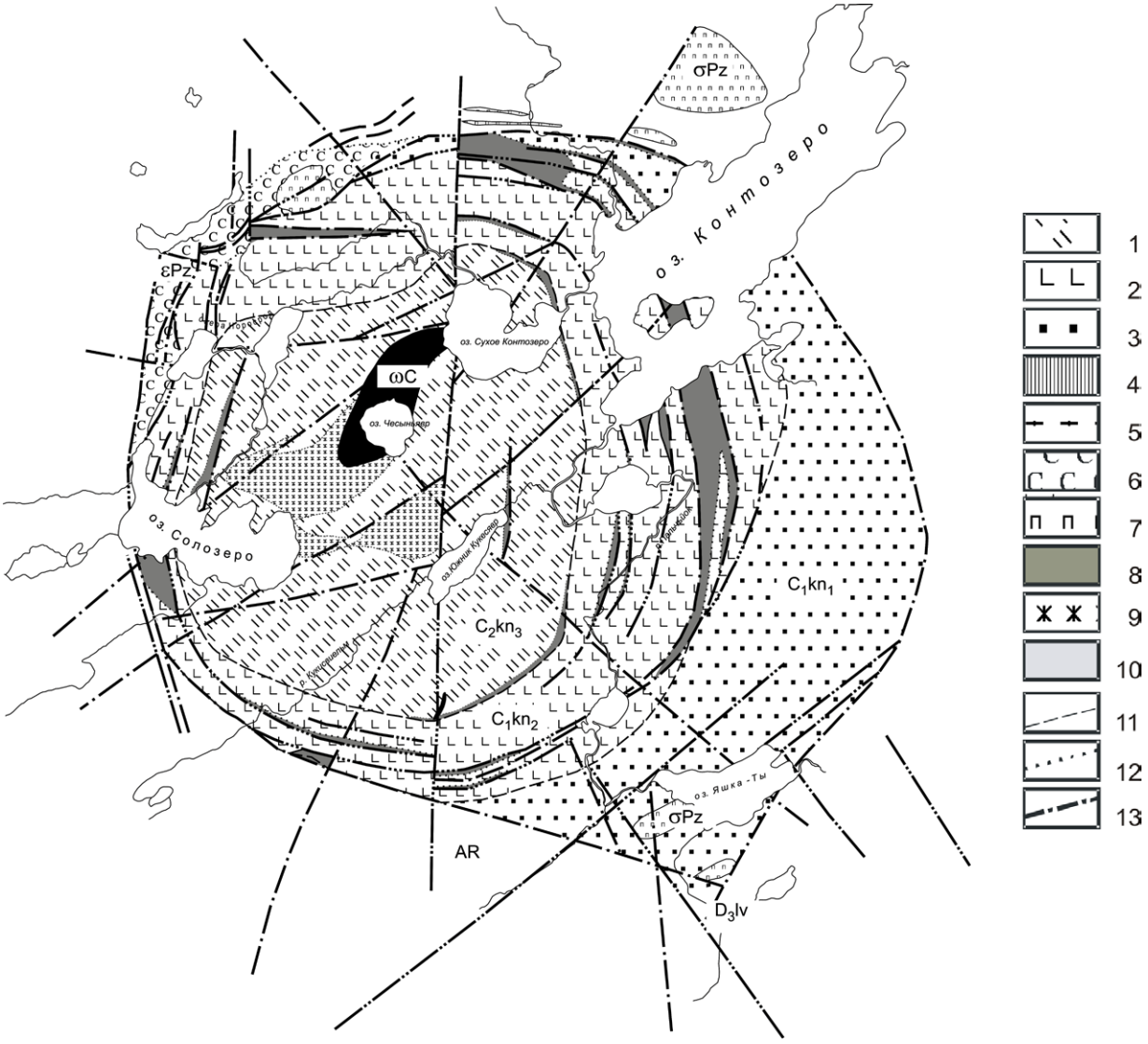


Рис. 1. Схематическая геологическая карта района Контозера (по материалам Л.Г. Сапрыкиной,1978).

Контозерская свита: 1 - верхняя толща; 2- средняя толща; 3 - нижняя толща; 4 - ловозерская свита; 5 - гнейсы и гранито-гнейсы AR; интрузивный комплекс: 6 - нефелиновые сиениты; 7 - пироксениты; 8 - порфиритовые пикриты; 9 - жерловый комплекс: агломератовые туфы и туфобрекчии; 10 - метасоматиты цеолит-анкеритовые, доломит-анкеритовые; геологические границы: 11 - между толщами; 12 - между фациальными разновидностями; 13 - разрывные нарушения.

Среди вулканогенных пород Контозера выделяется жерловый комплекс, к которому отнесены карбонатитовые агломератовые туфы и туфобрекчии. По данным картировочного бурения (Сапрыкина, 1978) породы жерлового комплекса располагаются между озерами Солозеро и Чесынъявр, где они слагают секущее тело сложной конфигурации, общей площадью около 2 км^2. По этим же данным между озерами Солозеро и Сухое Контозеро на породах субвулканической интрузии пикритовых порфиритов и карбонатитов развита карбонатно-вермикулитовая кора выветривания мощностью от 3 до 21,4 м.

При проведении горных работ 2008 года установлено наличие в этих корах наиболее устойчивых к выветриванию обломков пород разнообразного состава, которые, по-видимому, являются ксенолитами из эруптивных брекчий жерловой фации. В канаве, пройденной по коре выветривания, на границе поля распространения порфиритовых пикритов обнаружена порода ярко-зеленого цвета в виде округлого обломка размером около 10 см в диаметре (образец КОНТ 08-02), который при ударе молотком раскололся на несколько более мелких обломков (рис. 2а). При дальнейших работах найден аналогичный обломок в другой канаве, что позволяет сделать вывод о неслучайном нахождении таких пород в корах выветривания. Дальнейшие исследования породы рентгено-фазовым анализом показали наличие в ней трех минералов: 1-группы авгита – зеленый минерал; 2-группы энстатита – бурый прозрачный минерал и 3-амфибол – темно-коричневый минерал (рис. 2б).

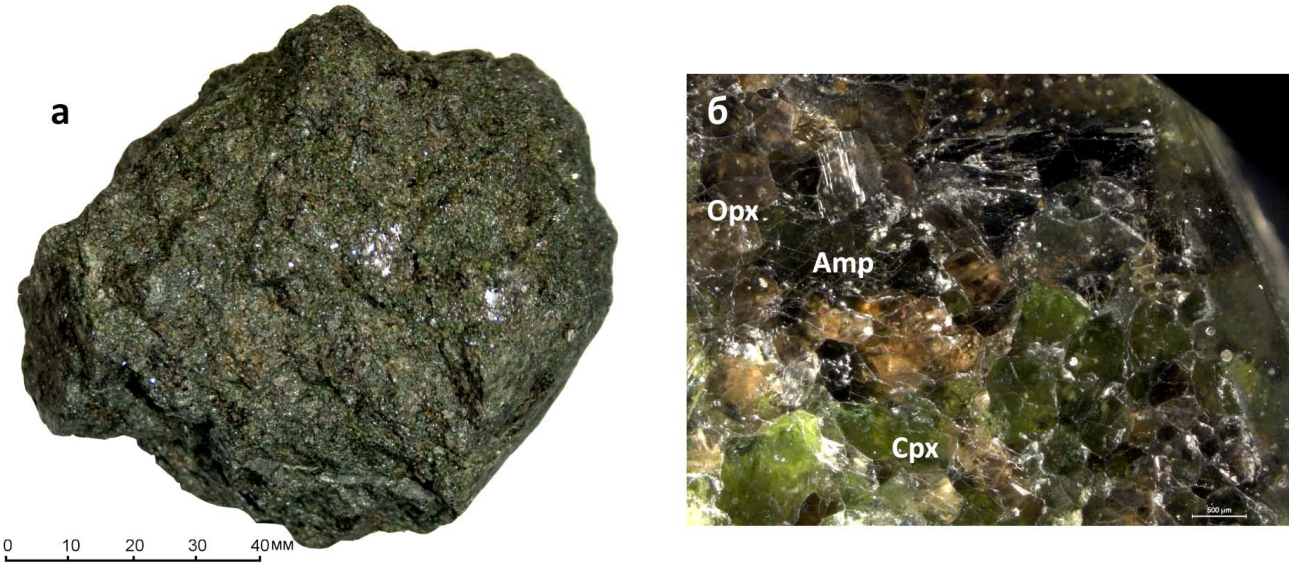


Рис. 2. Внешний вид вебстерита (а) и полированный аншлиф (б) из него.

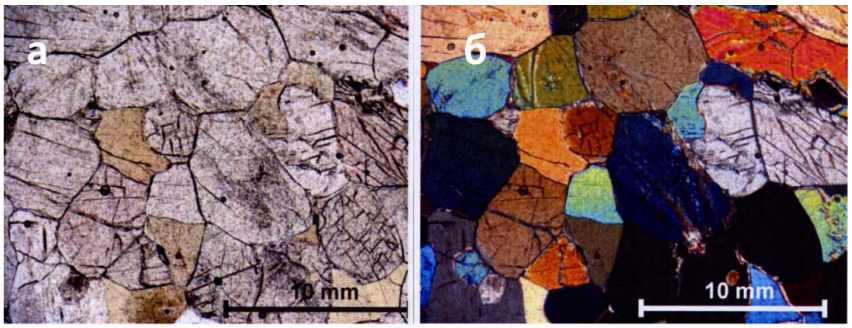


Рис. 3. Аллотриоморфнозернистая структура вебстерита: а – в проходящем свете; б – при скрещенных николях.

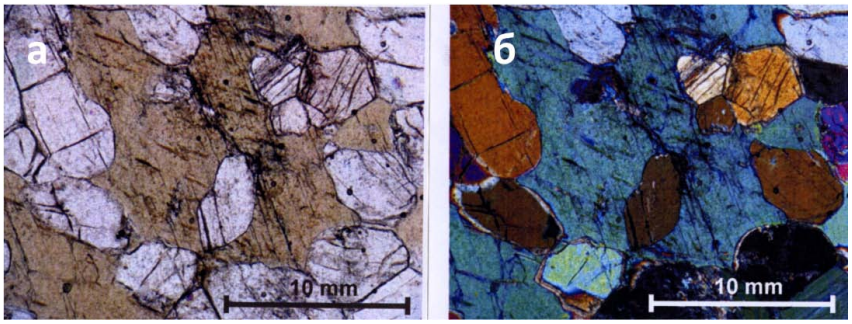


Рис. 4. Пойкилитовая структура вебстерита: а – в проходящем свете; б – при скрещенных николях.

В результате исследования полированных препаратов на микроскопе Axioplan в отраженном поляризованном свете и на сканирующем электронном микроскопе LEO-1450 в обратно-рассеянных электронах выполнена

фотодокументация и петрографическое определение породы. По вещественному составу она относится к группе вебстеритов, прозрачный ярко-зеленый клинопироксен составляет около 30%, бледно-коричневый ортопироксен – 35%, остальное – амфибол темно-коричневого цвета. Основная ткань породы образована двумя типами структур. Первая, преобладающая – аллотриоморфнозернистая (рис. 3), сложена зернами клино-, ортопироксенов и амфибола, не имеющих правильных кристаллографических очертаний. Вторая – пойкилитовая (рис. 4), где зерна клино- и ортопироксенов включены в крупные кристаллы амфибола.

В табл. 1 приведен химический состав пород Кольского полуострова, содержащих клино- и ортопироксены. Выборка создана из условия близкого химического состава пород и по ключевому слову «вебстерит». Этим условиям удовлетворили 26 пород из массивов, указанных в примечании к таблице. После пересчета на миналы эти данные вынесены на диаграмму (рис. 5), которая показала, что пород, подобных исследуемой, на Кольском полуострове неизвестно.

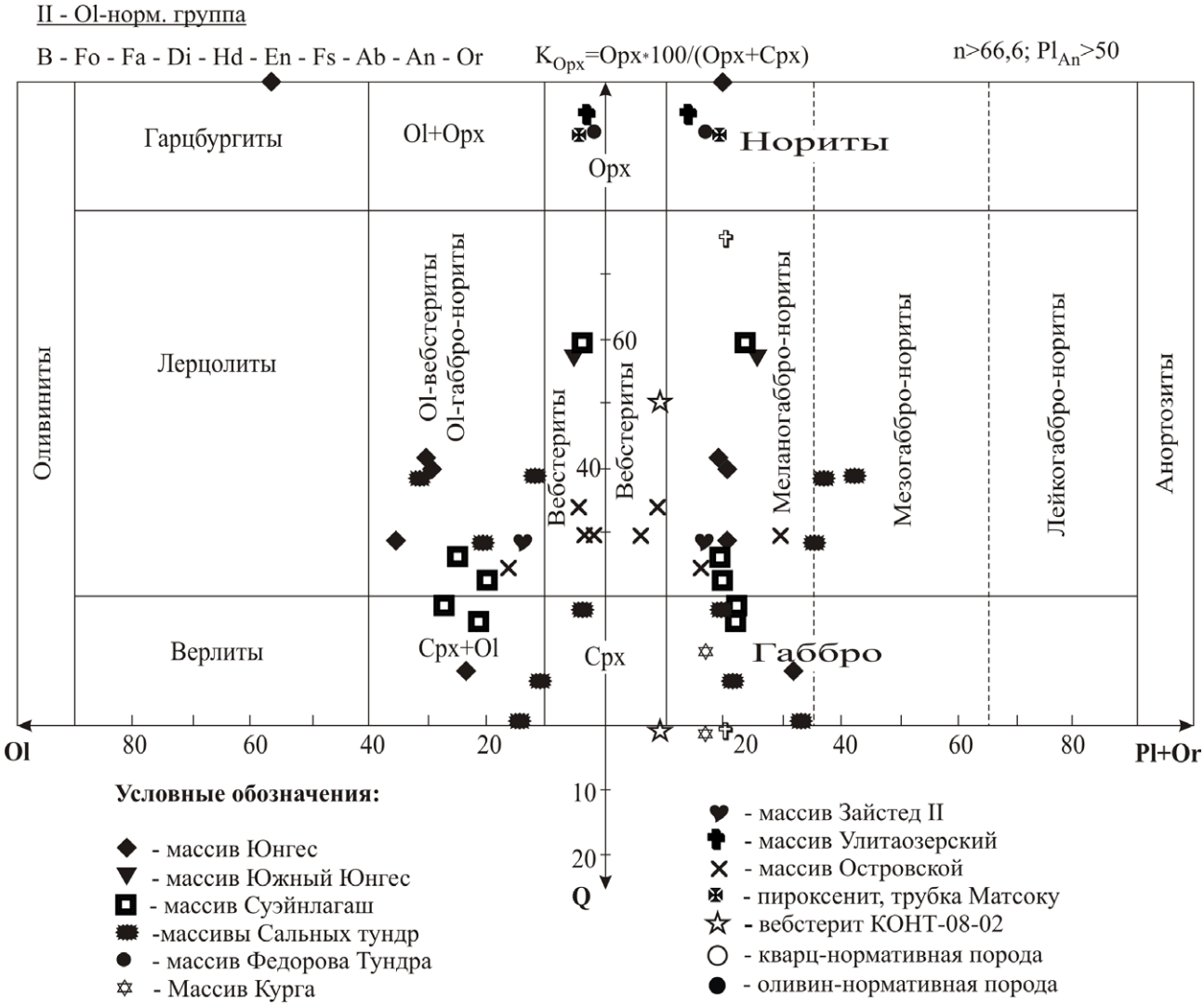


Рис. 5. Классификационная диаграмма уровня родов и индивидов для оливин- и кварцнормативных «плутонических» пород Fe-Mg отряда [3], близких по составу вебстеритам.

Для сравнения свойств минералов, слагающих близкие по составу породы, на электронно-зондовом рентгеновском микроанализаторе MS-46 CAMECA определен их химический состав, в некоторых случаях для ориентировочных определений применялся энергодисперсионный рентгеновский анализатор ROENTEC сканирующего электронного микроскопа LEO-1450.

В табл. 2 и 3 приведен химический состав клино- и ортопироксенов из ультраосновных пород Кольского полуострова и некоторых кимберлитовых трубок взрыва. В табл. 4 показан химический состав и формульные коэффициенты амфиболов из пород Контозера, некоторых кимберлитовых трубок и ультраосновных массивов региона. Согласно [8], определены названия амфиболов. Исследуемый амфибол породы КОНТ 08-02 оказался магнезиальной роговой обманкой.

На классификационной диаграмме для Ca-Mg-Fe пироксенов (рис. 6а) клинопироксен из исследуемой породы КОНТ 08-02 попадает в поле диопсида рядом с диопсидами из метасоматитов Контозера. Диопсиды из

Таблица 1. Химический состав (мас.%) пород известных массивов Кольского региона, близких к вебстеритам.

Компоненты	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
SiO_2	51,5	45,69	46,73	46,88	48,74	47	49,35	50,82	53,8	45,32	41,86	43,87	44,79
TiO_2	0,17	1,59	0,56	0,64	0,45	1,08	0,47	0,37	0,23	2,47	0,52	0,31	0,33
Al_2O_3	6,27	10,49	10,24	10,22	6,5	12,53	5,7	5,88		4,07	4,49	4,8	5,03
Fe_2O_3	1,74	0,56	1,45	2,27	1,73	2,06	2,78	1,13	1,23	8,99	4,78	3,17	3,2
FeO	7,82	12,1	10,79	10,25	6,53	12,95	5,63	6,67	8,33	8,01	7,78	6,22	6,59
MnO	0,18	0,23	0,23	0,22	0,1	0,29	0,14	0,21	0,2	0,19	0,14	0,14	0,15
MgO	25,18	13,31	17,47	10,86	15,85	9,67	15,72	19,55	25,16	12,41	32,4	23,41	23,97
CaO	4,85	12,57	8,54	16,96	17,9	12,12	17,76	14,54	4,12	16,61	1,87	10,69	9,51
Na_2O	0,12	0,99	1,57	0,85	0,64	1,32	0,69	0,63	0,53	0,61	0,48	0,67	0,67
K_2O	0,06	0,21	0,41	0,06	0,02	0,13	0,03			0,03	1,12	0,23	0,62
P_2O_5							0,03			0,05	0,17	0,05	0,06
CO_2		0,48	0,05			0,02	0,52			0,12	0,28	1,73	0,37
S		0,35		0,03	1,6		1,25		0,24		0,47	0,09	0,17
NiO		0,1	0,1	0,03				0,008			0,21	0,1	0,12
Cr_2O_3	0,4	0,1	0,27	0,04	0,08						0,68	0,21	0,25
Сумма	98,29	98,77	98,41	99,31	100,14	99,17	100,07	99,81	99,35	98,90	97,25	95,69	95,83

Продолжение таблицы 1.

Компоненты	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
SiO_2	44,93	47,01	49,65	42,12	46,74	47,14	47,48	47,77	54,56	50,7	54,56	54,19	54,37	53,5
TiO_2	0,39	0,63	0,61	0,82	0,4	0,53	0,59	0,6	0,24	0,3	0,24	0,24	0,15	0,23
Al_2O_3	4,89	7,81	6,85	5,52	5,26	4,78	4,83	5,42	1,65	4,53	1,65	6,24	4,31	2,25
Fe_2O_3	3,55	2,24	1,74	3,67	2,54	3,66	2,59	2,45	0,1	1,44	0,1	0,9	1,18	1,52
FeO	6,64	6,46	8,89	12,41	6,55	6,2	7,41	7,12	5,29	7,04	5,29	6,46	8,07	6,5
MnO	0,155	0,138	0,15	0,124	0,16	0,17	0,172	0,16	0,17	0,22	0,17	0,18	0,19	0,18
MgO	23,46	17,11	17,32	15,26	20,98	20,11	18,51	18,86	20,36	20,16	20,36	22,62	27,86	21,22
CaO	9,32	12,96	10,14	11,46	12,48	13,35	13,96	13,46	17,11	14,24	17,11	7,68	3,04	11,75
Na_2O	0,84	1,42	0,73	0,65	0,76	0,71	0,6	0,7	0,28	0,8	0,28	0,55	0,36	0,6
K_2O	0,35	0,5	0,52	0,45	0,78	0,58	0,5	0,91	0,05		0,05	0,14	0,11	0,13
P_2O_5	0,14	0,11	0,11	0,1	0,17	0,12	0,15	0,08	0,05		0,05			0,04
CO_2	0,6	0,45	0,32	2,67	0,74	0,69	0,73	0,56						0,21
S	0,15	0,22	0,39	4,59	0,08	0,22	0,7	0,17						0,05
NiO	0,103	0,065	0,03	0,445	0,06	0,053	0,09	0,045	0,01		0,01	0,034	0,11	
Cr_2O_3	0,15	0,26	0,16	0,22	0,3	0,32	0,26		0,48		0,48	0,45	0,58	0,38
Сумма	95,67	97,38	97,61	100,51	98,00	98,63	98,57	98,31	100,35	99,43	100,35	99,68	100,33	99,96

Примечание: 1- гранатовый пироксенит, трубка Матсоку, Лесото [3]; 2-7 - пироксениты из массивов Сальных Тундр [9]; 8 - пироксенит из массива Зайстед-II [15]; 9 - пироксенит из массива Федорова Тундра [9]; 10 - пироксенит из массива Курга [2]; 11-15 - вебстериты из массива Юнгес [15]; 16 - вебстерит из массива Южный Юнгес [15]; 17-21 - вебстериты из массива Суэйн-лагаш [15]; 22-24 - вебстериты из массива Островской [15]; 25-26 - вебстериты из массива Улитаозерский [15]; 27 - вебстерит КОНТ 08-02.

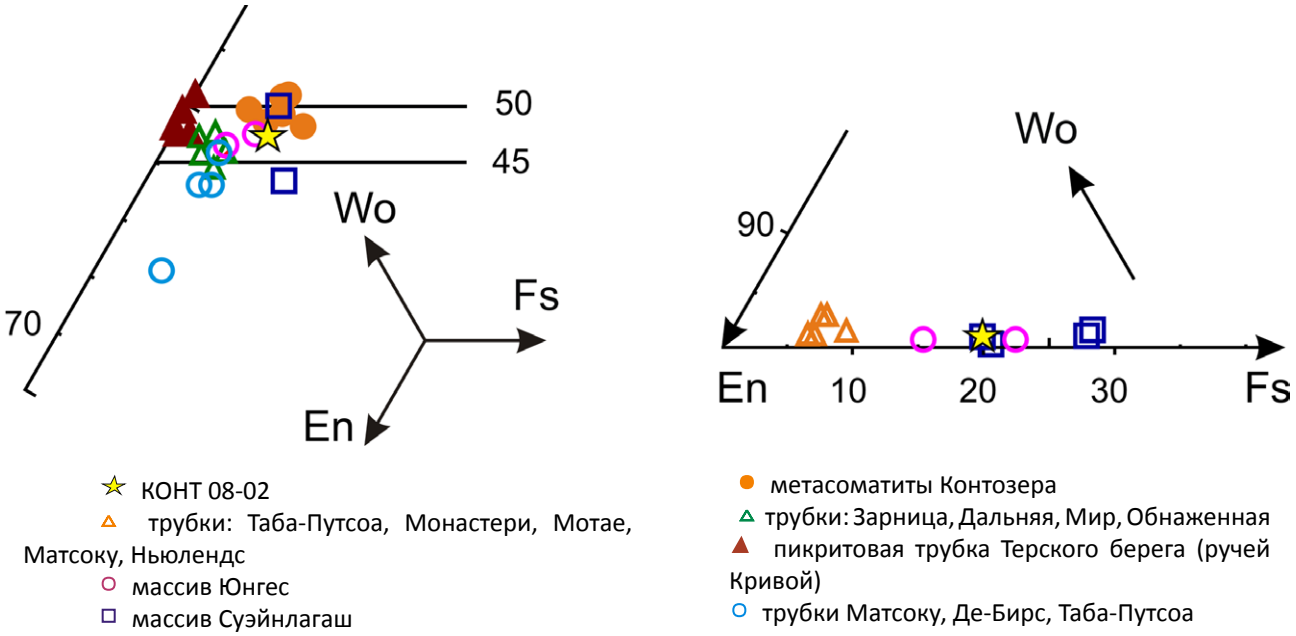
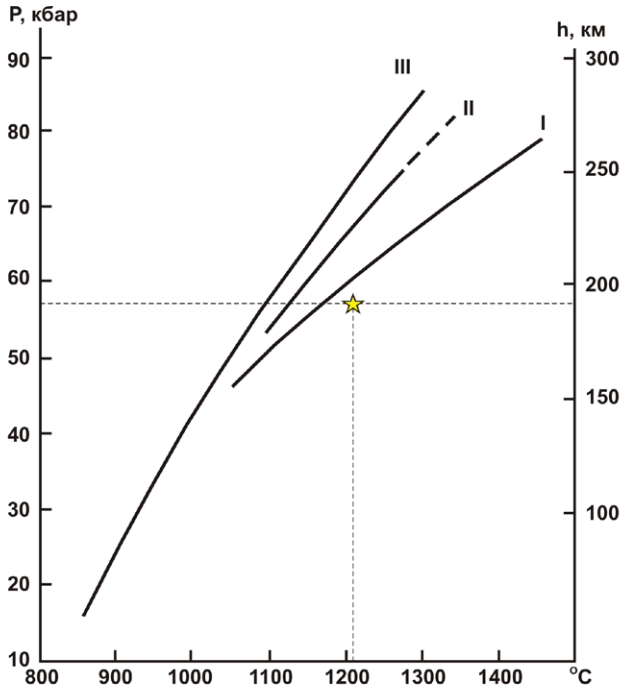


Рис. 6. Классификационная диаграмма для Ca-Mg-Fe пироксенов: а - клинопироксены, б – ортопироксены.



I – некоторые южноафриканские трубки (Таба-Путсоа, Франк-Смит, Монастери Майн и др.)
II – ксенолиты из трубки Моцоко (Лесото)
III – гранатовые перидотиты из трубок Удачная и Аэромагнитная

Рис. 7. Корреляция PT-параметров в верхней мантии под платформами по данным геотермометрии минеральных равновесий во включениях из кимберлитовых трубок, по Л.Л. Перчуку [10, 11].

пикритовой трубки Терского берега отличаются почти полным отсутствием ферросилитовой составляющей, из трубки Мтсоку, Де-Бирс и Таба-Путсоа – повышенной магнезиальностью.

На рис. 6б все показанные ортопироксены относятся к энстатиту, причем энстатиты трубок Таба-Путсоа, Монастери, Мотае, Матсоку и Ньюлендс более магнезиальные, чем остальные. Исследуемый ортопироксен по минальному составу близок к ортопироксенам массива Суэйнлагаш.

Результат исследования петрографического состава породы и химического состава слагающих его минералов показал, что в настоящее время именно таких пород на Кольском полуострове неизвестно, тем более что согласно [5] направление движения последнего ледника в этом районе было преимущественно северо-восточным, поэтому единственным известным источником подходящего материала для переноса был массив Курга. Но его породы, как показано на рис. 5, весьма отличны от исследуемой, и в них практически нет ортопироксенов. Таким образом, исследуемая порода, скорее всего, не была перенесена ледником, а принадлежит Контозерской структуре. С другой стороны, таких пород на Контозере неизвестно, поэтому возможно, что в данном случае мы имеем мантийный ксенолит, захваченный при внедрении трубки с больших глубин.

Для проверки этого предположения была рассчитана глубина образования породы (рис. 7) с помощью двупироксенового термобарометра Л.Л. Перчука [10, 11]. Расчеты показали, что предполагаемая глубина образования составляет около 190 км.

Таким образом, находка вебстерита КОНТ 08-02 в коре выветривания Контозерской структуры показала, что глубина образования недостаточно изученной на настоящее время трубки порфиритовых пикритов, находящихся в центре Контозерской кальдеры, была достаточной для того, чтобы вынести ксеногенный материал с таких больших глубин.

Таблица 2. Химический (мас. %) и минальный составы (вес. %) ортопироксенов.

Компоненты	Na_2O	MgO	Al_2O_3	SiO_2	K_2O	CaO	TiO_2	Cr_2O_3	MnO	FeO	Fe_2O_3	Сумма	En	Fs	Wo	Источник
КОНТ-08-02-3		29,1	0,687	55,1		0,497	0,06	0,072	0,361	13,1		99,02	79	20	1	
КОНТ-08-02-1		29,3	0,717	55		0,476	0,04	0,092	0,395	13,1		99,17	79	20	1	
трубка Матсоку	0,11	35	0,75	57,6		0,56	0,03	0,28	0,07	4,57		98,92	92	7	1	[3]
трубка Таба-Путсоа	0,15	35	0,97	57,5		1,45		0,45	0,11	4,82		100,42	90	7	3	[3]
трубка Ньюлендс	0,02	35,8	2,43	56,6		0,68		0,57	0,3	4,48		100,71	92	6	1	[3]
трубка Монастери	0,47	34,9	2,11	56,8		1,51		0,48	0,11	4,18		100,56	91	6	3	[3]
трубка Мотае	0,25	34	0,97	57,2		1,08	0,18	0,27	0,14	5,59		99,66	90	8	2	[3]
трубка Таба-Путсоа	0,82	20,9	1,39	55,3		17,59		1,01	0,13	3,14		100,31	83	16	1	[3]
Южный Юнгес	0,06	30,6	1,42	56,1	0,12	0,49	0,12	0,18	0,22	9,87	0,49	100,38	77	22	1	[15]
Юнгес	0,06	27,9	1,97	54,1	0,01	0,48	0,05	0,06	0,29	13,1	1,05	100,17	79	20	1	[15]
Суэйнлагаш		27,7	1,31	55,5		0,32	0,05		0,31	12,5		97,71	78	21	1	[15]
Суэйнлагаш		27,8	1,18	55,8		0,4	0,06		0,32	13,2		98,74	70	28	1	[15]
Суэйнлагаш	0,05	24,6	1,7	53,7	0,03	0,66	0,15	0,12	0,34	16,5	1,33	100,01	71	27	2	[15]
Суэйнлагаш	0,14	24,4	2,54	53,2	0,12	0,81	0,13	0,08	0,35	15,5	1,4	99,87	79	20	1	[15]

Таблица 3. Химический (мас. %) и минальный составы (вес. %) клинопироксенов.

Компоненты	Na_2O	MgO	Al_2O_3	SiO_2	K_2O	CaO	TiO_2	Cr_2O_3	MnO	FeO	Fe_2O_3	NiO	SUM	En	Fs	Wo	Источник
КОНТ-6-07-8	0,2	10,55	2,55	49,25	0,17	26,44	4,15	1,04		5,24				33	9	58	
КОНТ-6-07-8	0,58	15,16	2,685	49,4		22,72	3,704	0,942	0,048	4,05				45	7	48	
Контозеро, пикрит	0,69	15,97	0,68	54,28		24,2	0,63	0,02	0,08	3,02				46	5	49	
Контозеро, пикрит	0,46	14,4	1,04	54,28		24,28	0,9		0,1	4,41				42	7	51	
Контозеро, нефелинит	0,6	15,12	0,95	53,47		23,9	1,6		0,16	4,68				43	8	49	
Контозеро, карбонатит	3,56	11,85	3,56	49,64	0,16	15,41	3,84		0,11	2,28	8,42			49	5	46	
трубка Загадочная	0,92	16,84	1,54	54,02	0,02	22,68	0,08	0,81		2,04	0,52		99,75	49	3	48	[7]
трубка Дальняя	0,7	17,02	1,8	54,05		22,03	0,18	1,2		3,03			100,16	49	5	46	[7]
КОНТ 08-37	1,27	13,98	2,495	50,55		22,24	3,482		0,099	5,85			99,958	42	10	48	
КОНТ 08-37	0,61	15,61	1,612	52,29		23,05	1,719	0,102	0,121	4,95		0,036	100,093	45	8	47	
КОНТ 08-02	0,65	15,86	1,129	52,95		22,99	0,064	0,306	0,215	4,43		0,03	98,614	46	7	47	
КОНТ 07-08	0,35	15,04	2,357	51,75		24,97	1,488		0,102	4,24			100,282	42	7	51	
трубка Мир	1,84	16,24	0,96	50,06	0,06	19,68		1,12		2,48	1,4		99,45	51	4	45	[1]
трубка Загадочная		16,7	1,4	54,25		21,6	1,07	1,82	0,1	1,34	1,5		100,33	51	2	47	[1]
ручья Кривого	1,2	16,17	2,87	56,3		23,38		0,56		1,93			100,4	48	3	49	[12]

Таблица 3. (продолжение).

ручья Кривого	3,53	12,12	5,87	56,26		17,86	0,11	0,55		3,98			100,28	45	8	47	[12]
ручья Кривого	3,1	12,35	5,35	55,55		18,72	0,09	0,88		4,18			100,22	44	8	48	[12]
ручья Кривого	3,39	12,26	6,03	55,41		18,42	0,12	0,5		4			100,14	44	8	48	[12]
ручья Кривого	3,54	12,77	5,52	56,86		16,65	0,09	0,65		4,28			100,37	47	9	44	[12]
ручья Кривого	3,07	12,61	4,58	54,96		18,48		0,99	0,06	5,26			100	44	10	46	[12]
ручья Кривого	1,46	16,27	2,3	55,68		18,68		1,19	0,06	3,71			100,35	51	7	42	[12]
ручья Кривого	1,41	11,96	0,82	54,54		21,25		0,53	0,3	9,26			100,07	37	16	47	[12]
ручья Кривого	1,4	14,16	1,84	54,82		22,36		0,96	0,15	4,39			100,08	43	8	49	[12]
ручья Кривого	0,85	16,59	1,48	55,61		20,86	0,15	1,3		3,48			100,33	49	6	45	[12]
ручья Кривого	3,13	13	5	56,66		17,02		0,69	0,06	4,82			100,38	47	10	43	[12]
пикритовая трубка	0,89	16,81	0,075	56,02	0,06	22,8	0,012	1,412	0,081		1,799			51	0	49	[12]
пикритовая трубка	2,46	13,35	2,099	53,8		19,17	0,063	3,757	0,113		1,68			49	0	51	[12]
пикритовая трубка	2,16	16	1,44	54,91		20,74	0,34	2,27	0,11	0,74	1,27		99,98	51	1	48	[12]
пикритовая трубка	1,41	17,11	0,42	54,69	0,07	21,75		2,08		0,31	2,15		99,99	52	1	47	[12]
пикритовая трубка	1,51	16,95	0,35	53,97	0,22	21,48	0,21	2,4			2,72		99,81	52	0	48	[12]
трубка Таба-Путсоа	0,82	20,91	1,39	55,32		17,59		1,01	0,13	3,14			100,31	59	5	36	[3]
трубка Матсоку	1,38	17,71	1,75	55,92		20,39	0,14	0,87	0,09	3,27			101,52	52	5	43	[3]
трубка Обнаженная	2,47	15,11	5,92	52,65		18,6	0,82	1,43	0,05	1,62			99,92	51	3	46	[3]
трубка Де-Бирс	1,95	16,15	2,43	55,54		20,64	0,05	1,48	0,09	2,52			100,84	50	4	46	[3]
трубка Матсоку	2,46	16,35	2,48	55,68		18,73	0,09	2,6	0,09	2,43			100,91	53	4	43	[3]
маридов	1,24	17,9	0,61	54	0,02	20	0,54	0,21	0,11	4,4		0,06	99,1	52	7	41	[3]
Юнгес		16,17		53,69		23,32			0,1	4,4		0,024	99,7	46	7	47	[15]
Юнгес	0,27	16,78	1,56	53,2	0,15	22,39	0,16	0,1	0,12	2,67	1,56		100,1	49	4	47	[15]
Суэйнлагаш		14,45	1,59	53,7		23,57	0,15		0,13	4,36		0,012	97,96	43	7	50	[15]
Суэйнлагаш	0,47	14,81	2,56	51,77	0,06	21,84	0,4	0,26	0,17	5,38	1,63	0,038	99,53	46	11	43	[15]

Таблица 4. Химический состав (мас. %) и формульные коэффициенты (ат. ед.) амфиболов.

	F	Na_2O	MgO	Al_2O_3	SiO_2	P_2O_5	K_2O	CaO	TiO_2	V_2O_5	Cr_2O_3	MnO	FeO	Fe_2O_3	Сумма	Источник
Контозеро		2,12	15,84	13,25	49,87		1,81	2,73	1,13				40,64			
Контозеро		2,36	18,9	21,07	42,27		1,7	1,43	0,77				22,31		110,81	
Контозеро		7,487	15,88	2,627	51,95		1,908	3,593	5,57			0,077	8,998		98,08	
КОНТ-08-02		1,419	18,91	6,822	49,97		0,59	12,31	0,812	0,056	0,665	0,113	5,786		97,45	
трубка Весселтон		3,79	20	11,1	45,5		0,6	10,6	0,01		1,67	0,06	3,18		96,5	[3]
трубка Монастери		3,23	20,3	11,1	45,1		1,34	10,9			2,2	0,18	2,69		97,4	[3]
трубка Бултфонтейн		3,82	22,9	0,99	55,4		4,63	6,74	0,46		0,48		2,25		97,7	[3]
Южный Юнгес	0,23	2,24	17,89	11,35	44,89	0,99		11,79	1,35		0,3	0,08	4,65	1,77	99,99	[15]
Суэйнлагаш	0,27	2,24	16,13	12,34	43,87		1,28	12,26	1,21			0,09	5,17	3,19	99,77	[15]
Юнгес		1,68	14,21	11,73	41,98		1,34	11,88	1,26			0,06	8,23			[15]
Юнгес	0,06	2,19	16,33	11,38	44,47		0,82	12,07	1,06		0,37	0,08	5,14	3,4	100,33	[15]
Юнгес	0,08	1,98	16,39	11,35	46,19		0,75	12,26	1,08		0,38	0,1	5,1	3,5	100,33	[15]
Юнгес		1,67	15,77	11,14	44,94		1,19	11,72	1,35			0,1	6,16	3,38	99,48	[15]
Юнгес	0,09	1,59	16,08	11,22	45,05		1,01	11,23	1,24		0,26	0,1	6,7	2,89	99,35	[15]
Юнгес	0,31	1,54	16,67	10,59	46,05		1,04	11,22	1,13		0,43	0,1	6,17	2,71	99,58	[15]
Суэйнлагаш	0,1	1,85	13,3	12,03	43,16		1,15	11,4	2,64		0,29	0,11	7,79	3,14	99,44	[15]
Формульные коэффициенты рассчитаны на 23 O															название амфибола	
	F	Na	Mg	Al	Si	P	K	Ca	Ti	V	Cr	Mn	Fe^{+2}	Fe^{+3}		
Контозеро		0,48	2,75	1,82	5,82		0,27	0,34	0,10				3,96		Gedrite	
Контозеро		0,58	3,55	3,13	5,32		0,27	0,19	0,07				2,35		SodicGedrite	
Контозеро		1,99	3,24	0,42	7,12		0,33	0,53	0,57			0,01	1,03		MagnesioArfvedsonite	
КОНТ-08-02		0,37	3,82	1,09	6,78		0,10	1,79	0,08	0,01	0,07	0,01	0,66		MagnesioHorblende	
трубка Весселтон		1,01	4,09	1,79	6,23		0,10	1,56			0,18	0,01	0,36		Edenite	
трубка Монастери		0,86	4,14	1,79	6,17		0,23	1,60			0,24	0,02	0,31		Edenite	
трубка Бултфонтейн		1,00	4,59	0,16	7,44		0,79	0,97	0,05		0,05	0,00	0,25		Rihterite	
Южный Юнгес	0,10	0,59	3,61	1,81	6,08	0,11		1,71	0,14		0,03	0,01	0,53	0,18	Edenite	
Суэйнлагаш	0,12	0,60	3,30	1,99	6,02		0,22	1,80	0,12			0,01	0,59	0,33	Pargasite	
Юнгес		0,48	3,11	2,03	6,16		0,25	1,87	0,14			0,01	1,01		Edenite	
Юнгес	0,03	0,59	3,36	1,85	6,14		0,14	1,78	0,11		0,04	0,01	0,59	0,35	Tshermakite	
Юнгес	0,03	0,52	3,30	1,81	6,23		0,13	1,77	0,11		0,04	0,01	0,58	0,36	MagnesioHorblende	
Юнгес		0,45	3,25	1,82	6,21		0,21	1,74	0,14		0,00	0,01	0,71	0,35	MagnesioHorblende	
Юнгес	0,04	0,43	3,31	1,82	6,21		0,18	1,66	0,13		0,03	0,01	0,77	0,30	MagnesioHorblende	
Юнгес	0,13	0,41	3,39	1,70	6,28		0,18	1,64	0,12		0,05	0,01	0,70	0,28	MagnesioHorblende	
Суэйнлагаш	0,04	0,50	2,78	1,99	6,05		0,21	1,71	0,28		0,03	0,01	0,91	0,33	Tshermakite	

Список литературы

1. Алмазы Якутии. Тр. Якутского филиала СО АН СССР. Сер. геол. № 6. М.: АН СССР, 1961. 228 с.
2. Арзамасцев А.А., Баянова Т.Б., Арзамасцева Л.В. и др. Инициальный магматизм палеозойской тектономагматической активизации северо-восточной части Балтийского щита: возраст и геохимические особенности массива Курга, Кольский полуостров // Геохимия. 1999. № 11. С. 1139-1150.
3. Доусон Дж. Кимберлиты и ксенолиты в них. М.: Мир, 1983. 300 с.
4. Дубровский М.И. Комплексная классификация магматических горных пород. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2002. 234 с.
5. Евзеров В.Я., Николаева С.Б. Пояса краевых ледниковых образований Кольского региона // Геоморфология. 2000. № 1. С. 61-73.
6. Магматические формации и рудоносность базит-гипербазитов Кольского полуострова. Апатиты: Изд-во КФ АН СССР, 1980. 150 с.
7. Материалы по изучению алмазов и алмазоносных районов СССР. Тр. ВСЕГЕИ, вып. 40. Л.:Изд-во ВСЕГЕИ, 1960. 187 с.
8. Номенклатура амфиболов: доклад подкомитета по амфиболам комиссии по новым минералам и названиям минералов международной минералогической ассоциации (КНМНМ ММА) // Зап. ВМО. 1977. № 6. С. 82-102.
9. Основной магматизм северо-восточной части Балтийского щита. Л.: Наука, 1969. 160 с.
10. Перчук Л.Л. Сосуществующие минералы (справочник химических анализов и парагенезисов породообразующих минералов). Л.: Недра, 1971. 424 с
11. Перчук Л.Л. Пироксеновый барометр и «пироксеновые геотермометры» // Докл. АН СССР. 1977. Т. 233. № 6. С. 1196-1199.
12. Поляков И.В. Минералы-спутники алмаза на терском берегу Белого моря // Новое в изучении минерально-сырьевых ресурсов Мурманской области. 1989 год. Апатиты: Изд-во КНЦ АН СССР, 1990. С. 20-23.
13. Проскуряков В.В., Зак С.И. Кургинский массив ультраосновных и щелочных пород на Кольском полуострове // Щелочные породы Кольского полуострова. Л.: Наука, 1966. С. 44-54.
14. Пятенко И.К., Сапрыкина Л.Г. Петрологические особенности щелочных базальтоидов и вулканических карбонатитов Русской платформы // Петрология и петрохимия рудоносных магматических формаций. М.: Наука, 1981. С. 233-255.
15. Расслоенные интрузии Мончегорского рудного района. Петрология, оруденение, изотопия, глубинное строение. Ч. 1. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2004. 177 с.
16. Смолькин В.Ф. Петрография магматических и метаморфических пород: Уч. пособие для направления 553200 «Геология и разведка полезных ископаемых». Мурманск: Изд-во МГТУ, 2003. 272 с.
17. Химические анализы пород базит-гипербазитовых комплексов докембрия Кольского полуострова. Отв. ред. Г.И. Горбунов. Апатиты: Изд-во КФ АН СССР, 1982. 217 с.

МИНЕРАЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ БЛАГОРОДНОМЕТАЛЬНОГО ОРУДЕНЕНИЯ НЕТРАДИЦИОННЫХ ТИПОВ НА ЗАПАДНОМ СКЛОНЕ ЮЖНОГО УРАЛА

С.Г. Ковалев
Институт геологии Уфимского научного центра РАН, г. Уфа, e-mail: kovalev@anrb.ru

В последнее время в различных регионах мира были открыты комплексные (Au–Pt и Pt–Pd–Au) месторождения неизвестных ранее типов в сложнодислоцированных («минерализованных зонах смятия»), углеродсодержащих («углеродистых катаклазитах и милонитах») комплексах, которые по содержаниям полезных компонентов и суммарным запасам считаются одними из самых перспективных объектов для промышленного освоения в изменившихся условиях развития мировой экономики.

В пределах западного склона Южного Урала целенаправленные работы на обнаружение новых, нетрадиционных для региона типов благороднометального оруденения не проводилось, либо эти работы имели бессистемный и спорадический характер, так как априори считалось, что в пределах платформенной части Южного Урала тектонические, магматические и метаморфические процессы были проявлены слабо. Даже исследованиями по Всероссийской программе «Платина России» были охвачены только некоторые районы Урала, о чем свидетельствуют материалы, приведенные в итоговых публикациях по этой проблеме, и в которых данные по Южному Уралу практически полностью отсутствуют [1]. В реальности, как показывают детальные исследования, регион характеризуется длительной, многоэтапной и сложной историей развития, основной этап которой приходится на позднедокембрийское время [4], что привело к широкому распространению на территории разноранговых тектонических нарушений, сопровождающихся обширными «зонами окварцевания», «пропилитизации» и «околорудных метасоматитов», а также многочисленных магматических тел различной формационной принадлежности.

В результате научно-исследовательских и тематических работ, выполненных в последнее время, были получены новые, оригинальные минералого-геохимические материалы, позволяющие предполагать широкое развитие «нетрадиционных» для этой части Уральского региона типов благороднометального оруденения [2, 3]. В первую очередь к ним мы относим платинометально-золотую специализацию сложнодислоцированных углеродсодержащих толщ, а также благороднометальную минерализацию, приуроченную к докембрийским конгломератам Шатакского комплекса.

В процессе детального изучения сложнодислоцированных углеродсодержащих толщ западного склона Южного Урала, приуроченных к разноранговым тектоническим нарушениям, нами было установлено наличие неизвестной ранее мощной зоны протяженностью около 15 км с обильной сульфидной (халькопирит-пирротин-пиритовой, пирротиновой и пиритовой) минерализацией. Черносланцевые отложения сложно перемяты и импрегнированы магматическими породами основного состава. Породы (как сланцы, так и габбро-диабазы) характеризуются аномальными содержаниями благородных металлов (Au – 0,5–2,4 г/т, Pt – 0,09–0,1 г/т, Pd – 0,30–1,18 г/т, Os – 0,004–0,005 г/т, Ru – 0,043 г/т), а при исследовании под микроскопом в углеродистой матрице сланцев были обнаружены мелкие (3–5 микрон, очень редко до 10–12 микрон) выделения самородного золота разнообразной формы. Кроме того, здесь же были обнаружены минералы урана (уранинит, ураноцерцит) и тория (торит, торианит), а также U- и Th-содержащий монацит и редкоземельные фазы сложного состава.

Особенности минерального состава пород ассоциации подчеркиваются геохимическими характеристиками (рис. 1), из анализа которых видно, что магматические породы в значительной степени обогащены такими элементами как уран, торий, золото, платина и палладий.

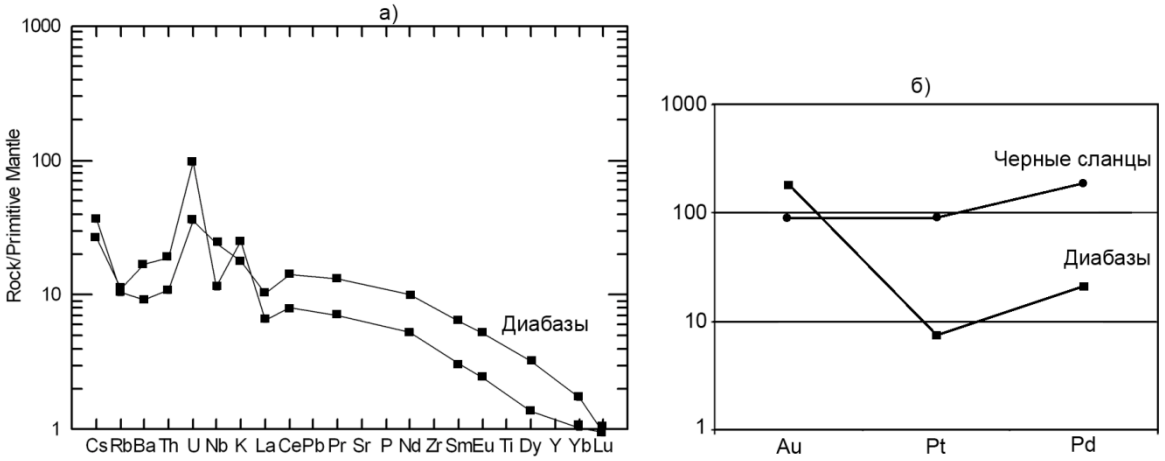


Рис. 1. Нормализованные распределения элементов в черносланцевых отложениях и ассоциирующихся с ними магматических породах основного состава. На диаграмме б) диабазы нормализованы по средним содержаниям в магматических породах, а черные сланцы – по средним содержаниям в земной коре.

Детальное изучение структурно-тектонического строения выделяемых зон, вещественного состава пород и приуроченной к ним сульфидной минерализации, а также распределения в них Au и МПГ, позволяет проводить прямые аналогии между сложнодислоцированными углеродсодержащими толщами западного склона Южного Урала и близкими образованиями других регионов России, в которых уже выявлены платинометально-золоторудные объекты с промышленными содержаниями полезных компонентов. Проведенный сравнительный анализ показывает, что по типам геохимической специализации (отношениям Au/Pt и Pt/Pd) наиболее близкими к ним оказываются докембрийские углеродистые толщи Онежского района, а также углеродсодержащие терригенные породы Восточного Саяна-Тувы и Забайкалья.

Кроме рудоносных черносланцевых отложений, в пределах региона был выявлен новый для Уральского региона тип благороднометальной минерализации, приуроченный к докембрийским (R_2) конгломератам, распространенным на западном склоне хребта Большой Шатак [3]. Рудоносные отложения прослеживаются в виде субмеридиональной полосы на расстоянии свыше 11 км и представлены переслаиванием пачек конгломератов, песчаников и диабазов (метабазальтов). По минеральным парагенезисам, слагающим осадочные породы и характеру рудной минерализации, в их составе выделяются две разновидности – гематитовые и магнетитовые. Исследования первых показало, что в монофракциях гематита, отобранных из цемента конгломератов нижней толщи кузъелгинской подсвиты содержится до 10,77 г/т Au и 1,12 г/т Ag. В валовых пробах содержание золота составляет 1,8 г/т, серебра – 1,4 г/т, платины – до 1,25 г/т, палладия – до 0,35 г/т, при массовой доли железа – 8,22%. В конгломератах с магнетитом рудная минерализация, приуроченная как к цементу, так и к галькам, представлена идиоморфными кристаллами магнетита, в монофракции которого содержание составляет 4,9 г/т, а серебра – 0,2 г/т. В валовых пробах содержание благородных металлов составляет: платины – до 1,75 г/т, палладия – до 0,30 г/т, золота – до 2,15 г/т, серебра – до 5,25 г/т, при массовой доле железа – 6,54 %. В обоих типах конгломератов встречены включения самородного золота, приуроченные к хлорит-железистым выделениям, цементирующим зерна кварца. Форма золотин неправильная с резко изрезанными краями, дендритовидная, каплевидная. Размер их в основной массе 1-5 мкм, но встречаются и более крупные выделения.

Так же как и в охарактеризованных выше черносланцевых отложениях, в шатакских конгломератах геохимические характеристики пород выражаются в минеральном составе. В частности, аномальные содержания теллура и серебра (рис. 2) подтверждаются находками самородного серебра и гессита ($TeAg_2$).

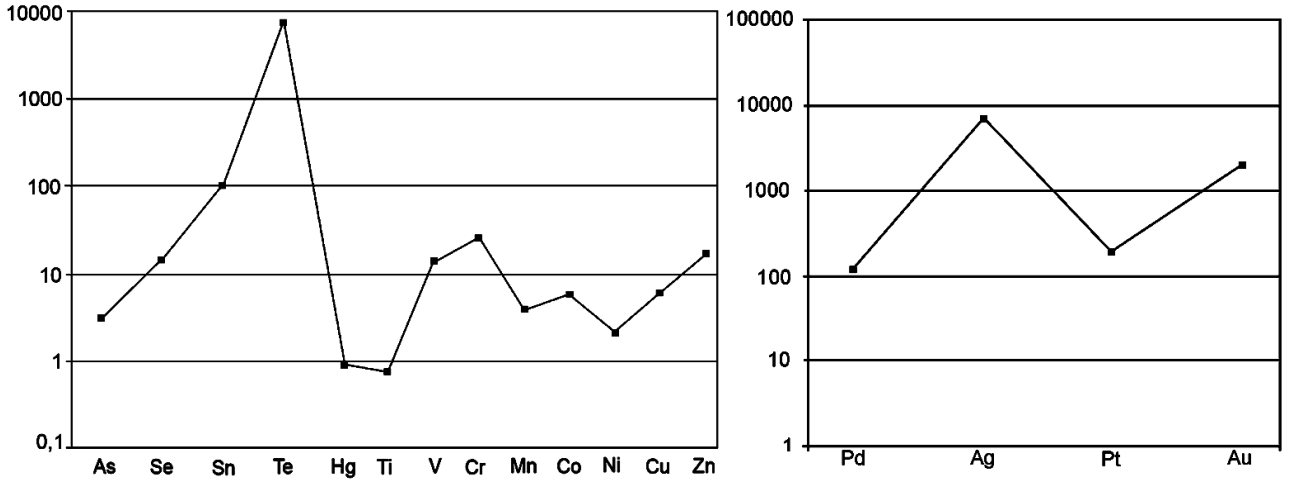


Рис. 2. Нормализованные распределения элементов в конгломератах шатакского комплекса. Нормализовано по средним содержаниям в земной коре.

Приведенные выше материалы свидетельствуют о том, что в пределах западного склона Южного Урала относительно широко распространены «нетрадиционные» (Au–Pt, Pt–Pd–Au и Pt–Fe) типы благороднометального оруденения, которые приурочены либо к разноранговым тектоническим нарушениям либо к породам, формационная принадлежность которых свидетельствует об их формировании на ранних стадиях рифтогенеза. Анализ всего имеющегося геологического материала позволяет сделать выводы о том, что генезис этих специфических типов оруденения обусловлен с одной стороны привносом Au и МПГ восстановленными интрателлурическими флюидами из глубинных (мантийных) источников, с другой стороны, процессы внутрикорового метаморфометасоматического преобразования пород и содержащихся в них Au и МПГ, при широком участии тектонических факторов, способствуют их перераспределению и концентрации в благоприятных обстановках.

Принципиальная модель формирования приведенных выше типов оруденения включает в себя несколько этапов, каждый из которых реализуется в соответствующих геодинамических обстановках, которыми и обуславливается определенная последовательность рудогенеза. В целом она может быть представлена в следующем виде: 1) эпиплатформенный рифтогенез, характеризующийся заложением разломов различной глубинности (коровых и мантийных), по которым осуществляется привнос рудогенных элементов интрателлурическими флюидами и формируются геохимические аномалии в верхних горизонтах коры; 2) формирование элизионно-катагенетической системы с образованием «мобилизата» и вхождением в его состав благородных элементов в виде химических соединений различных типов, которые приобретают способность к миграции и перераспределению; 3) инверсия тектонического режима (с растяжения на сжатие) с формированием локальных зон, в которых действия метаморфо-метасоматических процессов приводят к образованию рудных объектов или рудных зон, оруденение которых имеет унаследованный характер и специфические черты, присущие как мантийным, так и коровым образованиям.

В силу того, что в пределах западного склона Южного Урала собственно рифтогенные образования и разноранговые тектонические нарушения распространены относительно широко, можно предполагать, что нетрадиционные типы золото-платинового, платинометально-золотого и платино-железометального оруденения, наряду с уже установленными, пользуются широким распространением.

Работа выполнена при финансовой поддержке по Программе РФФИ «Поволжье», грант № 08-05-97000.

Список литературы

1. Додин Д.А., Чернышов Н.М., Яцкевич Б.А. Платинометальные месторождения России. СПб: Наука, 2000. 755 с.

2. Ковалев С.Г. Сложнодислоцированные углеродсодержащие породы западного склона Южного Урала // Докл. АН, 2004. № 4. Т. 396. С. 511-514.

3. Ковалев С.Г., Высоцкий И.В. Новый тип оруденения в докембрийских конгломератах западного склона Южного Урала // Докл. АН. 2004. № 4. Т. 395. С. 503-506.

4. Ковалев С.Г. Позднедокембрийский рифтогенез в истории развития западного склона Южного Урала // Геотектоника. 2008. № 2. С. 68–79.

МИНЕРАЛОГИЯ Au–СОДЕРЖАЩЕГО МЕДНОСУЛЬФИДНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ВОРОНОВ БОР В КУМСИНСКОЙ СТРУКТУРЕ ЦЕНТРАЛЬНОЙ КАРЕЛИИ

Л.В. Кулешевич, О.Б. Лавров
ИГ КарНЦ РАН, г. Петрозаводск; e-mail: kuleshev@krc.karelia.ru

В центральной Карелии, между озерами Сегозеро и Онежское, вдоль р. Кумсы (рис. 1) сконцентрированы многочисленные небольшие месторождения и проявления медно-сульфидных руд, приуроченные преимущественно к палеопротерозойским – ятулийским (по региональной шкале, 2,3-2,1 млрд. лет) отложениям. В связи с обогащенностью базальтов ятулийского возраста медью, предполагалось, что все медные месторождение связаны с основным вулканизмом и тяготеют к центрам эндогенной активности и зонам локально проявленной гидротермальной проработки (1); либо приурочены к местам разгрузки гидротерм в бассейнах, с отложением руд в кварцито-песчаниках (2); или же сформировались как медно-сульфидно-жильные гидротермальные в метабазальтах и габбро-долеритах под влиянием отделяющихся на позднемагматической стадии растворов (3) [1, 5]. Однако исследования, проводимые в последние 30 лет КГЭ, ВСЕГЕИ и ИГ КарНЦ РАН показали, что вкраплено-прожилковая и гнездовая минерализация наиболее богатых сульфидных медных проявлений различных рудно-формационных типов тяготеет преимущественно к региональным СЗ шир-зонам, чаще узлам пересечений СЗ и СВ тектонических зон, рудная минерализация сопровождается интенсивными низкотемпературными метасоматическими изменениями щелочного характера [2], что позволило высказать иную точку зрения на их генезис. В региональном плане формирование подобных рудоконтролирующих зон связывается нами со свекофеннскими орогеническими процессами, затронувшими весь Карельский кратон в конце позднего палеопротерозоя и нашедшими свое отражение в формировании складчато-разрывных деформаций и закономерном образовании Au-Ag-Mo-содержащих медносульфидных месторождений и рудопроявлений [3]. Деформации, фиксируемые в палеопротерозойских толщах Карельского кратона (в Лапландско-Карельской СЗ зоне) являются отражением событий ~1.8 и 1.74 млрд. лет, происходившими в СЗ части свекофеннской складчатой области Фенноскандинавского щита.

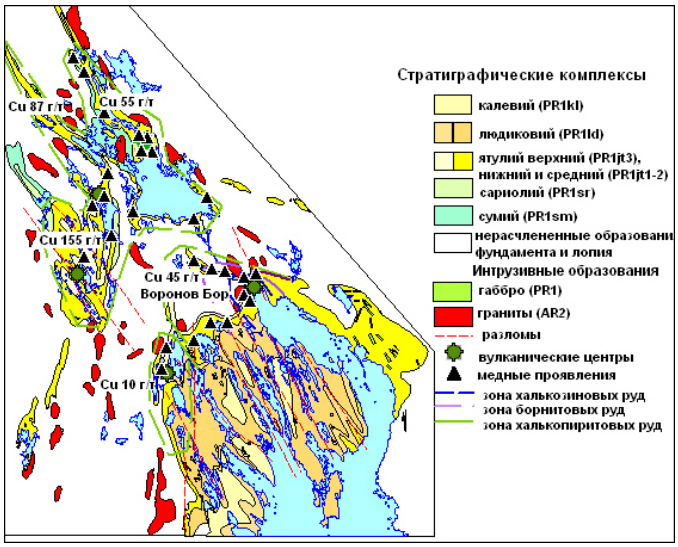


Рис.1. Сульфидные медные проявления Центральной Карелии. (На схеме приводятся содержания Cu в породах, по [1]).

Сульфидные медные месторождения и рудопроявления Карелии составляют обширную группу с содержанием сульфидов меди от 5 до 40 %, Cu – 1-20 %, с прогнозными ресурсами меди до 50-170 тыс. т. В центральной Карелии, например, можно выделить несколько типов гнездово-вкрапленных и прожилковых руд, содержащих золото: 1 – Au-Ag-Mo-содержащие халькопиритовые и халькопирит-борнит-халькозиновые в зонах изменения кварцито-песчаников (Воронов Бор, известны как медистые песчаники), 2 – Au-Ag-содержащие халькопиритовые вкрапленно-прожилковые руды в альбититах по габбро и вблизи их контакта в кварцито-песчаниках (Орчень губа, Медные горы, Светлое); 3 – Cu-Co-Mo-Au-Pd-U-V вкрапленно-прожилковые руды в альбититах и слюдистых метасоматитах в людиковийских черносланцевых толщах (рудные объекты Заонежья); 4 – Cu-Mo-полиметаллические (Cu, Pb, Zn, Mo) вкрапленно-прожилковые руды, наложенные на палеопротерозойские вмещающие толщи и граниты допротерозойского фундамента (Лебедева гора, Фаддейн-Келья); 5 – Cu-Co-Au-U-содержащие кварцевые конгломераты (Маймъярвинское, Ятулий-1, Риговарака); 6 – Au-халькопирит-кварцевые и Au-кварцевые жилы в кварцито-песчаниках и метабазальтах (Воицкое, Воронов Бор). В Кумсинской структуре представлены 1-2 и 6 типы руд. Прогнозные ресурсы золота этих медных проявлений на современный момент изученности оцениваются лишь в 15-20 т при среднем содержании Au 0,3-3 г/т. Доизучение и доопробование месторождения Воронов Бор на медь и золото проводилось в разные годы КарГЭ и ИГ КарНЦ РАН. Месторождение содержит 1,3 % Cu (до 5,76-6 %, ресурсы меди 170 тыс. т). Содержание Au неравномерное и колеблется от 0,1 до 3,7 г/т. Прогнозные ресурсы золота оцениваются в 0,75 т, P_3 – 15 т (при ср. 1 г/т), серебра - в 7,8 т (при ср. 10,2 г/т) [5]. Детального изучения руд (минералогии и их типоморфных особенностей) разных формационных типов, установление генетической связи и единого анализа, увязывающего все эти объекты, не проводилось. На эти задачи были направлены исследования авторов, показавшие на примере месторождения Воронов Бор, что ранние дорудные изменения в различных породах представлены альбититами или слюдисто-микроклин-альбитовыми щелочными метасоматитами и сопряженными зонами колонны, переотлагающихся компонентов.

В Кумсинской структуре в ятулийских кварцито-песчаниках, кварцевых гравелитах и конгломератах, иногда метабазальтах и прорывающих их габбро локализуются многочисленные рудные объекты (рис. 1). Многие из

них разрабатывались еще с XVIII-XIX веков. Из них попутно добывали золото и серебро. Наиболее представительными из них в кварцито-песчаниках является месторождение Воронов Бор, а на контакте габбро и песчаников – Медные горы, Падун и др. Месторождение Воронов Бор было открыто в 1771 г. и разрабатывалось около 8 лет, затем после перерыва с конца XIX века по 1913 г. Часть руд была вывезена, часть складирована в штабеля, нарушенные со временем. На этом небольшом медном месторождении, отнесенном первоначально к формации медистых песчаников, было добыто 960 тыс. пудов медной руды. Оруденение представлено халькопиритовым, борнит-халькозиновым, халькопирит-борнит-халькозиновым минеральными типами, содержащими Mo, Au, Ag.

Месторождение Воронов Бор расположено в западном крыле Пергубской синклинали, приурочено к локальному участку, в песчаниках и гравелитах медвежьегорской свиты (PR_1jt_2) вблизи контакта с метабазальтами янгозерской свиты (PR_1jt_1) ятулийского надгоризонта, осложненному складкой. Эта складчатость тяготеет к СЗ шир-зоне, прослеживаемой из Онежской структуры (Святухинско-Космозерская). Вмещающие толщи метаморфизованы в условиях зеленосланцевой фации. Доминирующее падение в метабазальтах и кварцито-песчаниках составляет: аз. пад. 18-20° СВ. Аз. пад. в кварцито-песчаниках непосредственно вблизи горной выработки меняется от В до З румбов. Рудное тело по данным бурения имеет форму пластовой залежи, а прожилки - секущее соотношение с вмещающими толщами. Руды вкрапленно-, и гнездово-прожилковые с содержанием сульфидов меди 5-40 %. Мощность рудного тела 3-12 м, залежь прослежена по простиранию на 300 м и на глубину до 150 м. На южном фланге месторождения вмещающие толщи секутся кварцевыми жилами, мощностью 0.05- 0.8 м, протяженностью до 20 м, имеющими как СЗ, так и СВ простирание. Они содержат сульфидную вкрапленность и золото (по данным бурения Кар ГЭ, [5]).

Вмещающие толщи представлены кварцито-песчаниками, кварцевыми конгломератами, метабазальтами, в восточной части месторождения выявлены габбро-диабазы. Вмещающие кварцито-песчаники и метабазальты на участке пересекаются телом светло-розовых фельзитовых пород (альбитофиров) секущей жильной (простирание одной из жил СВ) и сложной формы. В его ореоле породы сильно изменены: в метабазальтах сохраняются лишь теневые миндалекаменные текстуры, в осадках – неравномернозернистые гравелитовые. В зальбандах сульфидно-кварцевых прожилков развиты околожильные изменения с микроклином. Вблизи зон метасоматических изменений и сульфидной медной минерализации концентрация Au в метабазальтах и осадках повышается до 0.003-0.026 г/т. Метасоматиты имеют разные контрастные цвета – розовые, зеленые, зеленовато-желтые, в зависимости от минерального состава, представленного альбитом, микроклином, кварцем, биотитом, мусковитом. В западной части участка на контакте с ними изменены метабазальты: они имеют темно-зеленый цвет и замещены хлоритом, либо содержат пятнистый наложенный биотит (2-5 %), иногда турмалин (до 1-2 %), или же эпидотизированы. Реже встречаются метакристаллы карбоната. В более удаленных зонах метасоматической колонки метабазальты интенсивно хлоритизированы, содержат актинолит, эпидот, альбит, карбонат, сульфиды. Дорудные изменения в кварцито-песчаниках и кварцевых конгломератах пород представлены ранним слюдисто-карбонат-кварц-микроклин-альбитовым парагенезисом. Сброс выщелоченных из метабазальтов компонентов - Ca, Ti, P и их переотложение в кварцито-песчаниках происходит в коричневато-розовых прожилках и гнездах, содержащих сфен, апатит, эпидот (рис. 2). Форма выделения сфена бывает линзовидная, фрамбоидальная, что характерно для кристаллизации при низких температурах из коллоидов. Из редких акцессорных и радиоактивных минералов установлены торит, монацит и урановые слюдки. Широко распространен зональный гидротермальный циркон (рис. 2). Он образует изометричные зональные зерна, иногда содержит примесь Hf до 1.80 %. Более темные части зон в нем обогащены примесями Ca, Fe, Al. Белые слюды содержат невысокие концентрации Mg, Fe; Si замещается Al (~0,6-0,7 форм. единиц). Хлорит имеет Fe-Mg состав (f=29-32.8), его средняя $T_{обр.}$=260°C, вероятно, соответствует T начальной процесса изменений. Карбонат образуется позднее в форме метакристаллов. Непосредственно возле рудных прожилков и гнезд кварца с сульфидами меди развиты альбит, микроклин, во внешней их зоне - эпидот, хлорит, в ореоле - серицит. Иногда в Кпш повышается концентрация Ba. На более высоких уровнях месторождения при увеличении степени окисления среды сформировались окисленные руды (борнитовые и борнит-халькозиновые с гематитом). В них встречается куприт. Кварцито-песчаники пересекаются кварцевыми жилами, а габбро-диабазы - гематит-эпидот-кварцевыми жилами с хлоритовой оторочкой и пластинчатым гематитом.

Сульфидные медные руды месторождения Воронов Бор относятся к гнездово-вкрапленным, вкрапленно-прожилковым с содержанием сульфидов меди 10-40 %. Минеральный состав руд представлен халькопиритом, борнитом, халькозином, молибденитом (до 1-2 %), встречаются единичные выделения пирита, галенита, редко единичные зерна сфалерита. К типоморфным минералам, установленным при изучении месторождения относятся – самородные серебро и золото, селениды (Se-галенит, науманнит, клаусталит), акантит, гессит, гринокит, рениит, кобальтин (табл. 1, рис. 2), к образующим единичные зерна относятся антимонит и киноварь. В зоне окисления развиты халькозин, ковеллин, минеральные смеси, гематит, куприт, барит, иногда самородные медь и серебро. При формировании в близповерхностных условиях возникла рудная зональность, которая проявилась в смене халькопиритовой минерализации борнит-халькопиритовой и окисленной борнит-халькозиновой.

Халькопирит – ведущий рудный минерал, образует гнезда, прожилки, в рудной зональности вытесняется низкотемпературным борнитом (Fe~10 %, $T_{обр.}$<170°C), халькозином (Fe~2.5 %, $T_{обр.}$<103°C; табл. 1, рис. 2). По ним в зоне окисления развивается сине-фиолетовый ковеллин (Cu 77.87, Fe отсутствует) и гематит. Пирит встречается лишь в единичных мелких зернах в халькопирите. Молибденит образует чешуйки размером 1-14 мкм и их гнездовые скопления размером до 40 мкм в халькопирите, борните, куприте и в породе. В пятнистых альбитофирах

Таблица 1. Результаты микрозондового анализа минералов месторождения Воронов Бор (масс. %).

Эл.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
S	13.08	13.15						40.34	32.17	23.98	22.16		14.52		16.72	17.34
Fe																
Cu							3.59					1.09	3.58		13.22	
Mo								59.66								
Pb	86.92	83.89	83.62													
Ag				75.05	74.00	73.32	61.49					16.02	81.50	100	70.05	
Se		2.96	16.38	24.95	26.00	24.28										
Te						2.39	34.92									
Zn									60.14	6.3						0.34
Cd										39.7						
Au												82.88				
Co											29.87					
Ni											3.68					
As											44.29					
Hg																82.32

Примечание: 1 - галенит, 2 - Se-галенит, 3 - клаусталит, 4-5 - науманнит, 6 - Te-содержащий науманнит, 7 – гессит, 8 – молибденит, 9 – сфалерит, 10 – гринокит, 11 – кобальтин, 12 – сам. золото, 13 – акантит, 14 – серебро, 15 – промежуточный состав маккинстриит-акантит (?), 16 - киноварь. Микрозондовые анализы выполнены на микроанализаторе с приставкой фирмы Tescan в ИГ Кар НЦРАН.

он формирует характерные зональные гнездовые «порфировые» выделения (рис. 2). В халькопиритовом типе руд встречаются мелкие (0.8-10 мкм) выделения самородных металлов (серебро, реже висмут), селениды, галенит. В борнитовом типе руд селениды более распространены и обычны (клаусталит, Se-галенит, науманнит). Размер их зерен не превышает 1-6 мкм. Селениды обычно выделяются в краевых частях зерен сульфидов и реже самостоятельно в породе. В каймах борнита они образуют эмульсионную вкрапленность (рис. 2), что подчеркивает отложение Se в конце процесса. В науманнит иногда изоморфно входит Te 0.81-2.39 %, в галенит – Se. К этим же участкам тяготеет тонкодисперсное и мелкое самородное золото (размер до 10-20 мкм). Повышенные концентрации Au были установлены в борнитовых рудах и в кварцевых жилах в южной части участка. Золото выделяется близко по времени с селенидами. Оно содержит Ag до 16-17,6 %, примесь Cu (табл. 2). Обогащение растворов в конце процесса Ag и Te приводит к появлению самородного серебра и его минералов - акантита ($T<105^{o}$), гессита ($T_{обр.}<145^{o}C$), причем акантит (Ag_2S) выделяется в барите, секущем куприт и халькозин (рис. 2). Существует изоморфный ряд минералов в системе Ag-Pb-(S-Se-Te). Необычной находкой оказался рениит (ReS_2) с примесями Os, Cu, Fe (см. тезисы Лавров, Кулешевич, 2009), впервые установленный в медных рудах Карелии. В связи с практически полным отсутствием в рудах сфалерита и пирита, Cd «предпочитает» связываться в гринокит, а Co – в кобальтин (рис. 2). Остальные минералы (киноварь, Sb_2S_3) представляют собой более редкие единичные находки.

В зонах окисления в рудах развиты куприт и каймы вокруг сульфидов, в крайних зонах которых находятся Cu-Fe оксиды, гематит с примесями Cu, во внешней зоне – сложные минеральные смеси с Al, Si, Ca и налеты малахита. На поздних стадиях, в том числе, в просечках, секущих Cu-содержащие гематитовые каймы и куприт выделяется барит, ксенотим, акантит, серебро (рис. 2). Барит образует самостоятельные зерна, содержит включения акантита и пересекает зерна куприта. То есть, с увеличением кислородного потенциала и при дефиците серы образуются сульфаты, оксиды, минералы серебра и некоторые более редкие минералы и, в том числе, медь.

Таким образом, в заключение можно отметить следующее: 1. Дорудные изменения, сопровождающие медную минерализацию месторождения Воронов Бор в кварцито-песчаниках сопровождались альбитизаций, в зальбандах сульфидно-кварцевых прожилков развиты альбит, микроклин. 2. Золото накапливается в борнитовом типе руд и кварцевых жилах (это требует внимательной картировки рудной зональности и жил). 3. Появление в рудах таких элементов, как Mo, Ag, Th, Pb, Se, Te подчеркивают влияние корового источника. 4. Высокие концентрации Ag и его отложение сначала совместно с золотом и селенидами в борнитовых рудах, а затем в окисленных ассоциациях, указывают на низкотемпературный характер процесса и, в целом, снижение концентрации серы и возрастание потенциала кислорода, что сопровождалось появлением в парагенезисе с акантитом оксидов и барита. 5. Все наиболее редкие и благородные элементы накапливались в конце процесса. 6. $T_{рудообр.}$ снижалась от $260^{o}C$ (околожильные метасоматиты) до $\sim100^{o}C$ и ниже в зоне окисления.

Работа выполнена по гранту РФФИ-08-05-98815-р-север-а и по Программе фундаментальных исследований ОНЗ РАН № 2 «Эволюция литосферы, металлогенические провинции, эпохи и рудные месторождения: от генетических моделей к прогнозу минеральных ресурсов», проекту «Золоторудные системы…: геодинамические обстановки, возрасты, минералого-геохимическая типизация».

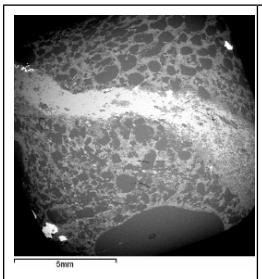
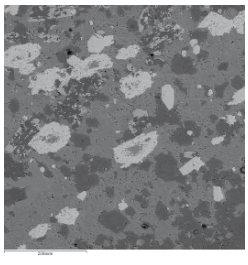
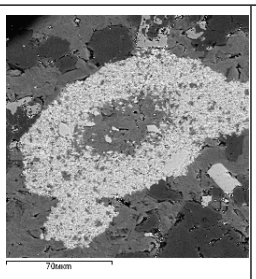
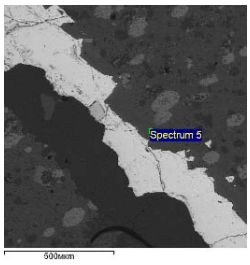
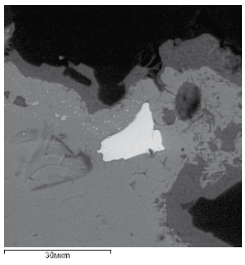
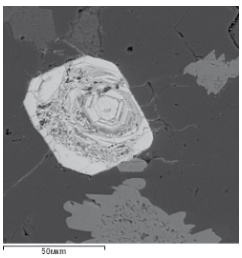
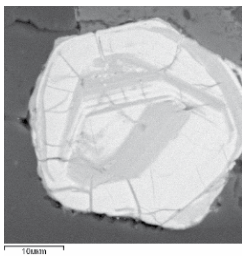
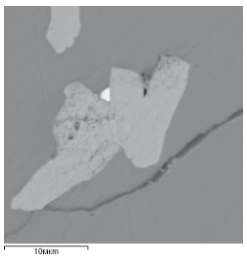
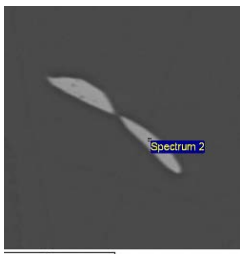
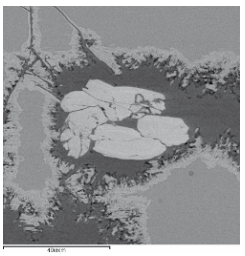
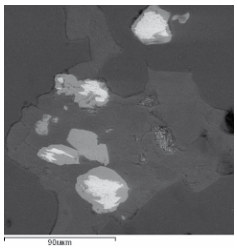
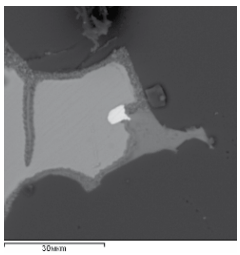
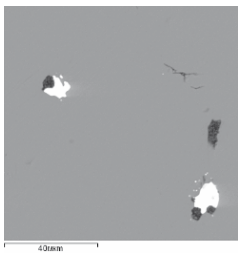
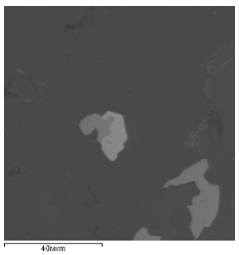
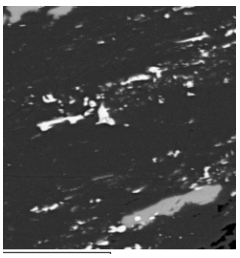
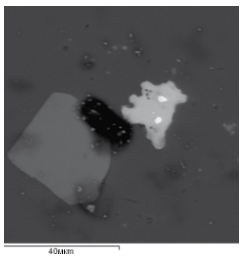
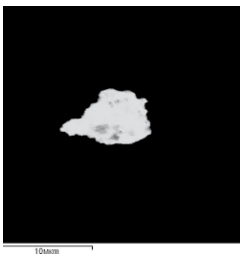
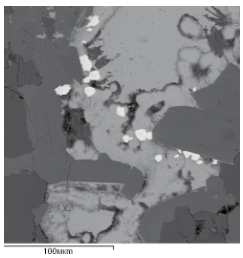
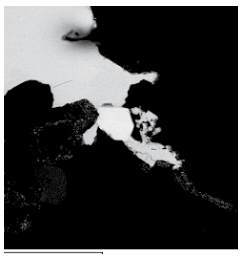
				
Сфен в прожилке в кварцевых конгломератах	Форма выделения сфена в прожилке	Фрамбоидальная форма выделения сфена	В прожилке халькопирит, кварц, микроклин, альбит	Золото (белое), клаусталит (тонкодисперсное), борнит
				
Циркон, молибденит	Зональный циркон, микроклин (серый сверху)	Молибденит	Халькопирит, молибденит, науманнит (белое)	Золото, борнит
				
Молибденит (зерна), борнит, халькозин (каймы)	Куприт (серое), молибденит (белое), слюда	Науманнит Ag_2Se в борните, халькозин	Клаусталит PbSe (зерна и эмульсия) в борните	Срастание гринокит (светло-серый), борнит (серый)
				
Барит (серый), куприт (темно-серый), акантит (белый),	Барит (светло-серый), акантит (белый)	Самородное серебро	Куприт, гематит, монацит (белое), микроклин, слюда	Кобальтин (ярко-белый кристалл), борнит

Рис. 2. Формы выделения минералов в рудах сульфидного медного месторождения Воронов Бор.

Список литературы

1. Голубев А.И., Светов А.П. Геохимия базальтов платформенного вулканизма Карелии. Петрозаводск. 1983. 192 с.

2. Кулешевич Л.В. Альбититы в протерозойских образованиях Карелии и их золотоносность // Геология и полезные ископаемые Карелии. Петрозаводск. 2001. №3. С. 33–39.

3. Кулешевич Л.В., Голубев А.И., Лавров О.Б. Палеопротерозойские золотосодержащие медные рудопроявления Карелии. Тезисы. Сыктывкар:Геопринт, 2009.

4. Минерально-сырьевая база Республики Карелия. Петрозаводск: Изд-во Карелия, 2005. 278 с.

5. Сиваев В.В., Бондарев В.П., Попова В.А. Минерализация и генетические особенности месторождения меди Воронов Бор в Центральной Карелии // Дополнительные критерии поисков месторождений полезных ископаемых в Карелии и на Кольском полуострове: Тр. РФ РСФСР. Вып. 7. М., 1978. С. 50-67.

ПЕРВЫЕ НАХОДКИ РЕНИЕВЫХ МИНЕРАЛОВ В КАРЕЛИИ

О.Б. Лавров, Л.В. Кулешевич
ИГ Кар. НЦ РАН, г. Петрозаводск; e-mail: petrlavrov@list.ru

Рений – один из редчайших элементов земной коры (его кларк 0,7 мг/т). В настоящее время в природе известны пять рений-содержащих минералов, из которых два наиболее распространены и могут давать скопления в рудах тех или иных месторождений, представляя промышленный интерес: это джезказганит – $CuReS_2$ (~36-51 % Re), открытый в 1962 г. в поздних халькозиновых рудах месторождения Джезказган (Казахстан), и рениит – дисульфид рения ReS_2 (~71-77 % Re), установленный в возгонах вулкана Усу (о. Хоккайдо, Япония) в 80-х годах прошлого века. Спустя несколько лет, этот же минерал был обнаружен на вулкане Кудрявый (о. Итуруп, Курильские острова) [1]. В Узбекистане на медно-молибден-порфировом месторождении Кальмакыр установлены: рениит с содержанием Re - 77 %, сульфиды Re-Fe-Cu (иногда с Zn) с содержанием Re 10-26 %, а в казахстанских месторождениях – иногда с Mo и Pb [2].

Рений в основном попутно извлекается из руд медно-молибден-порфировых и стратиформных медных месторождений (медистые песчаники и сланцы), где основным его носителем являются молибденит (с содержанием Re в молибденитовом концентрате 0,01-0,04 %), реже его собственные минералы, а также сульфиды Fe и Cu, в концентратах которых содержание Re в среднем составляет 2-3 г/т. В медно-молибден-порфировых рудах Узбекистана среднее содержание Re 0,8-3,5 г/т, Os 0,2-3 г/т [2]. Среди них особо выделяются месторождение Кальмакыр (Cu-Mo РФ) и Мурунтау (Au-Qu РФ), где содержания Re в молибдените достигают 1311-1800 г/т. Многие месторождения Средней Азии выделяются своей необычно высокой концентраций Re в рудах. В Казахстане в медистых песчаниках и медно-молибден-порфировых рудах Джезказгана и Коунрада содержание Os составляет 0,002-0,003 г/т [2-3]. Еще более высокие концентрации Re известны на месторождениях Армении и в Норвегии на Фенноскандинавском щите. Рений изоморфно входит в молибденит, осмий же имеет радиогенную природу и образуется в результате радиоактивного превращения изотопа ^{187}Re путем эмиссии β-частицы. В рудах Узбекистана 3R полиморфная модификация молибденита наиболее обогащена Re в отличие от гексагональной 2H [2]. Обычно оба эти элемента попутно извлекаются при переработке молибденовых и медных руд из шламов.

Стоимость рения сейчас составляет около 1500 долл./кг (рис. 1). Основные области его использования – в нефтеперерабатывающей промышленности в Pt-Re катализаторах при крекинге нефти (способствует выходу высокооктанового бензина) и в авиа- и ракетостроении. Ориентировочная цена на изотоп Os^{187} – около 15 тыс. долл. США за 1 грамм.

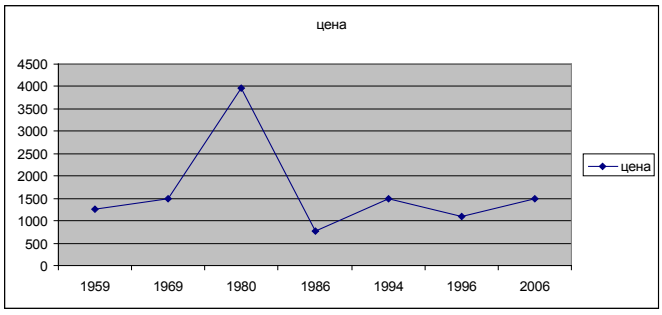


Рис. 1. Стоимость рения ($/кг).

В пределах Карельского региона рений встречается в проявлениях нескольких рудных формаций (РФ), из которых к главным, определяющим рудный потенциал, по данным ГГУП СФ «Минерал», отнесена медно-молибден-порфировая (табл. 1), производственным объединением «Невскгеология» сделана оценка попутных компонентов, в т.ч. на Re (P_3 450 кг), благороднометалльно-Cu-U-V руд Средней Падмы. Остальные возможные источники не оценивались и не изучались. Молибдениты месторождения Лобаш обогащены Re (13–187 г/т) и Os (0,4–6 г/т), проявления Бергаул, Пяяваара, Метчагоя содержат его более низкие концентрации. В архейском и палеопротерозойском проявлениях Ялонваара и Алатту в Сев. Приладожье установлено до 174,3-176,6 г/т Re [3, 4]. Присутствие Re зафиксировано, в том числе, и в породообразующих минералах, например, в слюдах околорудного ореола месторождения Лобаш [4]. Наиболее высокая концентрация Re определена в молибдените из прожилков в протерозойских пегматитовых жилах, секущих амфиболиты по ятулийским базальтам участка Ханкус в Северной Карелии – до 420 г/т, Os - 8,2 г/т [3, по H. Stein, AIRIE Group].

Таблица 1. Содержания **Re** и **Os** в молибденитах медно-молибден-порфировой РФ в Карелии.

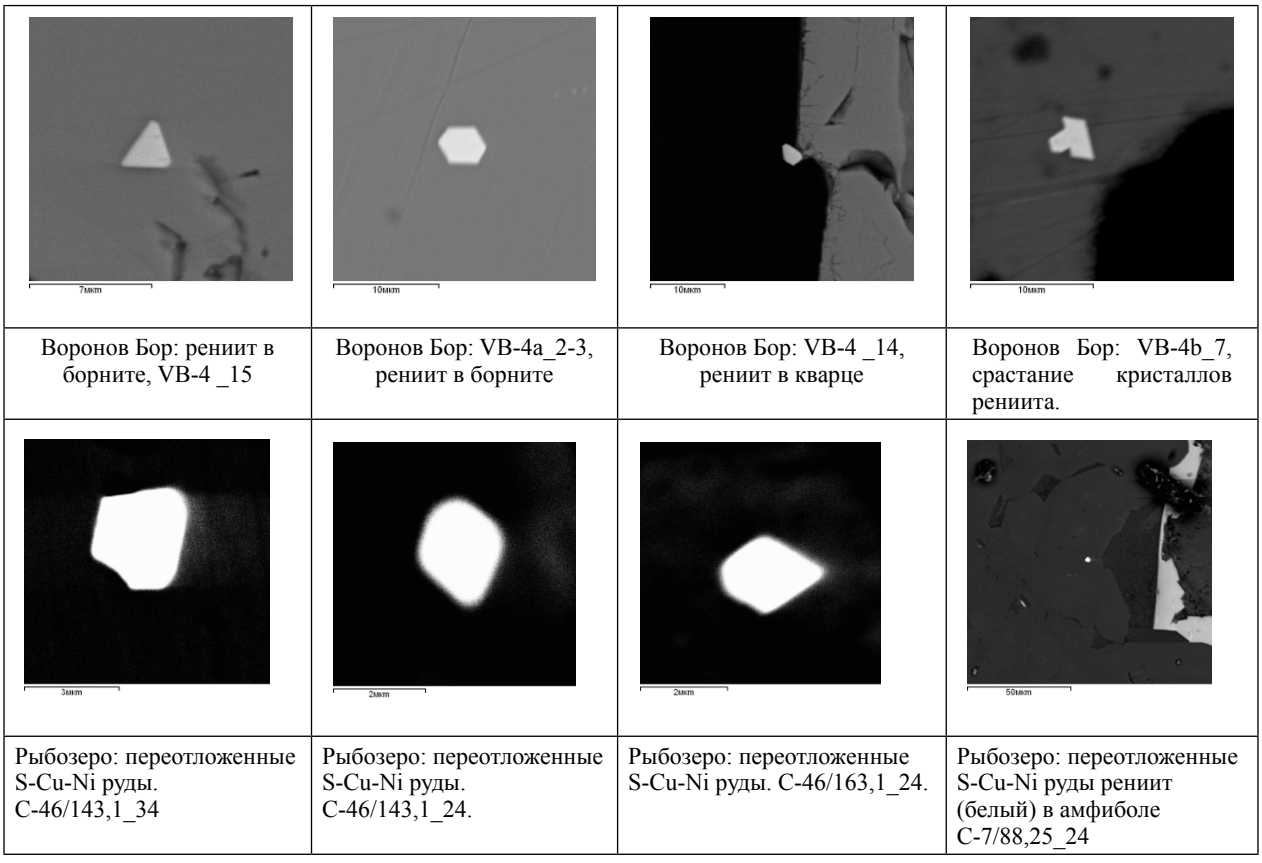
Месторождение, рудопроявление	Рудная формация	**Mo, г/т**	**Cu, %**	**Re, г/т**	**Os, г/т**
Лобаш	Медно-молибден-порфировая (AR_2)	6000	0,01-0,015	17,9-56,8*	0,5-1,12**
Ялонвара	Медно-молибден-порфировая (AR_2)	5500	0,01-0,017	46,9-176,6	5,7
Бергаул	Медно-молибден-порфировая (AR_2)		0,024	35,9	0,8
Алатту	Медно-молибден-порфировая, золото-сульфидная (PR_1)		0,03	174,3	2,86

Примечание. *Рений определялся в ВИМСе по существующей методике, **осмий – в МИФИ лазерным масс-спектрометрическим методом. Остальные анализы рения и осмия выполнены в АО «Механобр-Аналит», Re – экстракционным и УРС, Os – кинетическим методами. Из материалов ГГУП СФ «Минерал», данные В.А. Богачева, исследованы образцы В.А. Богачева, В.М. Тытыка, О.Б. Лаврова [3].

Тем не менее, собственных минералов рения до настоящего времени в Карельских месторождениях и проявлениях вышеуказанных или иных формаций вообще не было обнаружено. Авторами проводились детальные исследования минералогии медносульфидных руд Кумсинской структуры и руд разных РФ-типов с месторождения Рыбозеро, в результате которых и были впервые сделаны столь редкие находки.

Месторождение Воронов Бор расположено в 8 км южнее г. Медвежьегорска в Кумсинской структуре. Представлено медносульфидными рудами в кварцито-песчаниках и кварцевых конгломератах. Именно здесь впервые для Карелии и для борнитового типа руд был обнаружен новый рениевый минерал, названный авторами осмий-медистым *рениитом* и в целом определена перспектива Au-Ag-Mo-содержащих медных руд на Re.

Вороновоборский рудник «приискан» унтер-штейгером Нефедом Афанасьевым в 1771 г. Добыча руды производилась с перерывами, в последний раз, в период с 1887 по 1914 г. Из небольшого карьера было извлечено около 15 тыс. т руды, из которых 6 тыс. т до сих пор складированы в штабеля вблизи старого рудника. Медносульфидное оруденение на этом месторождении приурочено к горизонту кварцевых песчаников, гравелитов и галечных конгломератов, залегающему на неровной поверхности метавулканитов янгозерской свиты нижнего ятулия [5, 6]. Вкрапленность сульфидов меди встречается повсеместно и в подстилающих метабазальтах. Рудное тело имеет форму пластовой залежи, падающей на восток под углом 18–20°. Протяженность залежи, прослеженная в результате геолого-разведочных работ, составляет 300 м, по падению – 120-140 м. Мощность на поверхности – 8-12 м, на глубине 140 м - 3-4 м. Содержание меди в руде варьирует от 0,5 до 5,76 % (ср. 1,3 %). В рудах присутствуют Au и Ag, содержания которых составляют соответственно 0,8-3,3 г/т (до 77 г/т) и 21-125 г/т (в богатых рудах до 990 Ag г/т [7]). Рудоносный горизонт содержит халькопирит, борнит, халькозин и некоторые другие редкие минералы, выделяются вкрапленные халькопиритовые, борнитовые и халькозиновые руды и их смешанные разновидности. Месторождение А.И. Голубевым отнесено к меднорудной формации типа «медистых песчаников», чему послужила его стратиграфическая приуроченность к кварцито-песчаникам и предполагаемая пространственная связь с раннеятулийским вулканическим центром [5-6]. Так как месторождение находится в Святухинско-Космозерской зоне складчато-разрывных дислокаций, с которой связан ряд благороднометалльно-U-V залежей на Заонежском полуострове, это обстоятельство обусловило проявление гидротермально-метасоматических преобразований с привносом таких элементов как Se, Bi, Mo и МПГ. По поводу генезиса месторождения у авторов существует мнение, изложенное в [8, Кулешевич, Лавров, наст. сб.].



Воронов Бор: рениит в борните, VB-4 _15	Воронов Бор: VB-4a_2-3, рениит в борните	Воронов Бор: VB-4 _14, рениит в кварце	Воронов Бор: VB-4b_7, срастание кристаллов рениита.
Рыбозеро: переотложенные S-Cu-Ni руды. C-46/143,1_34	Рыбозеро: переотложенные S-Cu-Ni руды. C-46/143,1_24.	Рыбозеро: переотложенные S-Cu-Ni руды. C-46/163,1_24.	Рыбозеро: переотложенные S-Cu-Ni руды рениит (белый) в амфиболе C-7/88,25_24

Рис. 2. Кристаллы рениита в медистых песчаниках месторождения Воронов Бор и переотложенных сульфидно-медно-никелевых рудах западной ветви месторождения Рыбозеро.

Медистый рениит (рис. 2) был обнаружен в виде включений в борните (борнитовой руде), реже вблизи зерен борнита в кварце. Он образует шести-, четырехгранные, ромбические и треугольные пластинки и их сростки размером 3-5 мкм. Их внешний вид позволяет предполагать, что минерал имеет триклинную сингонию. Рентге-

новских исследований из-за малого размера зерен проведено не было. В рудах установлены халькопирит, молибденит, сам. золото, серебро, теллуриды и селениды серебра, галенит, клаусталит, кобальтин, гринокит. В составе рениита кроме Re (56,53-60,25 %) присутствуют Os до 3,68 %, Cu (7,59-10,99), Fe (табл. 2).

Сходный по составу рениит $(Re, Cu, Os, Fe)_1S_2$ обнаружен в переотложенных медно-никелевых рудах западной ветви месторождения Рыбозеро в Южно-Выгозерском зеленокаменном поясе (табл. 2).

Месторождение Рыбозеро расположено в небольшой субмеридиональной Рыбозерской структуре в ЮВ обрамлении плагиогранитного Шилосско-Рыбозерского массива. На уч. Рыбозеро развито несколько типов руд, из которых к западной ветви структуры приурочены переотложенные ильменит-магнетитовые и совмещенные с ними сульфидно-медно-никелевые руды, подсеченные рядом скважин [9, 10]. Руды содержат ильменит, апатит, магнетит, пирротин, пирит, халькопирит, бравоит, миллерит и редкие минералы, такие как галенит, Se-галенит, серебро, алтаит, Pd-теллуриды, рениит и др. Вопрос о генезисе и источнике руд (оксидных и S-Cu-Ni руд) остается дискуссионным, однако нет сомнения в их позднем наложенном метаморфогенно-метасоматическом характере развития, и, в связи с появлением селенидов, возможном влиянии свекофеннских процессов. Рениит выделяется в срастании с сульфидами и иногда самостоятельно в породообразующем амфиболе в тех же сульфид-содержащих горизонтах, образуя зерна ромбического сечения размером 2-3 мкм. Он содержит Re 57,09-58,86 %, Os до 3,77 %. На уч. Рыбозеро в рениите концентрация Cu ниже, а Fe несколько выше, чем на месторождении Воронов Бор (табл. 1, рис. 2). Содержание Re и Os в руде и концентратах не определялось.

Таблица 2. Химический состав Cu-Os рениита (мас. %) месторождений Воронов Бор и Рыбозеро.

№ пп	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
S (%)	28,95	28,26	28,91	29,71	29,46	29,42	29,62	26,89	30,15	28,53	30,26	31,17
Fe	-	1,20	1,25	0,91	1,09	1,10	1,14	4,18	3,52	4,75	3,32	1,45
Cu	7,59	10,99	9,06	9,23	9,5	9,51	10,42	22,35	5,71	4,61	5,16	4,75
Re	60,25	55,87	58,26	58,63	58,31	58,24	56,53	44,69	57,09	58,37	58,10	58,86
Os	3,2	3,68	2,52	1,52	1,64	1,72	2,29	1,89	3,53	3,74	3,10	3,77
Сумма	99,99	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Формульные единицы												
S	1,99	1,90	1,94	1,97	1,96	1,95	1,95		1,99	1,93	2,00	2,07
Fe	0	0,05	0,05	0,03	0,04	0,04	0,04		0,13	0,18	0,13	0,06
Cu	0,26	0,37	0,31	0,31	0,32	0,32	0,35		0,19	0,16	0,17	0,16
Re	0,71	0,65	0,07	0,67	0,67	0,67	0,64		0,65	0,68	0,66	0,67
Os	0,04	0,04	0,03	0,02	0,02	0,02	0,03		0,04	0,01	0,03	0,04
Сумма	1,01	1,10	1,06	1,03	1,04	1,05	1,05		1,01	1,07	1,0	0,93
№ обр. и уч.	VB-4 _14	VB-4 _15	VB-4 _16	VB-4a _1	VB-4a _2	VB-4a _3	VB-4b _7	VB-4_2	C-46/143,1 _24	C-46/143,1 _33	C-46/163,1 _17	C-7/88,25 _23

Примечание. 1-8 – Воронов Бор. 9-12 – Рыбозеро. Сумма приведена к 100 %. Состав минерала изучался с помощью сканирующего электронного микроскопа VEGA II LSH с микроанализатором INCA Energy 350. Ан. 8 – с примесью борнита.

Таким образом, из приведенного краткого обзора можно сделать следующие выводы:

В настоящее время известно, что наиболее перспективным источником на Re и Os в Карелии являются медно-молибден-порфировые руды, в которых Re и Os сконцентрированы в молибдените. Исследования, проведенные авторами, показали, что медносульфидные руды в альбититах, в т.ч., «медистые песчаники» (особо борнитовый минеральный тип) – не менее значительный источник Re, Os. То же относится к переотложенным S-Cu-Ni рудам западной ветви месторождения Рыбозеро.

Проведенный анализ позволяет выделить следующие типы комплексных руд, перспективных на Re, Os, к ним относятся: 1) медно-молибден-порфировые; 2) медно-сульфидные - «медистые песчаники» и, возможно, медные руды разной генетической принадлежности; 3) сульфидно-медно-никелевые переотложенные; 4) благороднометалльно-Cu-U-V (Падминский тип). Палеопротерозойские медные проявления (месторождения) Карелии, а также благороднометалльно-Cu-U-V могут быть отнесены к комплексным объектам, наиболее перспективным на Ag, Au, Pd и более редкие и дорогостоящие элементы, такие как Re.

Для Карелии открыт новый минерал медистый рениит, содержащий изоморфные примеси Cu, Os, Fe. Дальнейшие исследования, вероятно, позволят авторам более однозначно отнести его, либо к новому минеральному виду, либо, как сказано выше, считать рениитом с широкими изоморфными замещениями.

Работа выполняется по гранту РФФИ-08-05-98815-р-север-а и по Программе фундаментальных исследований ОНЗ РАН № 2 «Эволюция литосферы, металлогенические провинции, эпохи и рудные месторождения: от генетических моделей к прогнозу минеральных ресурсов», проекту «Золоторудные системы…: геодинамические обстановки, возрасты, минералого-геохимическая типизация».

Список литературы

1. Знаменский В.С., Коржинский М.А., Штейнберг Г.С. и др. Рениит, ReS_2 – природный дисульфид рения из фумарол вулкана Кудрявый (о. Итуруп, Курильские острова) // Зап. РМО. 2005. № 5. С. 32-39.

2. Туресебеков А.Ф., Шарипов Х.Т. и др. Рений Узбекистана // Горный Вестник Узбекистана. 2007. № 31. С. 1-12. htth: //mining-bulletein.getech.uz/ru/archive/2007/31/261

3. Богачев В.А.и др. 1999. Осмий и рений в молибденитах гранит-порфировых проявлений Карелии // Минерал. геол.

журнал. 1999. № 1. С. 13-15.

4. Покалов В.М., Семенова Н.В. Лобаш – Первое крупное молибденовое месторождение докембрийского возраста (Карелия) // Геол. рудн. местород. 1993. № 3. С. 262-270.

5. Голубев А.И., Светов А.П. Геохимия базальтов платформенного вулканизма Карелии. Петрозаводск. 1983. 192 с.

6. Смирнова Н.К., Голубев А.И., Трофимов Н.Н. Новые данные по минералогии и генезису медных руд месторождения Воронов Бор // Вопросы геологии и магматизма докембрия: Опер.-информ. материалы за 1991 год. Петрозаводск, 1992. С. 51-55.

7. Минерально-сырьевая база Республики Карелия. Петрозаводск: Изд-во Карелия, 2005. 278 с.

8. Кулешевич Л.В., Голубев А.И., Лавров О.Б. Палеопротерозойские Au-содержащие медные проявления Карелии. Сыктывкар: Геопринт, 2009.

9. Земная кора и металлогения Восточной части Балтийского щита. Л., 1983. 303 с.

10. Слюсарев В.Д., Голубев А.И. Элементы платиновой группы в породах Южно-Выгозерского зеленокаменного пояса // Полезные ископаемые Карелии. Петрозаводск, 2003. С. 34-43.

МИНЕРАЛОГИЯ И ГЕНЕЗИС ЦИРКОНА В РЕДКОЗЕМЕЛЬНО-ЦИРКОНИЕВОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ САХАРЙОК, КОЛЬСКИЙ ПОЛУОСТРОВ

Л.М. Лялина, Д.Р. Зозуля, Е.Э. Савченко
Геологический институт КНЦ РАН, г. Апатиты, e-mail: lialina@geoksc.apatity.ru

С сиенитами Сахарйокского массива связано комплексное редкоземельно-циркониевое месторождение. Эти руды представляются на сегодняшний день одним из наиболее перспективных коренных источников циркония в России и по ресурсному потенциалу соответствуют классу уникальных [2]. Оруденение локализовано в теле нефелиновых сиенитов. Рудный блок состоит из шести крутопадающих линейных зон мощностью от 10 до 200 м и общей площадью около 2 км^2. Рудные минералы содержатся в количестве (об.%): циркон 0.5-1.2 (участками до 2.5) и бритолит-(Y) 0.2-0.4.

Морфология циркона

В нефелиновых сиенитах рудного блока циркон морфологически наиболее разнообразен. Нами выделено пять морфотипов – призматический цирконовый, призматический цирконово-гиацинтовый, остродипирамидальный, дипирамидально-призматический и дипирамидальный. Количественное соотношение морфотипов варьирует в разных петрографических разновидностях нефелиновых сиенитов, но, в целом, может быть оценено следующим образом: наиболее распространенным является дипирамидальный морфотип (~75% индивидов), дипирамидально-призматических кристаллов 20-25%; суммарное содержание индивидов оставшихся морфотипов не превышает 5%.

Дипирамидальный морфотип является не только наиболее распространенным, но и имеет наибольшие размеры кристаллов, достигающие 10-15 мм в ребре. Доминантной простой формой является дипирамида {111}. В огранке также участвуют узкие грани {221}±{110} (рис. 1, а). *Дипирамидально-призматический морфотип* представлен удлиненными ($К_у$=1,5-2) кристаллами, образованными комбинацией граней цирконовой призмы {110} и дипирамид {111} и {221} (рис. 1, б). К *остродипирамидальному морфотипу* отнесены «веретенообразные» кристаллы ($К_у$≈2,3-2,5), образованными гранями {331}±{221}+{111} (рис. 1, в). Редко в огранке участвуют небольшие грани призм {110} и {100}. *Морфотип призматический цирконовый:* кристаллы удлиненного облика ($К_у$≈ 2,5) призматического габитуса с доминирующей цирконовой призмой {110} (рис. 1, г). На кристаллах *призматического цирконово-гиацинтового типа* ($К_у$≈2,0-2,2) призм более развиты грани {110} (рис. 1, д). Для кристаллов всех выделенных морфотипов часто отмечается вырождение одной или обеих вершин дипирамиды {111} в ребро (рис. 1, а,б,г,д), а на кристаллах дипирамидального, дипирамидально-призматического и остродипирадального габитусов – еще и развитие очень редкой для циркона формы – базопинакоида {001} (рис. 1, а). Из искаженных форм роста отмечены: 1) уплощенные дипирамидальные кристаллы, характеризующиеся большим развитием одной пары параллельных граней по сравнению с другой, 2) асимметричные дипирамидально-призматические кристаллы, у которых одна головка представлена бóльшими по площади гранями, чем другая, и 3) многоглавый рост дипирамидальных и остродипирамидальных кристаллов.

Анатомия кристаллов циркона

Во внутреннем строении кристаллов циркона в рудах Сахарйокского месторождения установлены внутрифазовая и фазовая (включения) неоднородности. По характеру *внутрифазовой неоднородности* кристаллы представлены двумя типами. В преобладающем числе кристаллов выявлено четкое разделение внутренних и внешних зон (рис. 1, е-к, м, о, п). Для внутренних зон характерен более высокий «средний атомный номер» вещества $Z_{ср}$ (светлые в обратно-отраженных электронах (BSE)), но слабое свечение в катодных лучах. Внутренние зоны очень

редко имеют идиоморфные очертания (рис. 1, е), чаще их границы сильно изрезанные, бухтообразные, вплоть до сохранения внутренних зон в виде разрозненных фрагментов (рис. 1, ж). Катодолюминесценцией выявляется неоднородность строения в виде участков неправильной формы с разной интенсивностью свечения (рис. 1, и, к), и лишь в редких случаях в кристаллах призматического габитуса исследованиями в обратно-отраженных электронах прослеживаются слабые признаки ритмичного строения. Внешние зоны залечивают неровности внутренних, придавая идиоморфные очертания и наследуя первичную морфологию кристаллов циркона. Их мощность варьирует существенно – от узких каемок до значительных по объему частей кристаллов. Зоны обладают более низким $Z_{ср}$ (темные в BSE), более интенсивной катодолюминесценцией, которой выявляется четкое ритмично-зональное строение. Ритмы внешних зон имеют ширину от первых до 20-25 мкм; их контуры в целом повторяют огранку кристаллов. Редкими являются индивиды без разделения на внутренние и внешние зоны. В них проявлено только ритмично-зональное строение, аналогичное внешним зонам кристаллов вышеописанного типа.

Фазовая неоднородность представлена минеральными, а также, предположительно, флюидными включениями. Среди минеральных включений наиболее часто диагностируются альбит и пироксены. Форма включений неправильная, обычно со сглаженными границами. Размеры – от первых до 100 (редко 200-250) микрон. Наиболее крупные вростки представлены альбитом. В распределении включений по зонам кристаллов намечаются следующие закономерности. В кристаллах призматического габитуса (цирконовый и цирконово-гиацинтовый морфотипы) во внутренних зонах включения не установлены. В кристаллах дипирамидально-призматического и остродипирамидального габитусов присутствуют редкие включения пироксена, альбита, флюорита, полифазные включения с галенитом, Ca,Zr-фазой. Тогда как внутренние зоны дипирамидальных кристаллов наиболее богаты разнообразными минеральными включениями (альбит, пироксен, группы пирохлора, бритолита, слюд, КПШ, флюорита, REE-фазы (бастнезит?)). В них же характер фазовой неоднородности (рис. 1, м) весьма схож с цирконом из мариуполитов (рис. 1, н). Внешние зоны кристаллов различных морфотипов содержат единичные крупные включения альбита (реже пироксена) (рис. 1, ж).

По характеру фазовой неоднородности внутренних зон существенно отличается циркон из пегматоидных нефелиновых сиенитов с перекристаллизованными порфиробластами амфибола и слюды. Внутренние зоны кристаллов характеризуются пористым строением и насыщены многочисленными флюидными (на срезах кристаллов наблюдаются полости) и твердофазными включениями (рис. 1, о, п). Среди минеральных включений преобладает флюорит. Диагностированы также бастнезит, пироксен, торит, Nb-фаза. Размеры включений не превышают 10 мкм, форма обычно изометричная с неровными границами.

Выявленные признаки фазовой неоднородности (форма, минеральный состав, распределение в кристаллах) позволяют считать включения прото- и сингенетичными по отношению к вмещающему циркону.

Генезис циркона в рудах месторождения Сахарйок

Совокупность полученных данных по минералогии циркона в рудах месторождения позволяет реконструировать генезис данного минерала.

Магматический этап фиксируется наличием внутренних зон кристаллов, представляющих собой реликты первичного циркона, морфология которых наследуется при нарастании внешних зон. Кристаллизация происходила в широком температурном интервале, о чем свидетельствуют смена габитусных форм кристаллов и характер распределения фазовой неоднородности. Так, к наиболее высокотемпературным следует отнести призматические кристаллы, в которых внутренние зоны не содержат включений. Их образование происходило в слабо закристаллизованной среде, при высоком кристаллизационном давлении циркона, позволявшем индивидам не захватывать посторонние примеси. Температура образования раннего циркона косвенно оценена по диаграмме [6] в 900-850^0 С. По мере снижения температуры начинают преобладать грани {111} и {221}, что приводит к кристаллизации дипирамидально-призматического морфотипа. Внутренние зоны этих кристаллов более насыщены минеральными включениями, что позволяет рассматривать их как образовавшиеся в частично закристаллизованной породе (T≈800^0 С). При дальнейшем понижении температуры и повышении щелочности среды образуются дипирамидальные кристаллы, внутренние зоны которых весьма насыщены включениями. В последних очень много вростков альбита, а по строению эти кристаллы весьма схожи с цирконом из мариуполитов Октябрьского массива, Украина (рис.1, и). Образование циркона в мариуполитах интерпретируется как результат скелетного роста в уже вполне сформировавшихся породах [4]. Кристаллизация дипирамидального циркона в рудах массива Сахарйок происходила при температурах порядка 500^0 С, в достаточно консолидированной обстановке, близко по времени с кристаллизацией основной массы альбита.

С **постмагматическим/гидротермальным этапом** связано образование «пористого» циркона, переполненного минеральными и флюидными включениями. Подобное строение зон позволяет предполагать быстрый рост циркона из насыщенной флюидом среды, в ходе которого циркон как губка «впитывал» в себя другие фазы. О том, что быстрый рост кристаллов сопровождается захватом большого количества включений среды кристаллизации, свидетельствуют экспериментальные данные [3]. Сходным внутренним строением (пористость, обилие включений) характеризуются кристаллы циркона, для которых предполагается гидротермальный генезис. Формирование гидротермального циркона происходит при низком давлении (менее 2 кбар), низкой температуре (менее 500°С) и высоком отношении флюид/порода [8]. Одним из самых главных факторов, влияющих на подвижность циркония, является высокая концентрация фтора в среде кристаллизации [7]. Породы Сахарйокского

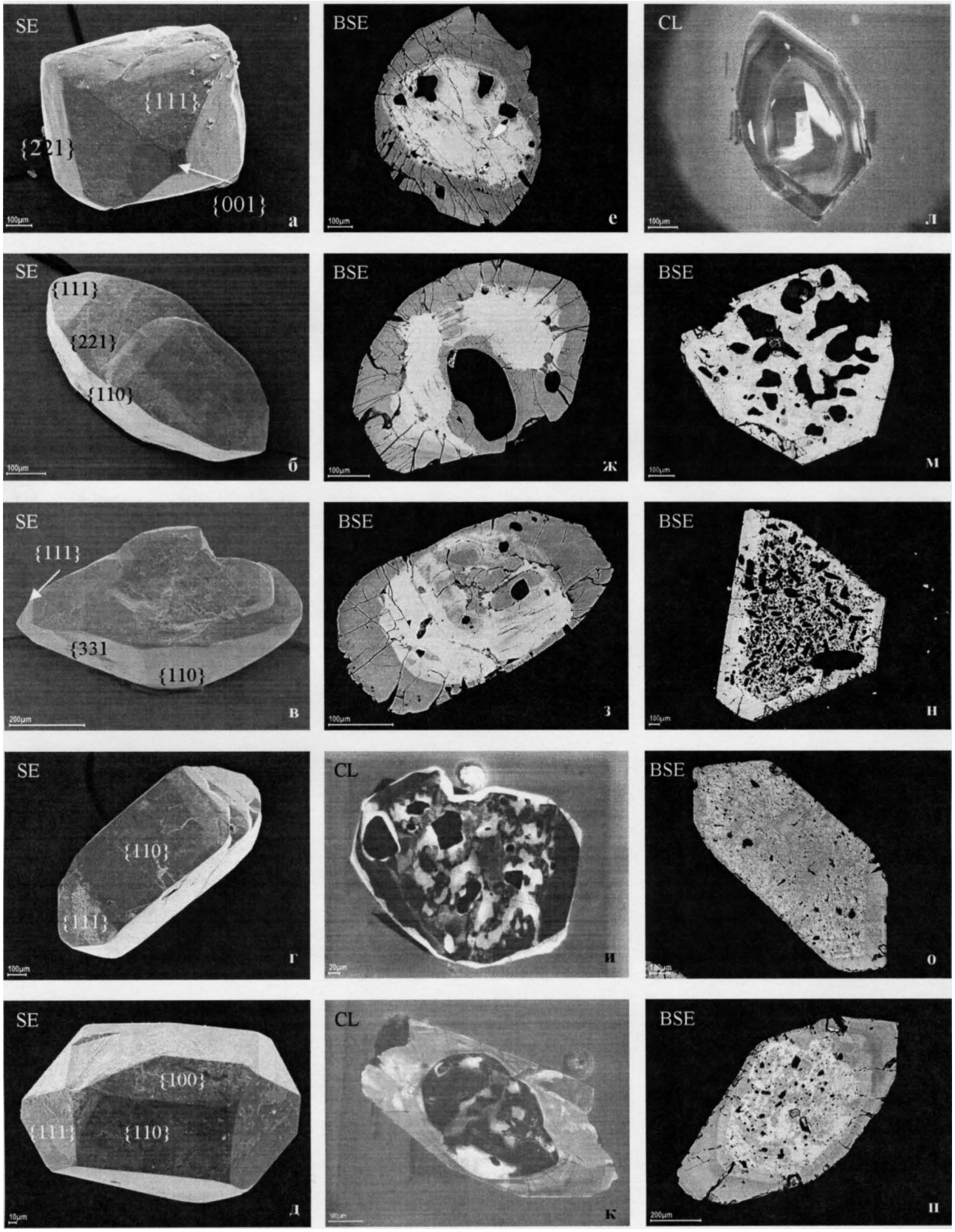


Рис. 1. Морфология и анатомия кристаллов циркона в рудах месторождения Сахарйок.
SE - вторичные электроны, BSE - обратно-отраженные электроны, CL- катодолюминесценция.

щелочного массива богаты фтором (0.2-1.2 мас. % в нефелиновых сиенитах), что и способствовало кристаллизации циркона на постмагматической стадии.

Метаморфический этап. На этапе регионального метаморфизма, наложенного на породы массива, происходит растворение и переотложение вещества магматического и постмагматического/гидротермального циркона. Степень растворения индивидов варьирует очень сильно (рис. 1, е, ж). Новообразованный циркон либо нарастает в виде внешних зон на реликтовые индивиды как на затравки, либо образует самостоятельные индивиды.

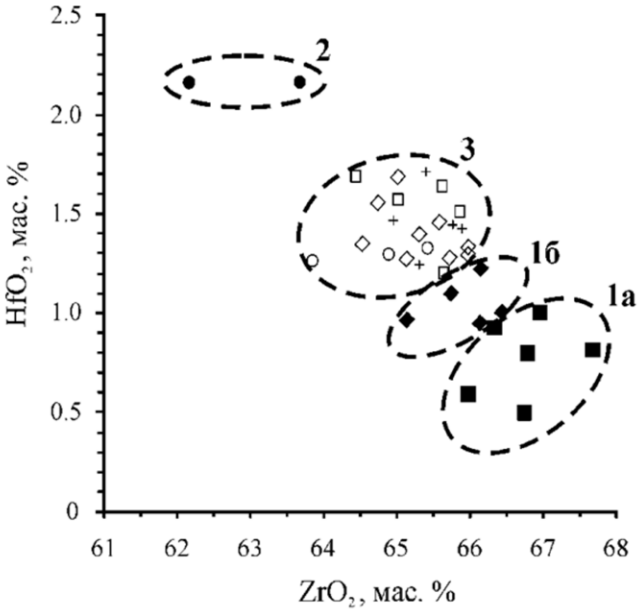


Рис. 2. Диаграмма ZrO_2-HfO_2 для циркона из месторождения Сахарйок.

Вывод о полистадийности образования циркона, основанный на результатах изучения морфологии и анатомии индивидов, подтверждается данными химического состава циркона (рис. 2), который ранее не изучался в силу насыщенности минерала включениями [1]. Современные высоколокальные методы исследования вещества позволили выполнить анализы различных зон неоднородных кристаллов циркона всех морфотипов. Основным индикатором различных генетических процессов было выбрано отношение ZrO_2/HfO_2. Многочисленными исследованиями (обзоры в [8, 5]) показано, что в ходе магматической дифференциации и развития постмагматических процессов происходит увеличение содержания Hf в цирконе. По ZrO_2/HfO_2 отношению в рудах месторождения Сахарйок выделяются три основные группы циркона (рис. 2). Первая группа соответствует магматическому этапу кристаллизации и включает внутренние зоны кристаллов призматического, дипирамидально-призматического и дипирамидального габитусов. При этом группу можно разделить на две подгруппы. Высокотемпературные морфотипы (призматические и дипирамидально-призматические индивиды, поле 1а, рис. 2) имеют наиболее высокие ZrO_2/HfO_2 отношения (среднее значение 90) и могут быть отнесены к раннемагматической стадии. Низкотемпературный морфотип дипирамидального габитуса (поле 1б) имеет несколько пониженные ZrO_2/HfO_2 отношения (среднее значение 63) и относится к позднемагматической стадии. Во вторую группу (поле 2) входят точки составов «пористых» внутренних зон. Они имеют наиболее низкие ZrO_2/HfO_2 отношения (среднее значение 29) и повышенные количества Ca, Y и Th, и соответствуют постмагматическому/гидротермальному этапу. Третья группа объединяет точки составов из внешних зон разных морфогенетических типов циркона, а также самостоятельных ритмично-зональных кристаллов (поле 3), относимых к метаморфическому этапу. Они характеризуются пониженными, по сравнению с магматическими цирконами, и повышенными относительно постмагматических ZrO_2/HfO_2 отношениями (среднее значение 45). Положение фигуративных точек циркона этой группы отражает «выравнивание» составов в процессе наиболее поздней метаморфической перекристаллизации минералов как магматического, так и постмагматического этапов. Это подтверждается сходными ZrO_2/HfO_2 отношениями в цирконах из этой группы и в самих нефелиновых сиенитах (среднее значение в последних составляет 44).

Проведенные исследования выявили особенности морфологии, анатомии и химического состава главного рудного минерала – циркона - в редкоземельно-циркониевом месторождении Сахарйок (Кольский полуостров). На их основании впервые показана весьма длительная полистадийная кристаллизация минерала на всех этапах формирования месторождения – магматическом, постмагматическом/гидротермальном и метаморфическом. Полученные результаты актуальны при постановке и решении задач как фундаментального научного значения (изотопное датирование по циркону и изучение процессов рудообразования), так и прикладного характера (разработка эффективных технологических схем переработки редкометальных руд месторождения Сахарйок).

Список литературы

1. Батиева И.Д., Бельков И.В. Сахарйокский щелочной массив, слагающие его породы и минералы. Апатиты: Изд-во КФ АН СССР, 1984. 134 с.

2. Виноградов А.Н., Батиева И.Д., Зозуля Д.Р. и др. Комплексное редкоземельно-циркониевое оруденение Сахарйокского щелочного массива // Минеральное сырье. 2000. № 7. С. 25-34.

3. Краснова Н.И., Петров Т.Г. Генезис минеральных индивидов и агрегатов. СПб: Невский курьер, 1997. 228 с.

4. Руденко С.А. О способе и механизме образования кристаллов циркона в мариуполите // Зап. ВМО. 1957. Ч. 86. № 4. С. 454-458.

5. Скосырева М.В., Солодов Н.А. Геохимия и минерагения циркония и гафния. М.:Изд-во ВИНИТИ, 1983. 212 с.

6. Pupin J.P. // Contrib. Miner. and Petrol. 1980. V. 73. № 3. P. 207-220.

7. Rubin J.N., Henry C.D., Price J.G. // Amer. Miner. 1989. V. 74. P. 865-869.

8. Zircon. Reviews in Mineralogy and Geochemistry / Eds. J.M. Hanchar, P.W.O. Hoskin. Washington, 2003. 500 p.

НОВЫЕ ДАННЫЕ О СТРОЕНИИ И КРИСТАЛЛОХИМИИ ПРИРОДНЫХ РТУТЬСОДЕРЖАЩИХ СФАЛЕРИТОПОДОБНЫХ СУЛЬФОСОЛЕЙ ГАЛХАИТА И АКТАШИТА

С.А. Магарилл, Н.В. Первухина, С.В. Борисов
Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН
г. Новосибирск, e-mail: svetlana@che.nsk.su

Кристаллохимия сульфидов имеет до сих пор немало «белых пятен». В основном сульфиды как источники важных металлов находились в поле зрения минералогов. К тому же их кристаллохимические исследования обычно весьма трудоемки из-за несовершенства кристаллов. Успехи методов рентгеноструктурного анализа улучшили положение в экспериментальных исследованиях сульфидов и в последние десятилетия существенно увеличился объем информации об их строении.

Сульфосоли составляют почти половину известных природных сульфидов (более 100 минеральных видов). Своими кристаллохимическими особенностями среди других сульфосолей выделяются сульфосоли мелких катионов (Cu, Ag, Hg). Для них характерно присутствие атомов As, реже Sb в тройной зонтичной координации в виде обособленных друг от друга радикальных групп AsS_3 и SbS_3, ребра которых соизмеримы с мелкими полиэдрами катионов, чаще всего тетраэдров (CuS_4, AgS_4 и HgS_4).

Кристаллические структуры многих природных сульфосолей, несмотря на сложный катионный состав, представляют собой усложненные модификации структурного типа сфалерита (ZnS). Наиболее распространенным типом сочленения тетраэдров мелких катионов является соединение по вершинам в трехмерный сфалеритовый каркас, где часть серы может быть «пропущена», что приводит к понижению координации от тетраэдрической до тригональной зонтичной для As и Sb. К таким тетраэдрическим сфалеритоподобным сульфосолям относится большая группа ртутьсодержащих минералов: блеклые руды (в том числе швацит), галхаит, акташит, новацкит и др.

Определение кристаллической структуры ртутных и ртутьсодержащих минералов представляет особые трудности в связи с частым отсутствием оптимальных по размеру и качеству монокристаллов, что отчасти вызвано «мобильностью» как главного компонента, так и других составляющих. Преобладающий вклад Hg в рентгеновское рассеяние обуславливает вторую и принципиальную сложность – трудность фиксирования легких атомов – анионов (O, S, Cl) в структурах этих соединений. В последнее время появляется все больше работ, посвященных уточнению или переопределению известных ранее структур. Особенно оправдано и актуально это в случае сложных природных объектов, поскольку новейшие методы исследования позволяют решить множество оставшихся неясными вопросов. Из литературных данных известно, что химические составы образцов одного и того же минерала из разных месторождений расходятся далеко за пределы ошибок анализа и, следовательно, возможны вариации их структур.

Настоящая работа посвящена уточнению кристаллических структур (метод рентгеноструктурного анализа), исследованию особенностей составов минералов галхаита (месторождение Чаувай, Кыргызстан) и акташита (месторождение Акташ, Горный Алтай) и изучению особенностей их кристаллохимии. При проведении исследований использованы современные возможности работы с мелкими (до 0,01 мм) монокристаллами (дифрактометр Bruker Nonius X8Apex), тщательный учет поглощения, элементного анализа химического состава непосредственно исследуемого образца.

В 1975 г. была расшифрована структура минерала галхаита из Якутии (месторождение Гал-Хая), для которого по результатам химического анализа и структурного уточнения предложена формула $HgAsS_2$ [5]. В том же году опубликованы данные о кристаллической структуре галхаита из Невады (рудник Гетчелл), состав которого существенно другой - в катионной части появился атом Tl, относительное содержание As уменьшено: $(Hg, Cu, Zn)_6(Tl,□)As_4S_{12}$ (□ - здесь и далее обозначение вакантной позиции) [9]. В 1981 г. в обстоятельной работе [10] не только уточняются состав и структура галхаита из Невады, но и подвергаются сомнению результаты исследования галхаита из Якутии. Некоторые основания для этого действительно имеются (достаточно высокое значение R-фактора – 0.10, при размерах кристалла ~ 0.5 мм не учитывалось поглощение и т.д.).

В настоящей работе исследованы особенности состава галхаита месторождений Гал-Хая (Якутия) и Чаувай (Кыргызстан) и уточнена кристаллическая структура минерала месторождения Чаувай. С помощью микрозонда JXA-5A при ускоряющем напряжении 20 кВ определен состав галхаита месторождения Гал-Хая (12 кристаллов) и Чаувай (19 кристаллов). Получены эмпирические формулы для средних составов минерала: $(Hg_{4.89}Cu_{0.92}Zn_{0.07})_{5.88}(Cs_{0.71}Tl_{0.17})_{0.88}(As_{3.98}Sb_{0.17})_{4.15}S_{12.10}$ (Гал-Хая) и $(Hg_{4.64}Cu_{0.98}Zn_{0.34})_{5.96}(Cs_{0.85}Tl_{0.04})_{0.89}(As_{3.68}Sb_{0.42})_{4.10}S_{12.05}$ (Чаувай). Их сравнение показывает, что более стабильным является состав галхаита месторождения Чаувай, в котором разница между максимальным и минимальным содержаниями композиционных элементов значительно меньше, чем в составе минерала из Гал-Хая. Галхаиты Гал-Хая и Чаувая изучались также методом полуколичественного спектрального анализа: набор малозначащих примесей оказался почти одинаковым.

Исследование кристаллическое строение галхаита из месторождения Чаувай (Кыргизстан) показало, что монокристаллы минерала относятся к кубической сингонии: пр. гр. $I\bar{4}3m$, a=10.4144(1) Å, V=1129.5(2) Å3,

Z=2 для состава [(Cu,Zn)0.98Hg4.83□0.18] (Cs0.71Tl0.14□0.15) (As3.44Sb0.56) S12, R=0.0203. Структура галхаита – это сфалеритоподобный каркас из связанных вершинами [(Hg,Cu)S_4] - тетраэдров [(Hg,Cu)-S = 2.5068(3) Å] одной ориентации с крупными полостями, образующимися в родоначальном структурном типе сфалерита (ZnS) вследствие восьми анионных вакансий – 2-х тетраэдров [S_4] – в начале координат и в центре I-ячейки и 12 катионных вакансий в форме двух катионных октаэдров также вокруг позиций 000 и ½ ½ ½ (рис. 1). Отсутствие части атомов серы делает координацию атома As зонтичной, а не тетраэдрической, как это свойственно сфалериту [(As,Sb)-S 2.2804(4) Å], крупный же катион (Cs,Tl) занимает позицию в центрах вакантных катионных октаэдров, имея в координационном окружении 12 S в форме полиэдра Лавеса [(Cs,Tl)-S 3.8837(4) Å].

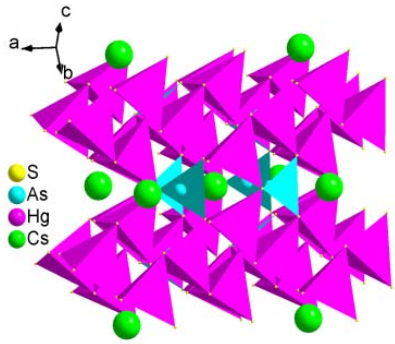


Рис. 1. Структура галхаита.

Ковалентные связи As-S и (Hg,Cu)-S образуют своеобразные «коконы» вокруг крупных одновалентных катионов (Cs,Tl), заполняющие все пространство с образованием «ячеистой» структуры. Интересен геометрический аспект структуры галхаита, роднящий ее с интерметаллидами (фазы Бергмана): если начать описание с крупного одновалентного катиона (Cs,Tl) - а, возможно, именно он служит «темплатом», т.е. ядром кристаллизации – то его ближайшее окружение образуют 12 атомов серы из четырех зонтиков [AsS_3] с образованием полиэдра Лавеса. Вокруг данного полиэдра образуется «кольчуга» из металлических атомов (Hg,Cu) в виде гептопараллелоэдра Федорова, 24-вершинника, представляющего октаэдр, вершины которого срезаны кубом (рис. 2). Поскольку эти полиэдры заполняют все пространство, на этом последовательность вложенных друг в друга полиэдров кончается.

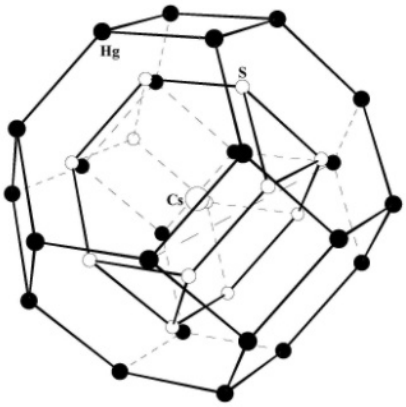


Рис. 2. Гептопараллелоэдр Федорова в структуре галхаита

Ртутьсодержащая сульфосоль с элементным составом, идентичным ртутистому теннантиту [3], но с бо̀льшим количеством ртути – минерал акташит $Cu_6Hg_3As_4S_{12}$ - была обнаружена в 1965 г. в полисульфидных рудах ртутного месторождения Акташ (Горный Алтай). С открытием сульфосоли груздевита $Cu_6Hg_3Sb_4S_{12}$ и ее мышьяковистой разновидности $Cu_6Hg_3(Sb,As)_4S_{12}$ стало ясно, что минералы акташит и груздевит являются крайними членами изоморфного ряда, промежуточные представители которого имеют переменный состав и иногда «легированы» в незначительных количествах дополнительными к основным элементами [4]. Естественно, в этом случае свойства акташита не постоянны и будут зависеть от содержания основных и примесных компонентов состава.

Поскольку в первом, и единственном, определении кристаллической структуры акташита [6] отмечалось несоответствие экспериментального и полученного при расшифровке составов: $Cu_6Hg_3As_5S_{12}$ и $Cu_6Hg_3As_4S_{12}$, требовалось уточнение структуры акташита с учетом поглощения и при контроле химического состава образца. Позднее была рассмотрена изотипия структуры акташита $Cu_6Hg_3As_4S_{12}$ и новацкита $Cu_6Zn_3As_4S_{12}$ и подтверждена правомерность изменения химической формулы первого [8]. Кроме того, представляло интерес детально исследовать окружение анионной вакансии, в том числе «кластер» As_4 и сопутствующую деформацию катионной и анионной подрешеток в этом представителе сфалеритоподобных структур. Мы провели работу по исследованию кристаллической структуры акташита из месторождения Акташ (Горный Алтай, Россия) и уточнению параметров необычной «кластерной» группировки [As_4], найденной в его структуре [6] (рис. 3).

На основании близости составов и кристаллических структур нами показана идентичность акташита из месторождений Гал-Хая [6] и Акташ, структура последнего уточнена нами для состава $Cu_6Hg_3As_4S_{12}$ (*R*3, *a*=13.7500(4), *c*=9.3600(3) Å, *V*=1532.54(8) Å3, *Z*=3 *R*=0.043) . Атомы Hg и Cu имеют тетраэдрическое окружение из атомов серы с расстояниями Hg-S и Cu-S, лежащими в интервале 2.488(6)-2.490(6) и 2.271(6)-2.375(6) Å соответственно. Атомы As имеют зонтичную координацию с расстояниями As-S 2.254(7)-2.311(5) Å. Одинаково ориентированные HgS_4- и CuS_4-тетраэдры, объединяясь вершинами, образуют каркас, аналогичный каркасу из ZnS_4-тетраэдров в структуре сфалерита.

Установлена связь истинной элементарной ячейки акташита с ярко выраженной в нем псевдотрансляционной ячейкой сфалерита, составляющая 4/39 объема истинной ячейки. Эта псевдопериодичность была, по-видимому, причиной ошибочных структурных определений на первых этапах описания минерала.

Структура акташита может быть наглядно представлена и в анионоцентрированном аспекте [7], так как все атомы S расположены в катионных тетраэдрах, одной из вершин которых служит As^{3+}, а остальные - Hg^{2+} и Cu^{1+} –катионы. Эти S-центрированные тетраэдры связаны вершинами в трехмерный каркас (рис. 3) с 4-мя «висячими» As-вершинами, образующими пустой [As_4] –тетраэдр (As-As = 3.514 -3.576 Å). Эта катионная группировка, окруженная кубооктаэдром серы – блок $(As_4S_{12})^{12-}$ несомненно является «изюминкой» структуры (рис. 4).

Многие ртутьсодержащие минералы из класса сульфидов и сульфосолей имеют в основе строения структурный тип сфалерита (ZnS) – высокосимметричную структуру, где оба компонента занимают позиции с высокой

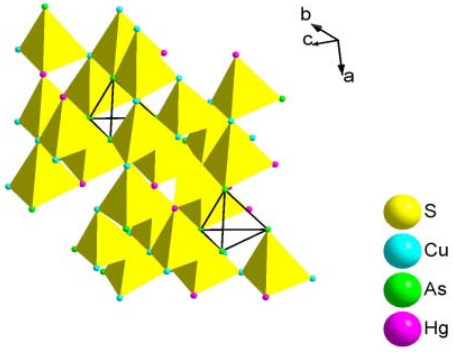


Рис. 3. Структура акташита.

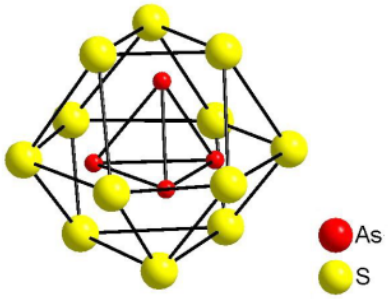


Рис. 4. Блок $(As_4S_{12})^{12-}$ в структуре акташита.

точечной симметрией, обеспечивающей устойчивую ориентацию направленных межатомных взаимодействий. На примерах некоторых структур природных соединений этого класса нами показана высокая устойчивость кубической (или псевдокубической) матрицы узлов подрешетки, образованной комплексом плоскостей {111} и их производными. В зависимости от состава и химических взаимодействий эти позиции могут по-разному заниматься как катионами, так и анионами, или быть вакантными, но геометрия псевдотрансляционной решетки узлов сохраняется, подтверждая концепцию кристаллического состояния [1].

В элементарной ячейке минерала акташита $Cu_6Hg_3As_4S_{12}$ 39 катионов и 36 анионов при трех очевидных вакансиях в анионной матрице. Несмотря на три сорта катионов, различающихся по размеру и природе, имеется близкая к идеальной сфалеритовая катионная подъячейка, объемная диагональ которой совпадает с параметром «c» (a'_k = 5.38 Å, $\alpha = \beta = \gamma = 90°$). Ее объем составляет 4/39 от объема элементарной ячейки акташита. Структура акташита подтверждает концепцию, полагающую, что главными структурообразующими факторами служат системы симметрийно-связанных (или близких к таким связям) плотноупакованных атомных плоскостей [1]. Это катионные плоскости (003), ($\bar{1}$41), (312) и их симметричные аналоги, причем упакованы они 3-мя сортами разных по размеру и свойствам катионов в единые и правильные сетки, характерные для весьма устойчивой к вариациям состава катионной ГЦК-матрицы. Анионная матрица в структуре имеет такую же геометрию. Ее подчиненное положение в структурообразовании проявляется в том, что она вынуждена следовать геометрии катионной матрицы и при недостатке анионов образовывать вакансии.

В структуре галхаита $(Hg,Cu)_6(Cs,Tl)(As,Sb)_4S_{12}$ катионные и анионные матрицы сохраняют сфалеритовую геометрию, хотя вместо положенных 32 катионов и 32 анионов имеется только 24 аниона и 22 катиона, причем крупные (Cs,Tl) занимают центры дефектных областей, образованных отсутствием катионного октаэдра и анионного тетраэдра. Эта структура еще раз демонстрирует высокую устойчивость катионного каркаса с трехслойной плотнейшей (по геометрии) укладкой катионов даже при наличии в нем более 35% вакансий и разных по размеру и химической природе сортов образующих его атомов. Такой катионный каркас свойственен и другим ртутьсодержащим минералам (α- и β-HgS, лаффитит, акташит, сталдерит, швацит, и др.).

В совокупности с полученными ранее результатами [2] приведенные данные подтверждают основные принципы кристаллообразования:

1. Ведущая роль в образовании кристаллических структур систем параллельных равноудаленных плоскостей, точки пересечения которых определяют расположение атомов. Катионные матрицы с разным распределением и количественным соотношением катионов разных сортов сохраняют идентичную геометрию: в галхаите с пространственно разделенными трехвалентными катионами, в акташите с «кластерной» группой $[As_4]$.

2. Автономность упорядочения разных сортов атомов. В рассмотренных структурах можно говорить об эффектах независимого упорядочения катионов и анионов, хотя геометрии катионных и анионных матриц были подобны.

3. Приверженность анионов серы к зеркальной симметрии, идеально упорядочивающей положение атомов по одной координате. В сфалеритовой структуре β-HgS, в галхаите, шваците атомы серы занимают частные позиции на диагональных зеркальных плоскостях, разделенных расстояниями, кратными 3,8 – 4,1 Å. В низкосимметричных структурах тоже часто просматривается псевдозеркальная симметрия (структуры кристита, ливингстонита).

4. Эффект кластерирования, фрагментации, «строительных блоков». Если силы упорядочения меньше сил взаимодействия атомов в некоторой атомной группировке, то при кристаллизации эта группировка заметно не меняет взаимного расположения атомов и ее можно считать как единый объект с центром в центре массы. На роль строительного блока могут претендовать группировки $[As_4S_{12}]^{12-}$ в акташите, $[(Cs,Tl)S_{12}]^{23-}$ в галхаите.

Поддержано РФФИ, грант №08-05-00087.

Список литературы

1. Борисов С.В. О кристаллическом состоянии // Журн. структурн. химии. 1992. Т. 33. № 6. С. 123-129.

2. Борисов С.В., Клевцова Р.Ф., Магарилл С.А., Первухина Н.В., Подберезская Н.В. Экспериментальная кристаллография от атомной до супрамолекулярной // Журн. структ. химии. 2002. Т. 43. № 4. С. 664–670.

3. Васильев В.И., Лаврентьев Ю.Г. Ртутьсодержащий теннантит // Докл. АН СССР. 1974. Т. 218. № 3. С. 665-667.

4. Груздев В.С., Степанов В.И., Шумнова Н.Г., Черницова Н.М., Юдин Р.Н., Брызгалов И.А. Галхаит $HgAsS_2$ - новый минерал из мышьяково-сурьмяно-ртутных месторождений СССР // Докл. АН СССР. 1972. Т. 205. С. 1193–1197.

5. Каплунник Л.Н., Победимская Е.А., Белов Н.В. Кристаллическая структура галхаита $HgAsS_2$ // Докл. АН СССР. 1975. Т. 225. № 3. С. 561–563.

6. Каплунник Л.Н., Победимская Е.А., Белов Н.В. Кристаллическая структура акташита $Cu_6Hg_3As_4S_{12}$ // Докл. АН СССР. 1980. Т. 251. № 1. С.96-98.

7. Кривовичев С.В, Филатов С.К. Кристаллохимия минералов и неорганических соединений с комплексами анионоцентрированных тетраэдров // СПб: Изд-во С.-Петерб. ун-та, 2001. 199 с.

8. Новацкий В. Изотипия акташита $Cu_6Hg_3As_4S_{12}$ и новацкита $Cu_6Zn_3As_4S_{12}$ // Кристаллография. 1982. Т. 27. № 1. С. 49-50.

9. Botinelly T., Neuerburg G. J. Galkhaite, $(Hg,Cu,Tl,Zn)S_2$, from the Getchel mine, Humboldt County, Nevada // Jour. Res. U.S. Geol. Surv. 1973. V.1. N. 5. P. 515–517.

10. Chen T.T., Szymanski J.T. The structure and chemistry of galkhaite, a mercury sulfosalt containing Cs and Tl // Canad. Mineral. 1981. V.19. N. 4. P. 571–581.

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭЛЕКТРОННО-МИКРОСКОПИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ООЛИТОВЫХ ЖЕЛЕЗНЫХ РУД ИЗ КИММЕРИЙСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ ТАМАНСКОГО ПОЛУОСТРОВА

Л.Е. Рейхард
МГУ имени М. В. Ломоносова
г. Москва, e-mail: mollusc@mail.ru

1. Введение. Железные руды киммерийского возраста Керченско-Таманского региона являются очень сложным объектом для изучения. Чрезвычайно богатый минеральный состав (всего в рудных пластах Керченского железорудного бассейна было установлено около 80 минералов [1]), тонкодисперсность и интенсивная измененность руд гипергенными процессами обусловили необходимость комплексного подхода к их изучению.

2. Район и объекты исследований. Наиболее детальному изучению подверглись коренные обнажения киммерийских отложений на южной лопасти Таманского полуострова, а именно, в береговых обрывах Черного моря в районе п. Тамань, г. Зеленского и м. Железный Рог (рис.1). Киммерийские отложения представлены здесь мощными толщами песчано-алевритоглинистых пород с редкими пластами железных оолитовых руд незначительной мощности (0,1-2,5 м).

3. Предмет изучения. Таманские железные руды киммерийского возраста (подобно одновозрастным железным рудам Керченского полуострова) являются оолитовыми, то есть

Рис. 1. Район исследований.

Рис. 2. Пизолито-оолитовый железняк (обнажение в районе м. Железный Рог).

они содержат различное количество оолитов и оолитоподобных образований, которое иногда достигает 80-90%. Цвет, размер, форма, минеральный состав и внутреннее строение оолитов в рудах могут быть различными и являются отражением условий оолитообразования, а также последующих преобразований, происходящих в уже сформировавшейся оолитовой породе (рис. 2).

4. Цель исследований. Основными целями исследований оолитовых железных руд были:

1) типизация оолитов и оолитоподобных образований на основе детального изучения их характерных признаков (формы, размеров, внутреннего строения, минерального состава);

2) изучение структуры и минерального состава цементирующего вещества и его взаимоотношений с оолитами;

3) выяснение условий оолитообразования;
4) уточнение механизма образования оолитов.

5. Комплекс исследований. Электронная микроскопия и сопутствующий микрозондовый анализ стали необходимым дополнительным методом для уточнения и дополнения результатов макро- и микроскопических исследований железных руд Таманского полуострова. Они проводились на установке «Camscan 4DV» с энергодисперсионной приставкой «Link-10000» при непосредственном участии автора. Особое внимание уделялось изучению ультрамикроструктур оолитовых пород (железняков, железистых глин, железистых ракушняков). Всего было проанализировано 16 образцов из разных железорудных горизонтов.

6. Результаты. Изучение пород, содержащих различное количество оолитов и оолитоподобных образований, методом сканирующей электронной микроскопии позволило получить большое количество электронно-микроскопических снимков и количественных определений концентраций элементов, в результате детального анализа которых удалось:
1) получить представление о многообразии микроструктур оолитовых железных руд;
2) детально изучить концентрически-слоистое строение оолитов;
3) установить характер взаимоотношений оолитов и цементирующего вещества;
4) определить минеральный состав оолитов и цементирующего вещества;
5) обнаружить редкие минеральные образования (железистые биоформы);
6) уточнить представления о распределении в оолитовых железных рудах таких элементов как Fe, Al, Si, Mn, Ca, P и др.
7) усовершенствовать классификацию оолитов и оолитоподобных образований для таманских железных руд;
8) установить стадийность оолитообразования;

7. Типы оолитов и оолитоподобных образований. По основным характерным признакам (форме, размеру, наличию ядра, концентрической оболочки) в изученных оолитовых железных рудах выделено четыре группы оолитов и оолитоподобных образований: 1) ооиды, 2) оолиты; 3) пизолиты; 4) псевдооолиты. По преобладающему минеральному составу в каждой из групп выделены типы, по наличию дополнительных отличительных признаков (например, по виду ядра) – подтипы.

7.1. Ооиды. Ооиды в таманских рудах– это минеральные образования шаровидной или эллипсоидальной формы, без признаков внутренней структурированности, то есть не содержащие ядра и концентров, размером от долей до 2 мм. По минеральному составу в таманских рудах выделено четыре типа ооидов: 1) глинистые; 2) ооиды железисто-глинистые; 3) глинисто-железистые; 4) железистые (рис. 3, табл. 1).

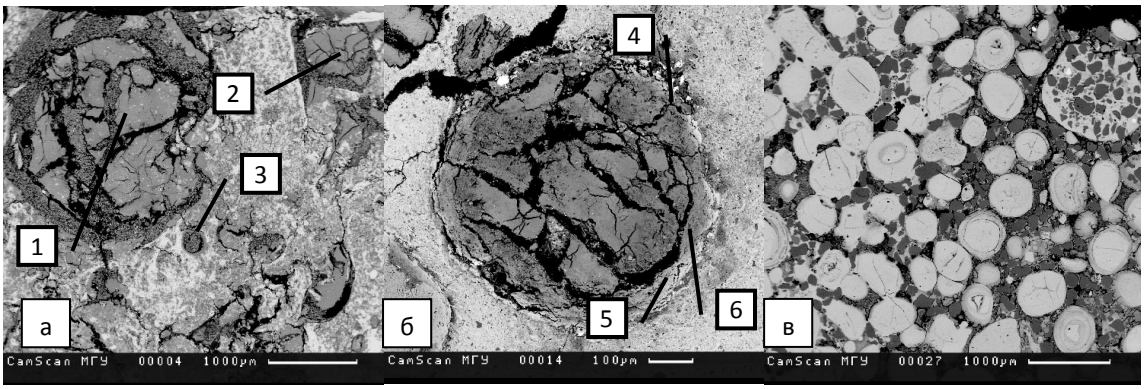


Рис. 3. а) Ооиды глинистые (обр. 8-10а из разреза м. Железный Рог); б) ооид железисто-глинистый (обр. 99а из разреза «Южный склон г. Зеленского»); в) ооиды глинисто-железистые и железистые (обр.6-6в из разреза «Южный склон г. Зеленского»)

Таблица 1. Химический состав ооидов.

№ т.	№ ан.	Si	Ti	Al	Fe	Mn	Mg	Ca	Na	K	P	S	Cl	Ba	Sr
1	8-10-3	51,05	0,72	18,74	19,49	0,01	2,01	1,41	1,70	2,20	0,92	0,72	0,38	--	0,63
2	8-10-8	54,66	0,35	12,64	26,21	0,00	1,21	1,16	1,52	0,19	0,78	0,46	0,33	--	0,47
3	8-10-4	43,78	0,51	14,13	33,19	0,25	1,73	1,12	0,94	0,87	1,95	0,65	0,43	--	0,29
4	99а-9	6,97	0,02	3,14	81,43	0,85	0,51	0,33	3,85	0,28	1,81	--	0,56	--	--
5	99а-11	10,15	0,00	5,22	77,01	0,68	0,65	0,34	2,32	0,31	1,56	0,60	0,95	0,02	--
6	99а-12	15,13	0,16	6,75	69,60	0,60	1,13	0,20	1,16	0,53	1,35	0,53	1,87	0,00	--

7.2. Оолиты. Оолиты *(от греческого ооп-яйцо и lithos- камень)* в таманских рудах – это минеральные образования шаровидной или эллипсоидальной формы, размером от долей мм до 1-2 см, с ядром и отчетливым внутренним концентрически-слоистым строением. По преобладающему минеральному составу в таманских рудах выделено 2 типа оолитов: 1) глинисто-железистые (двух подтипов - с ядром в виде ооида и с ядром в виде обломочного зерна кварца); 2) карбонатно-глинисто-железистые (рис. 4, табл. 2).

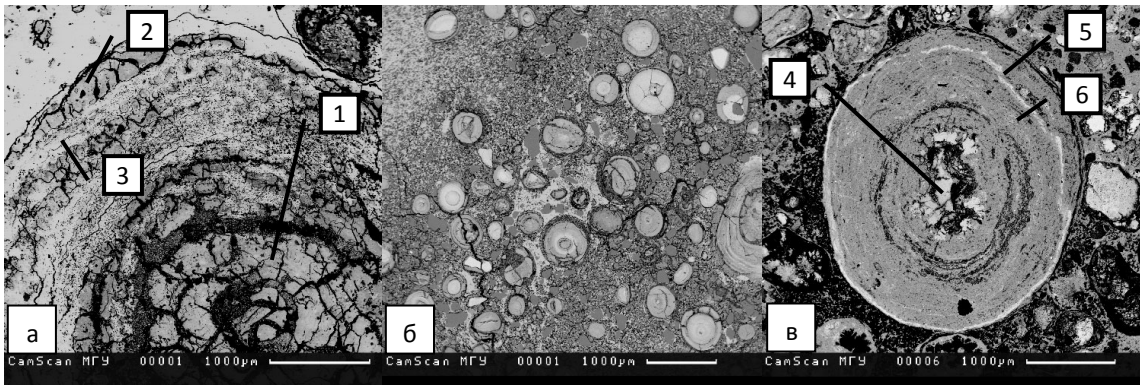


Рис. 4. а) Оолит глинисто-железистый с ядром в виде глинистого ооида (а – обр.94 из разреза «Южный склон г. Зеленского»); б) оолиты с ядрами в виде обломочных зерен кварца (обр. 10 из разреза м. Железный Рог); в) оолит карбонатно-глинисто-железистый (обр. 8-7 из разреза м. Железный Рог).

Таблица 2. Химический состав глинисто-железистых концентров оолитов.

№ т.	№ ан.	Si	Ti	Al	Fe	Mn	Mg	Ca	Na	K	P	S	Cl	Ba
1	94-1	31,38	0,22	13,06	45,28	0,00	1,70	0,63	1,61	1,19	3,19	0,69	0,87	0,16
2	94-2	19,70	0,29	7,37	62,42	0,36	1,30	0,85	1,40	0,70	4,13	0,08	1,08	0,08
3	94-3	11,43	0,10	4,81	74,26	0,25	0,89	0,75	1,55	0,40	4,89	0,32	0,36	0,00
4	8-7-12	6,40	0,04	2,03	77,42	0,32	0,87	3,69	1,17	0,05	--	--	0,45	0,00
5	8-7-13	3,74	0,00	1,73	79,72	1,07	0,69	9,43	0,84	0,19	--	--	0,17	0,13
6	8-7-14	5,83	0,15	1,62	83,27	0,94	0,38	3,36	0,64	0,17	--	--	0,82	0,07

7.3. Пизолиты. Пизолиты (от греческого pisos – горох и lithos – камень) – это оолиты крупнее 2-5 мм [4, 5]. Пизолитами в таманских железорудных слоях автор предлагает считать только особые железисто-глинистые оолиты чрезвычайно крупных размеров (до 2-5 см в диаметре!). Они представляют собой хрупкие землистые образования шаровидной формы, светло-желтовато-бурого цвета, с неровной, шероховатой внешней поверхностью и очень тонкой внутренней концентрической зональностью, наиболее четко выраженной по периферии пизолитов. Тонкие концентры, толщина которых составляет доли миллиметра, имеют извилистые неправильные очертания и подчеркиваются окраской, обусловленной различным минеральным составом концентров: глинистые концентры имеют светло-желтовато-серую окраску, а железистые – бурую (рис. 5).

Рис. 5. Пизолиты из железорудного пласта.

По результатам исследований на данный момент автором выделен лишь один тип пизолитов – железисто-глинистые, обнаруженные в железорудном слое, залегающем в основании киммерийских отложений в районе м. Железный Рог. При тщательном микроанализе всей поверхности поперечного среза одного из таких пизолитов по особенностям микрорельефа выявлены две его основные составляющие, имеющие различную природу: 1) минеральная, представленная формами выделения различных минералов; 2) биогенная – в виде минерализованных остатков жизнедеятельности живых организмов различной морфологии [3].

1*) Формы выделения минералов.* Результаты сканирующей микроскопии и микрозондового анализа показали, что минеральная составляющая пизолитов представлена, главным образом, смектитом в виде крупных, хорошо

раскристаллизованных агрегатов, состоящих из тонких, параллельно расположенных пластинок, развивающихся на фоне аморфной фазы – рыхлого, бесструктурного, нераскристаллизованного вещества, железосиликатного по составу, а также натечными формами гетита (рис. 6).

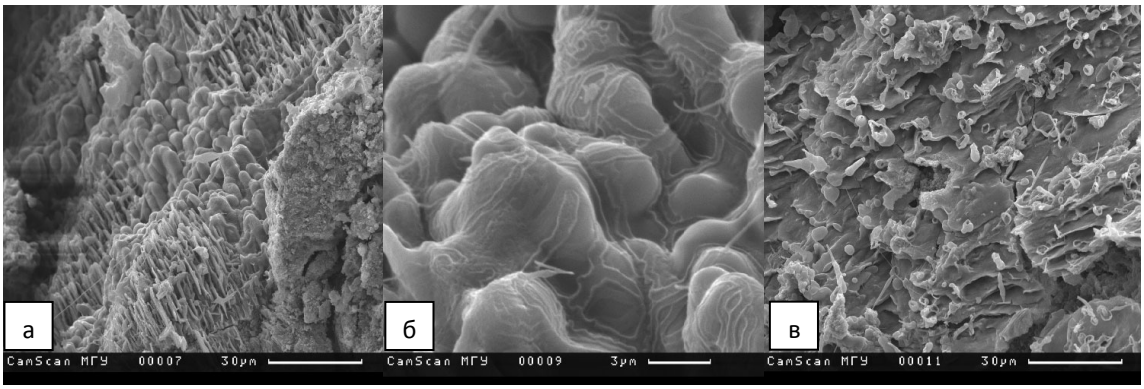


Рис. 6. а, б) Натечные (почковидные?) формы гетита; в) слоистые агрегаты смектита.

2) *Биоморфные образования.*

На плоскостях глинистых пластинок обнаружено множество биоморфных образований, среди которых выделяются нитчатые, пленочные, глобулярные, коккоидные, скорлупковидные, конусоподобные разновидности (рис. 6, 7). Микрозондовым анализом установлено, что состав биоформ преимущественно железистый.

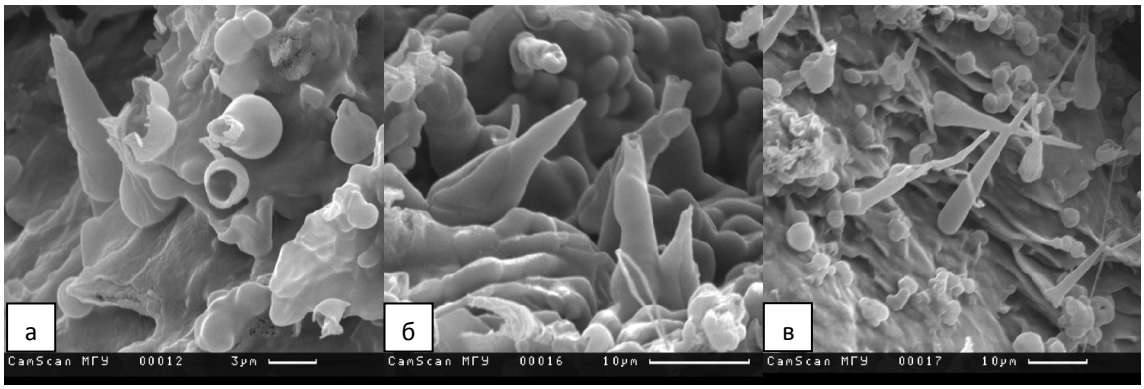


Рис. 7. Биоморфные образования различных типов (см. также рис. 6)

7.4. Псевдооолиты. Псевдооолиты – термин не имеющий точного значения; одни понимают под псевдооолитами оолитоподобные образования, не имеющие концентрически-скорлуповатого строения [2]; другие – окатанные обломки цементирующего вещества, нередко содержащие зерна терригенных минералов и даже оолиты [6]. В таманских рудах псевдооолиты – это минеральные образования округлой формы, без концентрически-слоистого строения, представляющие собой обломки цементирующего вещества различной степени окатанности. В изученных породах по минеральному составу выделено два типа псевдооолитов: 1) глинисто-железистые; 2) карбонатно-глинисто-железистые (рис. 8, табл. 3).

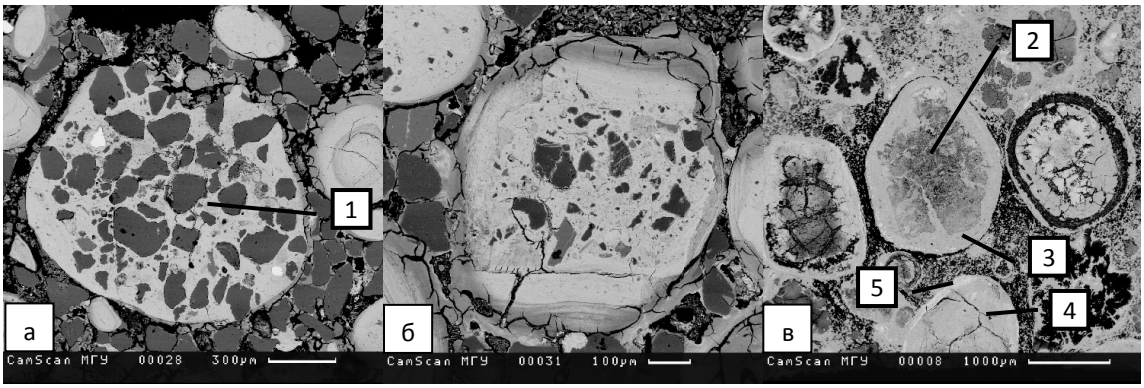


Рис. 8. Псевдооолиты глинисто-железистые (а, б – обр. 6-6в из разреза «Южный склон г. Зеленского») и глинисто-карбонатно-железистые (в – обр. 8-7 из разреза м. Железный Рог).

Таблица 3. Химический состав псевдоооолитов.

№ т.	№ ан.	Si	Ti	Al	Fe	Mn	Mg	Ca	Na	K	P	S	Cl	Ba
1	6-6в-4	8,21	0,19	3,34	83,20	0,40	0,58	0,70	0,60	0,14	--	--	0,04	--
2	8-7-7	5,88	0,13	2,19	82,07	0,60	0,01	3,37	0,70	0,12	--	--	0,61	0,05
3	8-7-8	5,32	0,00	2,04	78,77	0,76	0,87	8,93	0,60	0,24	--	--	0,22	0,25
4	8-7-10	4,36	0,00	2,01	77,18	0,51	0,93	8,63	0,97	0,21	--	--	0,35	0,64
5	8-7-11	11,51	0,17	2,89	79,67	0,29	0,65	1,34	0,46	0,18	--	--	0,64	0,00

8. Выводы. Проведенные исследования подтвердили многообразие и разнотипность минеральных образований в оолитовых железных рудах Таманского полуострова. Становится совершенно очевидно, что в зависимости от течения процесса превращения глинисто-железистого осадка в оолитовую железную руду каждый тип может либо существовать без изменений, либо трансформироваться в другой тип. Например, глинистые ооиды в благоприятных для оолитообразования условиях становятся ядрами для оолитов, а оолиты, в свою очередь, могут входить в состав псевдоооолитов. Все это говорит о сложности, многостадийности процесса оолитообразования в частности, и образования железных оолитовых руд в целом.

Вместе с тем, разработанная классификация оолитов и оолитоподобных образований требует дальнейшего уточнения и детализации на минералогическом уровне. Обнаруженные «биоформы» нуждаются в идентификации и датировке, так как основной вопрос об участии биофактора в процессах железонакопления в рудах остается открытым.

Список литературы

1. Арбузов А. А., Бобрушкин Л. Г., Литвиненко А. У. и др. Керченский железорудный бассейн. М.: Недра, 1967.

2. Геологический словарь. Т. 2. М.: Недра, 1973.

3. Рейхард Л. Е. Особенности строения пизолитов из киммерийских железорудных отложений Таманского полуострова // Металлогения древних и современных океанов-2007. Материалы Тринадцатой научной студенческой школы. Т. 1. РАН УО. Миасс: Изд-во ИМин УрО РАН, 2007.

4. Чухров Ф. В. Коллоиды в земной коре. М.: Изд-во АН СССР, 1955.

5. Швецов М. С. Петрография осадочных пород. 3-е изд. М., 1958.

6. Юрк Ю.Ю., Шнюков Е.Ф., Лебедев Ю.С. и др. Минералогия железорудной формации Керченского бассейна. Крымиздат, 1960.

МИНЕРАЛЬНЫЕ ВИДЫ И РАЗНОВИДНОСТИ

Н.Л. Смирнова
Московский Государственный Университет
Москва e-mail: snl194@mail.ru

Прежде, чем классифицировать минеральные виды следует выяснить, что понимать под минеральным видом (МВ). Определение понятия МВ дается во всех учебниках минералогии, например [3]. Международная комиссия по новым минералам опубликовала инструкцию по представлению данных для выделения новых МВ. Тем не менее, вопрос о том, что понимать под МВ, продолжает обсуждаться. В [4] рассматривается развитие представлений о МВ и отмечается, что большинством исследователей принята химическая классификация. А следовательно МВ – это в первую очередь химическое соединение, образовавшееся в природе. И опять возникает вопрос – что такое химическое соединение? Определение химического соединения приводится во всех учебниках химии. Химическое соединение может быть постоянного состава с узкой областью гомогенности и переменного состава с менее или более широкой областью гомогенности. При узкой области гомогенности химическое соединение имеет постоянный состав и, следовательно, однозначную формулу, как качественную, так и количественную. Тем не менее, эта формула должна быть подтверждена рентгеноструктурным, нейтронографическим и т.д. анализами, так как при одном и том же химическом составе существуют разные полиморфные модификации, а следовательно разные химические соединения. Алмаз и графит считаются разными химическими соединениями, а следовательно разными МВ. Нами предложено [7, 10] относить все полиморфные модификации, в том числе неупорядоченные, к одному сводному МВ – проле. После определения кристаллической структуры химическому соединению ставится в соответствие кристаллохимическая формула. При постоянном составе она, как правило, совпадает с химической формулой. При переменном составе химических соединений, в частности для дальтонидов, в отличие от бертоллидов с постоянным составом, пишется идеальная кристаллохимическая формула. Идеальная кристаллохимическая формула, соответствующая МВ, составлена из видообразующих элементов. При заполнении позиции кристаллической структуры полностью или с вакансиями, но одним химическим элементом – видообразующим будет этот элемент. При заполнении позиции несколькими элементами

– видообразующий элемент имеет наибольшее содержание, а следующий элемент-изоморф (диадох) с меньшим содержанием определяет разновидность. Следующие по порядку содержания элементы-изоморфы второго и более порядков рассматривать пока не будем. Формулы разновидностей разнообразны, но при выделении в них видообразующих элементов становятся аналогичными формуле МВ.

Второй вопрос, который обсуждается – включать или не включать разновидности в МВ. Нами ранее было предложено [7] включать в МВ все разновидности в рамках одной полиморфной модификации, составляя, таким образом, звезду МВ. В соответствии с правилами Минералогической комиссии по новым минералам непрерывные твердые растворы делятся на две половины (МВ) с двумя конечными членами в качестве видообразующих элементов. С нашей точки зрения, при таком делении образуются не два МВ, а две разновидности. Обе разновидности в совокупности представляют собой общую разновидность двух МВ. Помимо этой разновидности возможны другие разновидности входящие в состав звезд этих двух МВ. Звезды МВ и звезды искусственных химических соединений (ХВ) различны. Это очевидно хотя бы потому, что многие МВ простых веществ вообще не известны в природе. Например, на диаграммах состояния выделены непрерывные твердые растворы ванадия V- Ti, Nb, Ta, Cr, Fe, Mo, вольфрама W- Nb, Ta, Cr, Mo, железа Fe-V, Cr, Co, Ir, Ni, Pd, Pt, в результате чего образуются общие химические разновидности этих элементов, входящие в звезды ХВ, но не МВ.

Установлены видообразующие s-, f-, d-, p-элементы МВ [9].

Видообразующие s-элементы - H, Li, Na, K, Rb, Cs, Be, Mg, Ca, Sr, Ba. Не выявлены как видообразующие - He, Ra. Не выявлен в минералах – Fr.

Видообразующие f-элементы – La, Ce, Nd, Gd, Yb, Th, U. Не выявлены как видообразующие – Pr, Sm, Eu, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Ac, Pa, Np, Pu. Не выявлены в минералах – Pm, Am, Cm, Br, Cf, Es, Fm, Md, No.

Видообразующие d-элементы – Sc, Y, Lu, Ti, Zr, Hf, V, Nb, Ta, Cr, Mo, W, Mn, Re, Fe, Ru, Os, Co, Rh, Ir, Ni, Pd, Pt, Cu, Ag, Au, Zn, Cd, Hg. Не выявлены в минералах – Tc, Lr, Ku.

Видообразующие p-элементы – B, Al, Ga, In, Tl, C, Si, Ge, Sn, Pb, N, P, As, Sb, Bi, O, S, Se, Te, F, Cl, Br, I, Ne, Ar, Kr, Xe, Rn. Не выявлен как видообразующий – Po. Не выявлен в минералах At.

Всего видообразующих элементов – 75 (72%), не выявленных как видообразующие – 15 (14%), не выявленных в минералах – 14 (14%). Всего обнаруженных в минералах элементов 89 (86%), из них не видообразующих 14 (16%). По справочным данным нами проведено также выявление изоморфов первого порядка, определяющих разновидности. Знаком плюс обозначены обнаруженные изоморфы, знаком минус – не обнаруженные.

s-элементы: +H, -He, +Li, +Na, +K, +Rb, +Cs, +Be, +Mg, +Ca, +Sr, +Ba, -Ra.

f-элементы: +La, +Ce, -Pr,+Nd, -Sm, -Eu, +Gd, Tb, +Dy, -Ho, +Er, -Tm, +Yb, -Ac,+Th, -Pa, +U, -Np, -Pu.

d-элементы: +Sc, +Y, -Lu, +Ti, +Zr, +Hf, +V, +Nb, +Ta, +Cr, +Mo, +W, +Mn, -Re, +Fe, +Ru, +Os, +Co, +Rh, +Ir, +Ni, +Pd, +Pt, +Cu, +Ag, +Au, +Zn, +Cd, +Hg.

p-элементы: +B, +Al, -Ga, -In, +Tl, +C, +Si, +Ge, +Sn, +Pb, +N, (+NH_4), +P, +As, +Sb, +Bi, +O, +S, +Se, -Te, -Po, +F, +Cl, +Br, -I, -Ne, -Ar, -Kr, -Xe, -Rn.

Из полученных результатов следует, что подавляющее число видообразующих элементов могут быть также изоморфами первого порядка. Отсутствие ряда изоморфов (-Ra, -Pr, -Re, -Ga, -In, и т.д.), обусловлено, по-видимому, отсутствием справочных данных.

Выделяем **пары видообразующий элемент и изоморф первого порядка** с одинаковой или разной валентностью. На первом месте - видообразующий элемент, на втором – изоморф первого порядка. При разной валентности, например, -1-2 последовательность валентностей может быть обратной -2-1.

Без валентности - FeNi, OsRu, OsIr, RhRu, RhPt, IrOs, IrRh, NiFe, CuAs, CuNi, AgHg, AgSb, AgBi, PbSn, PbAs, PbBi, AsPb, SbAs, BiPb, SAs, TeAu, TeSe,

-1 – OH.F, OH.Cl, F.OH, FCl, Cl.OH, ClBr, BrCl, -2 – O.CO_3, SSe, SeS, TeS, TeSe, -3 – VO_4PO_4, VO_4AsO_4, $BAlO_2$, BO_3AsO_4, PO_4VO_4, AsO_4PO_4, AsS_4VS_4,

0-1 – OH.H_2O, H_2O.OH, F.H_2O, 0-2 – O.H_2O, Cl_2.SO_4,

-1-2 – O.OH, OF, OH.O, Cl.SO_4, SCl, -2-3 – CrO_4PO_4, CrO_4AsO_4, CO_3PO_4, PO_4CO_3, PO_4SO_4, AsO_4CrO_4,

-3-4 – VO_4SiO_4, SiO_4PO_4, SiO_4AsO_4, SiO_4BO_3, PO_4SiO_4, AsO_4SiO_4, -2-4 – GeO_4CO_3, -4-5 – AlO_4SiO_4, SiO_4AlO_4, -4-6 - Si_2O_7.P_2O_7, -6-8 – $Si_2O_7Al_2O_7$, Na□, Mg□,

0+1 – H_2O.H_3O, K.H_2O, 0+2 – Ba.H_2O,

+1 – LiNa, NaLi, NaK, Na.H_3O, KNa, KRb, KCs, K.NH_4, CuAg, AgCu, AuAg, NH_4.H_3O.

+2 – MgCa, MgBa, MgMn, MgFe, MgCo, MgCu, MgZn, CaMg, CaSr, CaMn, CaFe, CaCu, CaPb, SrCa, SrBa, SrPb, BaCa, BaSr, BaPb, MnMg, MnCa, MnSr, MnBa, MnFe, MnZn, ReMo, FeMg, FeMn, FeNi, FeCu, FeZn, CoMg, CoFe, CoNi, NiFe, NiZn, PtPd, CuFe, CuNi, CuZn, ZnMg, ZnMn, ZnFe, ZnNi, ZnCu, ZnCd, ZnSn, CdPb, HgZn, SnFe, PbCa,

+3 – LaCe, LaDy, CeLa, CeNd, CeY, CeAl, YLa, YCe, YGd, YDy, YEr, YYb, TiFe, TiAl, TiSb, VTi, VFe, VAl, MnFe, FeMn, FeTi, FeCr, FeAl, AlCe, AlCr, AlMn, AlFe, AlB, AsSb, AsBi, SbBi, BiSb,

+4 – ThCe, ThU, UTh, TiZr, ZrHf, ZrMn, VTi, SnGe, PbSn,

+5 – NbTa, TaNb, +6 – MoU, MoW, WMo,

+1+2 – NaCa, NaSr, KCa, KBa, KTl, BeLi, MgLi, CaNa, CaK, BaNa, BaK, MnNa,

+1+3 – LiAl, CeNa, Ag1.Au3, Au3.Ag1, Al.Li,

+2+3 –BeB, BeAl, MgSc, MgCr, MgMn, MgFe, MgAl, CaCe, CaNd, CaY, CaAl, SrCe, CeCa, LnSr, ScBe, FeMg, YCa, Mn2Mn3, Mn3Mn2, MnFe, Fe2Fe3, Fe3Fe2, FeCe, FeAl, FeBi, CoCr, CuV, CuFe, CuAs, AlBe, AlMg, AlCa, AlZn,

+1+4 – NaTi, NaZr, PbAg, PbTl,

+2+4 –ThCa, UCa, ZrCa, Mn4Mn2, FeGe, PbBe,

+3+4 – LaTh, CeTh, ThCe, YTh, YU, TiCe, TiFe, SiFe, PbBi, BiPb,

+4+5 – TiNb, TiTa, NbTi, NbZr, SiNb, PbSb, +3+6 – WFe, +5+6 – VMo.

К сожалению, при выделении видообразующих элементов и их изоморфов ни авторы, ни справочные издания часто не указывают валентности атомов, у которых она переменная.

sfdp-классификация МВ. Классификация химических элементов sfdp известна давно. Эта классификация предложена еще в 19 веке Вернером, представлена в виде последовательности fsdp блоков в 1969 г. Клечковским, в виде sfdp блоков в 1982 г. нами, позже в виде короткой sfdp таблицы Эмсли.

Sfdp-Классификация МВ впервые была предпринята нами. Установлен sfdp и групповой состав МВ сульфидов [6], МВ оксидов [8], всех МВ [9]. В [1, 2] приводится вариант sfdp-классификация МВ дана в с использованием компьютера и с введением дополнительных характеристик.

Таблица. sfdp формулы минеральных видов.

s,f,d,p формулы	p-формулы из атомов, катионов, анионов с арностью j в круглых скобках										
	p-формулы из атомов или анионов, с, без катионов							Встречаемость катионных формул			
	0p	p	pp	ppp	pppp	5p	6p	0p	4, p	44, pp	444, ppp
(1)	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(1)	(2)	(3)	(4)
s		1	2, 11	3, 21, 2, 11	4, 31, 211, 3, 21	31		40	19	0*	
f		1	2, 1	3, 21, 2	2			6	5	0*	
d	[0	1, 0	2, 11, 1, 0	3, 21, 111, 2, 11, 1]	3, 21, 2, 11, 1	3, 2		60	28	6	0*
p	0	1, 0	2, 11, 1, 0	3, 21, 2, 11, 1	31, 3		21	26	8	0*	
(2)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(2)	(3)	(4)	(5)
ss			2, 1	3, 21, 21, 1, 1	31, 3, 21	4		18	7		
sf		1	2	3, 21, 2	21			8	0*		
sd		1	2, 11, 1	3, 21, 2	31, 3, 21, 1	31		37	5	0*	
ff			2	2				0*	0*		
fd		1	2, 1	3, 2	3			4	0*		
dd	0	1, 0	2, 11, 1	3, 21, 2, 11, 1	21			17	4	0*	
(3)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(3)	(4)	(5)	(6)
sss			2, 1	3, 21, 2, 11	3			2	1		
ssf		1	2	21, 2	31	311		1	0*		
ssd		1	2	3, 21, 2, 1	21, 1			7	2	0*	
sff				3				0*			
sfd		1	2	3				1			
sdd		1	2, 1	3, 21, 2	31, 21			5	0*		
fff											
ffd											
fdd		1						0*			
ddd	0	1	2, 1	3				1			
(4)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(4)	(5)	(6)	(7)
ssss			2					0*			
sssf											
sssd			2	2	21			1	0*		
ssff											
ssfd			2		21			0*			
ssdd		1	2	3	31			1			
sfff											
sffd											
sfdd											
sddd		1	2					0*			
ffff											
fffd											
ffdd											
fddd											
dddd											
(5)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(5)	(6)	(7)	(8)
sssdd			2, 1	2				0*	0*		
ssfdd			2					0*			
sfddd				3				0*			
ssddd			2					0*			
								0*			

Чтобы составить sfdp-формулы МВ, нами были установлены качественные формулы МВ без коэффициентов. Формулы состоят из 1-8 атомов. Не установлено ни одной формулы из 9 атомов. Затем были составлены sfdp-формулы. При этом каждый символ элемента был заменен соответственно буквой s, f, d, p. Качественный sfdp-состав формул МВ представлены в виде таблицы. В левой колонке приведены формулы из s, f, d атомов (1-арные-5-арные). Если формула состоит из одного атома (1), то она соответствует простым веществам. Каждый

анион представлен в таблице косыми цифрами. Косые цифры означают р-формулы анионов: *1* – одноатомный р-анион (F, Cl, O, S и др.), *2* – рр формула (BO, CO, SiO, NO, SO, ClO и др.), *3* – ррр-формулы (BSiO=BO+SiO и др.), *4*-рррр (BSiCO и др.), *31* – анион ррр.р. В колонке 5р - пять атомов р. В этой колонке анион *31* состоит из четырех р (3+1=4), но в колонке пять атомов р. Пятый атом – это катион р. То же имеет место и в других колонках. Если число атомов р в анионе меньше числа атомов р в колонке, то разница – это катионы р. В последних колонках дана встречаемость катионов: 0* равна 1-4, остальным цифрам соответствуют десятки (6 – 6 десятков и т.д.), 0р – нет катионов р; р, рр, ррр один, два, три катиона р. Приводим для примера новые |sfdp|<>-формулы: илерит **$Na_2(Na_2□)Zr_2Si_6O_{18}.6H_2O$** - |sd-pp|<22-6.18> 6W, комковит **$Ba_2(□)_3Zr_2Si_6O_{18}.6H_2O$** - |sd-pp| <22-6.18> 6W, Y-илерит **$Na_2Na_3ZrYSi_6O_{18}.6H_2O$** [5] - |sdd-pp| <511-6.18> 6W. Формулы sd-*2*, sdd-*2*, где рр – это *2* (SiO) уже имеются в таблице.

Число анионов и их комбинаций с одним-тремя р-катионами ограничено. Анионы из трех цифр – *111*, *211*, *311* с р-катионами не комбинируются. Формулы анионов из одной-двух цифр комбинируются с одним-тремя р-катионами. Формулы реализованные указываем знаком плюс, не реализованные – знаком минус. Приводим формулы из р-катионов и анионов: *1*, +р*1*, +рр*1*, +ррр*1*, *2*, +р*2*, +рр*2*, +ррр*2*, *3*, +р*3*, +рр*3*, -ррр*3*, *4*, +р*4*, -рр*4*, -ррр*4*, *11*, +р*11*, +рр*11*, -ррр11, *21*, +р*21*, +рр*21*, +ррр*21*, *31*, +р*31*, -рр*31*, -ррр*31*, *111*, *211, 311*.

Как следует из полученного фактического материала, s, f, d, катионы содержатся в формулах от одного до 5, р-катионы содержатся в формулах от1 до 3. Всех атомов в формуле 1-8. Число атомов-анионов 1-5. Анион из 5 атомов (*311*) установлен у МВ один раз. Учитывая полученные данные о содержании катионов и анионов, можно составить потенциальные формулы. Знаком плюс выделяем реализованные формулы, а знаком минус – не реализованные. Большое число не реализованных вариантов (знаков минус) говорит о малой вероятности их реализации.

Формулы, если нет катионов и анионов 0 – d, dd, ddd, p, pp, ppp,

Один катион (s или f или d или p) дополняется анионами: *+1*, *+2*, *+3*, *+4*, *+11*, *+21*, *+31*, *+111*, *+211*, одним р-катионом в комбинации с анионом р+(*+1*, *+2*, *+3*, -4, *+11*, *+21*, *+31)*, двумя рр-катионами в комбинации с анионами рр+(*+1*, *+2*, *+3*, *-4*, *+11*, *+21*, *-31)*, тремя катионами ррр+(*+1*, *+2*, *-3*, *-4*, *-11*, *-21*, *-31)*.

Два катиона (комбинации из s, f, d) дополняются анионами: *+1*, *+2*, *+3*, *-4*,*+11*, *+21*, *+31*, анионами с р-катионами р+(*+1*, *+2*, *+3*, *+4*, *+11*, *+21*, *+31*), рр+(*+1*, *-2*, *-3*, *-4*, *-11*, *-21*, *-31*), ррр+(*+1*, *-2*, *-3*, *-11*, *-21*).

Три катиона (комбинации из s, f, d) дополняются анионами: *+1*, *+2*, *+3*, *-4*, *-11*, *+21*, *+31, +311*, анионами с р-катионами р+(*+1*, *+2*, *+3*, *-4*, *+11*, *+21*, *-31*), рр+(*+1*, *-2*, *-3*, *-11*, *-21*), ррр+(*+1*, *-2*, *-11*).

Четыре катиона (комбинации из s, f, d) дополняются анионами: *+1*, *+2*, *+3*, *-4*, *-11*, *-21*, *-31,* анионами с р-катионами р+(*-1*, *+2*, *-3*, *-11*, *+21*), рр+(*-1, -2, -11*), ррр+(*-1*).

Пять катионов (комбинации из s, f, d) дополняются анионами: *-1*, *+2*, *+3*, *-11*, *-21*, анионами с р-катионами р+(*+1*, *+2*, *-11*), рр+(*-1*).

По мере накопления материала отсутствующие комбинации могут обнаружиться и знак минус сменится на знак плюс. Но в основном новые формулы будут дублировать уже установленные.

Выделяем пары видообразующий элемент – изоморф первого ранга в виде комбинаций s-содержащих пар, f-содержащих пар, dd, pp, и dp пар. Среди множества пар нередко содержатся инвертированные. Для примера такие пары подчеркнуты в ss-формулах, например LiNa и NaLi.

ss - LiNa, NaLi, NaK, NaCa, NaSr, KNa, KRb, KCs, KCa, KBa, BeLi, MgLi, MgCa, MgBa, CaNa, CaK, CaMg, CaSr, SrCa, SrBa, BaNa, BaK, BaCa, BaSr, **sd** - NaTi, NaZr, MgSc, MgCr, MgMn, MgFe, MgCo, MgCu, MgZn, CaY, CaMn, CaFe, CaCu, **ds** - YCa, ScBe, ZrCa, MnNa, MnMg, MnCa, MnSr, MnBa, FeMg, CoMg, CuAs, ZnMg, **sp** - LiAl, $Na.H_3O$, KTl, $K.NH_4$, BeB, BeAl, MgAl, CaAl, CaPb, SrPb, BaPb, **ps** - AlLi, AlBe, AlMg, AlCa, PbBe, PbCa,

ff - LaCe, LaTh, LaDy, CeLa, CeNd, CeTh, ThCe, ThU, UTh, **sf** - CaCe, CaNd, **fs** - CeNa, CeCa, LnSr, ThCa, UCa, **fd** - CeY, **df** - YLa, YCe, YGd, YDy, YEr, YYb, YTh, YU, TiCe, MoU, FeCe, **fp** - CeAl, **pf** - AlCe,

dd - TiZr, TiNb, TiTa, TiFe, ZrHf, ZrMn, ZnCu, VTi, VMo, VFe, NbTi, NbZr, NbTa, TaNb, WFe, MoW, WMo, Mn^2Mn^3, Mn^3Mn^2, Mn^4Mn^2, MnFe, MnZn, ReMo, FeTi, FeCr, FeMn, Fe^2Fe^3, Fe^3Fe^2, FeNi, FeZn, FeCu, OsRu, OsIr, CoCr, CoFe, CoNi, RhRu, RhPt, IrOs, IrRh, NiFe, NiZn, PtPd, CuV, CuFe, CuNi, CuAg, CuZn, AgCu, AgAu, AgHg, AuAg, ZnMn, ZnFe, ZnNi, ZnCd, HgZn, **pp** - AlB, SnGe, PbTl, PbSn, PbSn, PbAs, PbSb, PbBi, AsPb, AsSb, AsBi, SbAs, SbBi, BiPb, BiSb, SAs, TeSe, $NH_4.H_3O$, **dp** - TiAl, TiSb, VAl, CuAs, AgSb, AgBi, FeAl, FeGe, FeBi, ZnSn, CdPb, **pd** - AlCr, AlMn, AlFe, AlZn, PbAg, SiFe, SiNb, TeAu,

Пары анионов - FCl, F.OH, $F.H_2O$, ClBr, Cl.OH, $Cl_2.SO$, Cl.SO, BrCl, SCl, SSe, SeS, TeS, TeSe, OH.F, OH.Cl, OH.O, $OH.H_2O$, OF, O.OH, $H_2O.OH$, $O.H_2O$, O.CO, BOAlO, BOAsO, AlOSiO, COPO, GeOCO, SiOBO, SiOAlO, SiOPO, SiOAsO, POCO, POSO, POSiO, POVO, AsOPO, AsSVS, AsOCrO, VOSiO, VOPO, VOAsO, CrOPO, CrOAsO.

Множества выделенных видообразующих элементов, пар видообразующий элемент-изоморф первого порядка, sfdp-формул МВ не полны. Но они будут закономерно пополняться. Многие видообразующие элементы, пары, формулы будут дублировать приведенные здесь, но можно ожидать выявления новых пар. Список полезен для характеристики МВ и их парагенезисов.

Список литературы

1. Бобков А.И. Основы единой классификации объектов различных уровней // Докл. VIII Межд. конф. «Новые идеи в науках о Земле». Т. 5. М., 2007. С. 26-29.

2. Бобков А.И. О классификации минеральных видов в рамках общей прогрессивно последовательной классификации объектов различных структурных уровней // Докл. IX Межд. конф. «Новые идеи в науках о Земле». S III. Т. 5. М., 2007. С. 168.

3. Булах А.Г., Золотарев А.А., Кривовичев В.Г. Классификация, формулы и структуры минералов. СПб.: Изд-во СПбГУ, 2003. 153 с.

4. Мозгова Н.Н. Развитие представлений о минеральном виде – фундаментальном таксоне минералогической классификации от А.Е. Ферсмана до наших дней // Тр. межд. научн. конф. «Ферсмановские чтения». М., 2008. С. 32-36.

5. Расцветаева Р.К., Хомяков А.П. Кристаллическая структура редкоземельного аналога илерита // Кристаллография. 1992. Т. 37. № 6. С. 1561-1563.

6. Смирнова Н.Л. 1979. О системе минералов. Уровни // Вестник Моск. ун-та. Сер. геол. 1979. В. 2. С. 59-63.

7. Смирнова Н.Л. 1980. Белов Н.В. Минеральный вид и близкие понятия // Кристаллография, 1980. Т. 25. № 5. С. 962.

8. Смирнова Н.Л., Белов Н.В. Систематика химических соединений и минералов. Оксиды // Кристаллография, 1981. Т. 26. № 3. С. 495.

9. Смирнова Н.Л. Качественные кристаллохимические формулы и их классификация с учетом парсимонии // Кристаллография, 1994. Т. 39. № 6. С. 1032-1041.

10. Смирнова Н.Л. О понятии минеральный вид. Докл. IX Межд. конф. «Новые идеи в науках о Земле». S III. М., 2009. С. 231.

НОВЫЙ ТИП РЕДКОЗЕМЕЛЬНО-ФОСФАТНОЙ МИНЕРАЛИЗАЦИИ НА ЗАПАДНОМ СКЛОНЕ ЮЖНОГО УРАЛА

Е.А. Тимофеева
ИГ УНЦ РАН, г. Уфа, e-mail: abzai@mail.ru

Сведения в геологической литературе о редкоземельных фосфатах в горных породах западного склона Южного Урала крайне скудны. Присутствие монацита в тяжелой фракции протолочек песчаников айской (R_1), зигальгинской (R_2), зильмердакской (R_3) и такатинской (D) свит отмечалось в 60-х годах XX столетия М.Т. Орловой и Ю.Р. Беккером. Новые данные были получены нами в результате исследования регионального метаморфизма горных пород и шлихо-минералогическом анализе аллювиальных отложений западного склона Южного Урала в связи с изучением проблемы коренной алмазоносности Республики Башкортостан [1].

Монацитовая минерализация установлена в породах суранской, юшинской, машакской и зигазино-комаровской свит нижнего и среднего рифея. Общими чертами для них является принадлежность к слабометаморфизованным терригенно-осадочным породам, представленным филлитами, филлитизированными глинистыми сланцами и алевролитами. В филлитизированных глинистых алевролитах юшинской свиты (северная часть хребта Б. Шатак) монацит представлен редкой вкрапленностью серых и темно-серых (из-за включений рудных минералов) призматических кристаллов размером до 0.3×1.0 мм. Здесь же в подчиненном количестве присутствуют таблитчатые кристаллы желтой окраски, без включений. Более широко распространены редкоземельные фосфаты в аллювиальных отложениях водотоков бассейна р. Белой на западном склоне Южного Урала. При этом единичные окатанные кристаллы монацита выявляются в шлихах из аллювия рек и ручьев, размывающих песчаники такатинской свиты на западном крыле Башкирского мегантиклинория (рр. Басу, Ряузяк, Сикася и др.). В русловых и аллювиальных отложениях низких и высоких террас восточной подзоны Башкирского мегантиклинория, сложенных метаморфизованными породами рифея и венда, часто присутствуют неокатанные или очень слабо окатанные зерна метаморфогенного монацита, ксенотима и флоренсита. Причем, часто они присутствуют совместно.

Монацит представлен таблитчатыми кристаллами или их обломками с типовой медово-желтой окраской и реже призматическими выделениями серого цвета. Размеры таблитчатых выделений достигают 1.5-2 мм, при этом более крупные кристаллы встречаются на участках размыва метаморфизованных пород белорецкого комплекса. Содержание монацита в шлихах изменяется от единичных знаков до десятков и реже сотен знаков на пробу.

Ксенотим (от единичных знаков до первых десятков) присутствует не во всех пробах. Он представлен кристаллами изометричной формы беловатого, сероватого или зеленоватого цвета, дипирамидального или удлиненно-призматического облика с размерами до 1-1.5 мм.

Флоренсит присутствует в количестве от нескольких единиц до 10-20 кристаллов светло-буровато-зеленоватой окраски остро-ромбоэдрического облика длиной до 0.5-0.7 мм, реже до 1 мм. Распространение флоренсита связано с зонами развития слабометаморфизованных пород филлитовой и зеленосланцевой фаций.

Монацит и ксенотим даже в мелких выделениях, хорошо диагностируются по наличию в видимой области спектра ясно заметных полос поглощения некоторых редкоземельных элементов. А.А. Кухаренко [4] указывал на присутствие в спектре абсорбции монацита широкой размытой полосы поглощения на границе желтой и красной частей спектра и тонкой более слабой – в зеленой части спектра. При наблюдении с помощью спектральной насадки, у всех монацитов наблюдается хорошо заметная широкая полоса поглощения примерно в пределах 575-593 нм, состоящая обычно из трех сближенных линий абсорбции, соответствующих спектральным линиям лантана 576, 577 и 593 нм [3]. Две хорошо заметные линии поглощения в зеленой области спектра в интервале около 510-535 нм могут быть связаны со спектральными линиями лантана (518 и 527 нм) и, видимо, церия (535 нм) или неодима (529 нм), являющихся основными редкоземельными элементами, входящими в состав изученных

монацитов. Иттриевый фосфат – ксенотим характеризуется присутствием хорошо заметных линий поглощения в зеленой и красной областях видимой части спектра. В зеленой части спектра размытые линии абсорбции располагаются в интервале 510-560 нм и могут соответствовать линиям 509, 520, 547, 553 и 558 нм иттрия и 555 нм иттербия. В красной части спектра присутствуют близко расположенные линии в интервале 640-670 нм, которые могут быть обусловлены наличием иттрия и эрбия [3]. В видимой части спектра для крупных и прозрачных зерен флоренсита слабые линии намечаются на границе красной и желтой областей спектра и в интервале 510-530 нм.

Составы изученных редкоземельных фосфатов (табл. 1, 2, 3) существенно не отличаются от фосфатов из других местонахождений монацита различного происхождения [2]. Для них характерна высокая обогащенность легкими лантаноидами при Ce>La>Nd и реже Ce>Nd>La характере распределения. В отдельных анализах монацита содержание ThO_2 достигает 8%, иногда повышаясь до 17%, что может быть связано с зональным характером распределения этого элемента в минерале. Содержания ThO_2 и CaO связаны положительной корреляционной зависимостью, что свидетельствует о присутствии в некоторых монацитах существенной доли чералитового минала. Микрозондовые анализы по случайным точкам в пределах одного кристалла подтверждают неоднородности в распределении РЗЭ и Th в пределах кристалла. Повышенные содержания тория (и урана) в ядре могут быть связаны с более высокой подвижностью этих элементов на начальных этапах регионального метаморфизма при низких термобарических параметрах, так как перераспределение урана и тория возможно в условиях диагенеза.

Таблица 1. Химический состав монацита, мас. %

Компоненты	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
SiO_2	–	–	0,13	–	0,17	–	–	–	0,11	–	–
P_2O_5	30,70	31,15	29,99	31,40	30,65	30,31	29,94	30,28	29,87	30,72	30,02
CaO	1,10	0,94	1,45	1,76	0,22	0,09	0,36	–	1,13	–	0,26
La_2O_3	16,45	18,14	9,79	6,67	16,19	16,80	11,38	12,47	14,10	16,99	16,55
Ce_2O_3	29,41	30,09	24,66	22,21	33,89	31,69	32,16	33,00	29,62	31,26	31,85
Pr_2O_3	2,53	3,47	3,98	4,02	3,65	3,82	3,94	4,35	3,58	3,41	3,84
Nd_2O_3	14,56	12,53	16,32	19,21	12,81	12,30	15,25	15,45	12,01	12,11	12,52
Sm_2O_3	1,60	0,50	3,19	3,88	1,22	2,12	2,37	2,59	1,88	1,90	1,62
Eu_2O_3	–	–	0,60	–	–	0,50	0,33	–	–	0,98	–
Gd_2O_3	–	–	1,25	1,28	–	1,61	0,76	1,13	1,25	1,57	1,13
Dy_2O_3	–	–	0,19	–	0,20	0,48	–	–	–	–	0,43
ThO_2	2,92	3,36	8,45	10,30	0,68	0,20	3,26	1,22	7,08	0,58	1,40
Сумма	99,27	100,18	100,00	100,73	99,68	99,92	99,75	100,49	100,63	99,52	99,62

Примечание. 1-4 – монацит серый призматический из монацитсодержащих сланцев (хр. Б. Шатак); 5-11 – монацит желтый таблитчатый из руслового аллювия (5 – р. Б. Авзян, 6 – р. Кадыш, 7 – р. Б. Авняр, 8 – руч. Авалякский, 9 – р. В. Мата, 10 – руч. Интурат, 11 – р. М. Авзян).

Таблица 2. Химический состав флоренсита, мас. %

Компоненты	1	2	3	4	5	6	7	8	9
La_2O_3	6,95	13,20	10,76	11,08	9,52	8,75	8,76	7,12	6,68
Ce_2O_3	11,49	14,72	14,30	13,62	14,79	14,58	16,41	12,71	13,77
Pr_2O_3	1,41	1,19	1,65	0,91	1,12	1,42	2,15	1,13	1,40
Nd_2O_3	4,30	2,21	4,05	2,93	4,53	4,74	5,03	4,03	4,41
ThO_2	0,92	–	–	0,48	0,64	0,54	0,47	0,99	0,86
SrO	4,95	1,66	1,71	1,85	–	–	–	–	–
CaO	0,97	0,29	0,21	0,55	0,70	0,84	0,33	1,67	1,69
FeO	0,79	–	–	1,05	0,55	1,25	–	4,01	–
BaO	–	–	–	–	0,45	0,61	–	–	1,05
PbO	–	–	–	–	–	1,35	–	–	–
Al_2O_3	28,02	29,18	27,82	26,69	28,51	28,17	28,64	29,17	30,08
SO_3	–	–	–	0,58	–	–	–	1,02	–
P_2O_5	27,45	28,86	28,05	27,02	27,45	27,09	27,56	26,22	26,66
Сумма	87,25	91,31	88,55	86,76	88,26	89,34	89,35	88,07	86,60

Примечание. 1-9 – флоренсит из аллювиальных отложений (1-4 – р. М. Авзян; 5, 6 – р. Б. Авняр; 7-9 – р. Миселя).

Таблица 3. Химический состав ксенотима, мас. %

Компоненты	1	2	3	4	5	6	7	8
SiO_2	1,66	1,70	1,85	1,61	1,62	2,10	1,87	1,90
P_2O_5	36,19	37,72	37,75	37,19	37,58	37,80	37,86	37,40
Y_2O_3	36,24	41,82	42,65	40,75	41,73	44,32	43,92	43,32
Sm_2O_3	–	–	–	0,25	–	–	–	–
Gd_2O_3	2,09	2,02	1,65	3,25	3,13	1,33	0,93	1,84
Tb_2O_3	0,40	0,34	–	0,99	1,01	–	0,42	–
Dy_2O_3	5,59	6,21	6,39	6,80	6,56	4,91	4,21	5,73
Ho_2O_3	1,78	1,64	1,78	1,41	1,61	1,25	1,58	1,66
Er_2O_3	5,65	4,46	4,18	3,60	3,38	3,99	3,94	3,92
Yb_2O_3	8,69	3,63	3,45	3,59	3,01	4,28	4,12	3,31
Lu_2O_3	1,72	–	–	–	–	–	–	–
UO_3	0,34	–	–	–	–	–	0,66	–
Сумма	100,35	99,94	99,70	99,44	99,63	99,98	99,51	99,08

Примечание. 1-8 – ксенотим из аллювиальных отложений (1 – р. Тыгын; 2, 3 – р. Б. Авняр; 4, 5 – руч. Авалякский; 6, 7 – р. Миселя; 8 – р. Верх. Мата. Флоренситы из русловых отложений также имеют Ce>La>Nd характер распределения редких земель при низких (обычно менее 1-2%) содержаниях CaO, FeO, BaO и PbO и постоянном присутствии небольших количеств ThO_2. В ксенотиме установлены повышенные содержания диспрозия, иттербия и эрбия при преобладании первого.

По суммарному содержанию РЗЭ (120-176 г/т) и характеру их распределения филлитизированные глинистые сланцы и алевролиты рифея с акцессорным монацитом близки к глинам и глинистым сланцам различных регионов Земли и в том числе к глинам Русской платформы, что может рассматриваться как подтверждение метаморфогенного происхождения редкоземельных фосфатов как в коренных породах, так и в аллювиальных отложениях региона. Кроме того, метаморфогенное (метаморфогенно-гидротермальное) происхождение редкоземельных фосфатов восточной подзоны Башкирского мегантиклинория подтверждается тесной пространственной совмещенностью ареала обломочных неокатанных зерен РЗЭ-фосфатов с зоной развития метаморфических пород рифея и венда, расположенной восточнее Юрюзано-Зюраткульского глубинного разлома; повсеместной ассоциацией монацита, ксенотима и флоренсита в тяжелой фракции шлихов с минералами метаморфических пород – альмандином, биотитом, турмалином, рутилом, ильменитом, цоизитом, хлоритоидом; наличием монацита и ксенотима в элювии кристаллических сланцев; частым присутствием в фосфатах в виде включений углистого и рудного материала; намечающейся зональностью в распространении фосфатной минерализации, заключающейся в присутствии флоренсита и серого призматического монацита в области развития пород низкой (филлитовой и зеленосланцевой) ступеней метаморфизма и таблитчатого, более крупного монацита и ксенотима – на участках распространения пород средней и высокой ступеней метаморфизма. Подобная зональность дополняется находками в не метаморфизованных глинистых гидрослюдистых сланцах и алевролитах рифея центральной части Башкирского мегантиклинория мелких (до 0.5-0.7 мм) непрозрачных эллипсоидальных стяжений рабдофанита, который при усилении метаморфизма до зеленосланцевой фации переходит в монацит [5].

Описанные проявления редкоземельных фосфатов в коренных породах и аллювиальных отложениях речных долин западного склона Южного Урала, представляют новый, ранее неизвестный в регионе тип редкоземельной минерализации. По предварительным данным, в верхнем течении р. Б. Авзян содержание монацита в русловом аллювии составляет до 50-100 г/м^3. В связи с изложенным выше представляется необходимой постановка детальных геолого-разведочных работ на этот нетрадиционный для Урала вид минерального сырья.

Список литературы

1. Алексеев А.А., Тимофеева Е.А. Редкоземельные фосфаты в горных породах и аллювиальных отложениях Башкирского мегантиклинория // Минералогия Урала – 2007. Миасс-Екатеринбург: Изд-во УрО РАН, 2007. С. 103-105.

2. Геохимия, минералогия и генетические типы месторождений редких элементов // Минералогия рудных элементов. Том II. М.: Наука, 1964. 830 с.

3. Калинин С.К. и др. Атлас спектральных линий для стеклянного спектрографа. М.: Госгеолтехиздат, 1956. 47 с.

4. Кухаренко А.А. Минералогия россыпей. М.: Госгеолтехиздат, 1961. 118 с.

5. Сердюченко Д.П. Метаосадочные монациты на последовательных этапах метаморфических преобразований // Проблемы экзогенного и метаморфогенного породо- и рудообразования. М.: Наука, 1985. С. 187-197.

БЛАГОРОДНОМЕТАЛЬНАЯ И СУЛЬФИДНАЯ МИНЕРАЛИЗАЦИЯ В ПОРОДАХ ПАНАРЕЧЕНСКОЙ ВУЛКАНО-ТЕКТОНИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ

А.В. Чернявский[1], Ю.Л. Войтеховский[1], А.В. Волошин[1], Е.Э. Савченко[1], В.А. Павлов[2]
[1] Геологический институт КНЦ РАН, г. Апатиты, e-mail: chernyavsky@geoksc.apatity.ru
[2] ОАО ЦКЭ, г. Мончегорск

Панареченская вулкано-тектоническая структура (ПР ВТС) расположена в центральном блоке Имандра-Варзугской зоны Печенгско-Варзугского зеленокаменного пояса и представляет собой автономную брахиформную, эллипсовидную структуру, вытянутую в северо-западном направлении на 18 км при ширине до 6 км.

В средней части структуры проходит Панско-Варзугский глубинный разлом, разделивший ее на два неравноценных по перспективности блока – Северо-Западный (СЗ) и Юго-Восточный (ЮВ), смещенных в плане друг относительно друга на 4 км (рис. 1). Структура сложена нижнепротерозойскими метаосадками и метавулканитами основного состава панареченской свиты, на которые наложена более молодая вулканическая постройка типа кальдеры, сложенная среднекислыми эффузивами и туфами самингской свиты. Основанием для структуры являются метавулканиты основного состава ильмозерской свиты. Вдоль контакта панареченской и ильмозерской свит расположены интрузии гранит-монцонитового комплекса, которые рассматриваются как комагматы метаэффузивов самингской свиты. Панареченская вулкано-тектоническая структура на разных уровнях прорывается породами плагиоверлитового и габбро-диабазового интрузивных комплексов, а также породами гранит-монцонитового интрузивного комплекса [2-4].

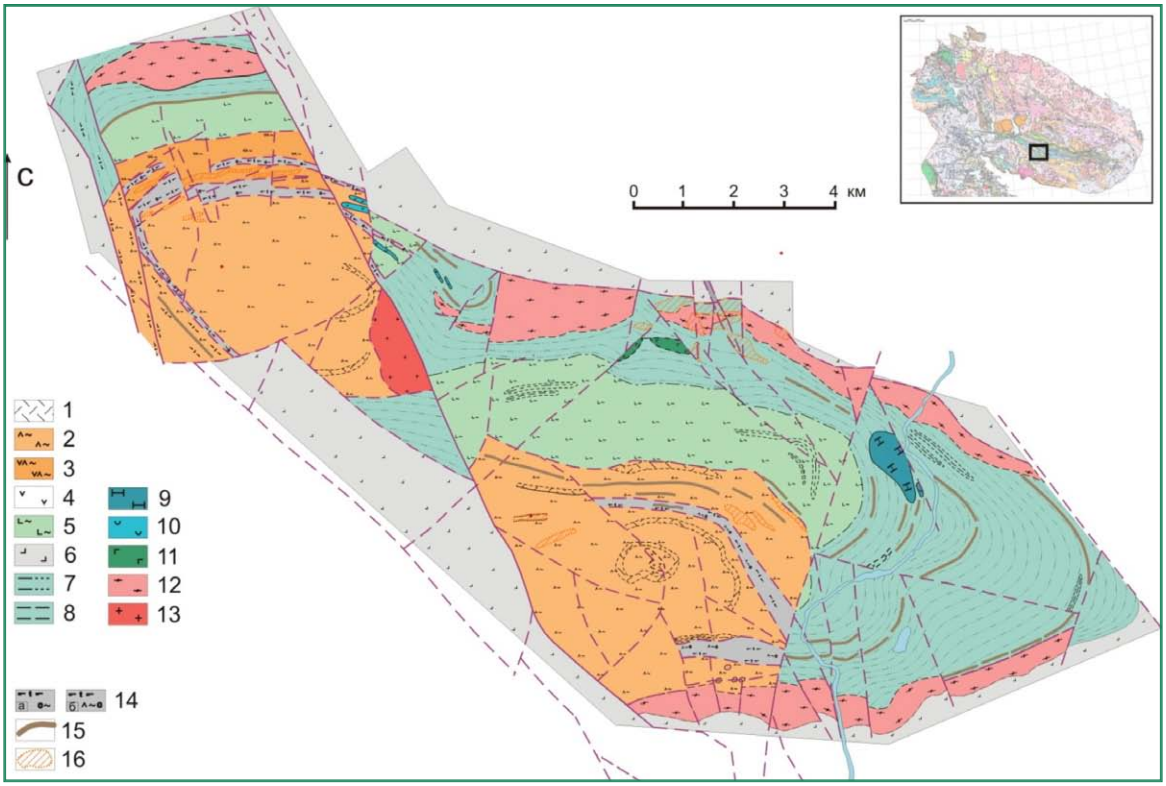


Рис. 1. Схематическая геологическая карта ПР ВТС по данным ОАО ЦКЭ, 2000 г.

1 – метариолиты; 2 – метадациты; 3 – метадациадезиты; 4 – метаандезиты; 5 – метатуфы основного состава; 6 – метаандезибазальты; 7 – метапесчаники; 8 – метапелиты; интрузивные образования: 9 – метаперидотиты; 10 – метапикриты; 11 – диабазы, габбро-диабазы; 12 – субщелочные монцониты, гранодиориты, габброиды, сиениты; 13 – лейкограниты;14 – сульфидно-углеродистые сланцы: а – углеродистого материала > 50 %; б – углеродистого материала < 50 %; 15 – сульфидно-углеродистые образования; 16 – метасоматиты.

В ходе геолого-поисковых работ 1984 г. получены первые данные о перспективах золотоносности ПР ВТС. В конце прошлого века на СЗ и ЮВ блоках структуры проводила буровые работы ОАО Центрально-Кольская экспедиция (ОАО ЦКЭ). В итоге в панареченской и самингской свитах выделены породные комплексы, потенциально рудоносные на благородные металлы [4]. По содержанию углеродистого вещества выделялось 9 рудоносных комплексов. В настоящей работе распределение рудных минералов проведено по 4 группам пород (рис.2):(1)углеродистыеисульфидно-углеродистыесланцы,(2)серицит-карбонат-альбит-кварцевыеметасоматиты, (3) хлорит-карбонатные метасоматиты и (4) массивные пиритовые руды.

Таблица 1. Рудные минералы в породах и рудных комплексах ПР ВТС.

Минерал	Формула	Анализ		Типы рудоносных пород			
		MS	LEO	1	2	3	4
Минералы с видообразующей ролью **Ag, Au**							
Золото	Au		+	●●	●●●		●
Серебро	Ag		+	●●●	●●●	●●	●●
Эмпресит	AgTe		+	●●	●●	●●	●
Гессит	Ag_2Te	+	+	●●●	●●●	●●●	●●
Штютцит	$Ag_{5-x}Te_3$	+			●●		
Волынскит	$AgBiTe_2$	+	+		●●		
Петцит	Ag_3AuTe_2		+	●●	●●●	●●	●●
Нагиагит	$Pb_5Au(Te,Sb)_4S_{5-8}$		+		●●		
Аргентопентландит	$Ag(Ni,Fe)_8S_8$		+			●	●●
Фрейеслебенит	$AgPbSbS_3$		+	●●	●●●	●●	●●
Самородные металлы, сульфиды и сульфосоли, оксиды							
Пирит	FeS_2	+		●●●	●●●	●●●	●●●
Марказит	FeS_2		+	●●●	●●●		
Пирротин	$Fe_{1-x}S$		+	●●●	●●	●●	●●
Пентландит	$(Fe,Ni)_9S_8$			●●	●●		
Макинавит	$(Fe,Ni)_9S_8$			●●	●●		
Виоларит	$FeNi_2S_4$			●			
Галенит	PbS	+		●●●	●●●	●●●	
Алтаит	PbTe		+	●●	●●●	●●	●●
Сфалерит	ZnS			●●●	●●●	●●●	●●●
Гринокит	CdS		+		●●		
Молибденит	MoS_2			●●			
Халькокит	Cu_2S						●
Ковеллин	CuS			●●			
Халькопирит	$CuFeS_2$	+	+	●●●	●●●	●●●	●●●
Борнит	Cu_5FeS_4			●●	●●		
Тетраэдрит	$(Cu,Fe)_{12}Sb_4S_{13}$		+		●●●		
Бисмутинит	Bi_2S_3		+		●●		
Кобальтин	CoAsS	+		●●			
Герсдорфит	NiAsS						●●●
Арсенопирит	FeAsS	+	+	●●●	●●●	●●●	●●●
Костибит	CoSbS		+		●●		
Цумоит	BiTe	+		●●	●●●	●●	●●
Теллуровисмутит	Bi_2Te_3	+		●●	●●●	●●●	●●
Пильзенит	Bi_4Te_3		+	●●	●●●	●●	●●
Радхакришнаит	$PbTe_3(Cl,S)_2$		+		●		
Колорадоит	HgTe		+		●		
Висмут	Bi		+	●●	●●●		
Теллур	Te			●●	●●●		
Никель	Ni		+	●●	●●●		
Магнетит	$FeFe_2O_4$			●●●	●●●	●●●	●●●
Ильменит	$FeTiO_3$			●●●	●●●	●●●	●●●
Рутил	TiO_2			●●●	●●●	●●●	●●●

Примечание: MS-46 Cameca; LEO-1450. Группы рудоносных пород: 1 – углеродистые и сульфидно-углеродистые сланцы, 2 – серицит-карбонат-альбит-кварцевые метасоматиты, 3 – хлорит-карбонатные метасоматиты, 4 – массивные пиритовые руды. Распрстранение минералов: ●●● – распространенный, ●● – редкий, ● – единичные находки.

При изучении рудной минерализации ОАО ЦКЭ в потенциально рудоносных породах выявлено 16 рудных минералов, среди которых кроме сульфидов отмечены золото и теллуриды, а также титановая минерализация. При ревизионном изучении аншлифов ОАО ЦКЭ и нового кернового материала авторами проанализирована ранее установленная минерализация, а также выявлены новые рудные минералы. Общее число выявленных рудных минералов составило 42, в том числе 10 с видообразующей ролью Ag и Au, 13 теллуридов и сульфотеллуридов (табл. 1).

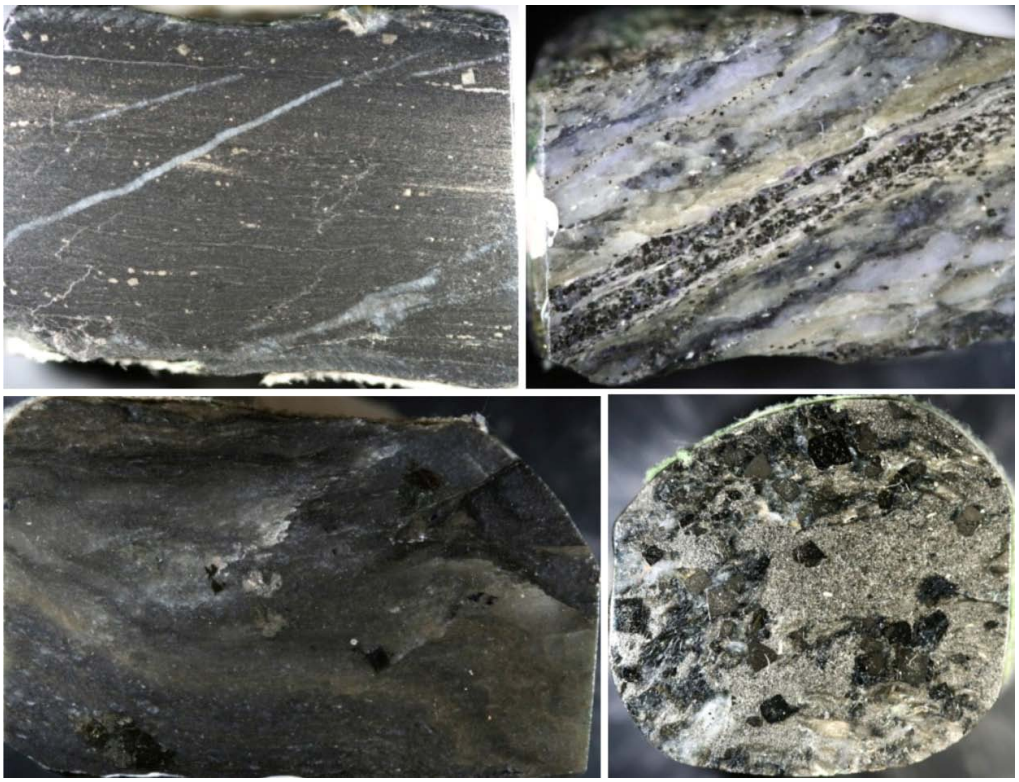


Рис. 2. Вверху: слева – углеродистые и сульфидно-углеродистые сланцы; справа – серицит-карбонат-альбит-кварцевые метасоматиты; внизу: слева – хлорит-карбонатные метасоматиты; справа – массивные пиритовые руды.

При изучении химического состава минералов, размер однородных участков которых превышал 20 мкм, анализ проводился на волнодисперсионном электронно-зондовом микроанализаторе MS-46 Cameca. При меньшем размере выделений состав оценивался при помощи энергодисперсионной приставки Rőntec к сканирующему электронному микроскопу LEO-1450, который использован и для получения изображений полированных шлифов в обратно-рассеянных электронах.

Минеральные фазы. Кроме указанных в табл. 1 минералов выявлен целый ряд минеральных фаз, для которых пока не установлено соответствие минеральным видам. Они представлены преимущественно теллуридами и сульфотеллуридами – сложными и простыми, с различными содержаниями Au и Ag. Фаза $AgTe_2$, возможно, является серебряным аналогом калаверита $AuTe_2$. Кроме колорадоита обнаружен сложный сульфотеллурид, содержащий Hg. В колонке «примечание» (табл. 2) приведены формулы и поэлементные составы, возможно, соответствующие этим минеральным фазам.

Химический состав. В табл. 3 приведены минералы с различным содержанием Ag и Au. Содержание Ag в Au от 11,22 до 28,72 вес. %, тогда как содержание Au в Ag от 44,24 до 56,81 вес. %. Интересно, что в Au и Ag вместо изоморфной примеси Cu входит Fe. Среди теллуридов максимальные содержания Au и Ag отмечаются в петците и гессите, они наиболее распространены среди теллуридов. Повышенное содержание Ag (69,15 вес. %) отмечено в минеральной фазе, близкой к гесситу. Кроме того, Au и Ag присутствуют в виде изоморфной примеси в алтаите, радхакришнаите, самородном теллуре, тетраэдрите, халькопирите и галените.

Благороднометальная рудная минерализация представлена тонкой вкрапленностью во флюорите, мусковите и в виде отдельных включений и сростков с другими рудными минералами в пирите. Кроме того, в породах ПР ВТС присутствует редкоземельная минерализация (монацит, ксенотим, бастнезит), связанная с флюоритом в метасоматитах. Золото представлено тонкими вытянутыми или округлыми включениями и на границах зерен пирита (рис. 3).

Золото образует срастания с галенитом, гесситом и халькопиритом (рис. 4, 5). Серебро представлено в самородном виде, а также аргентопентландитом и фрейеслебенитом. Серебро встречено в виде включений в пирите и в сростках с гесситом, также в пирите. Аргентопентландит представлен сростками с халькопиритом и герсдорфитом в силикатах, фрейеслебенит – сростками с галенитом в пирите.

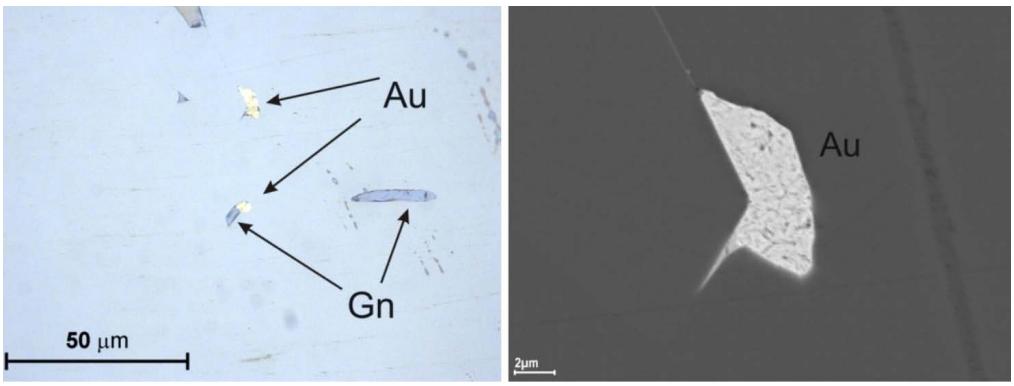


Рис. 3. Золото (Au) и галенит (Gn) в пирите. Слева – отраженный поляризованный свет, справа – снимок в обратно-рассеянных электронах.

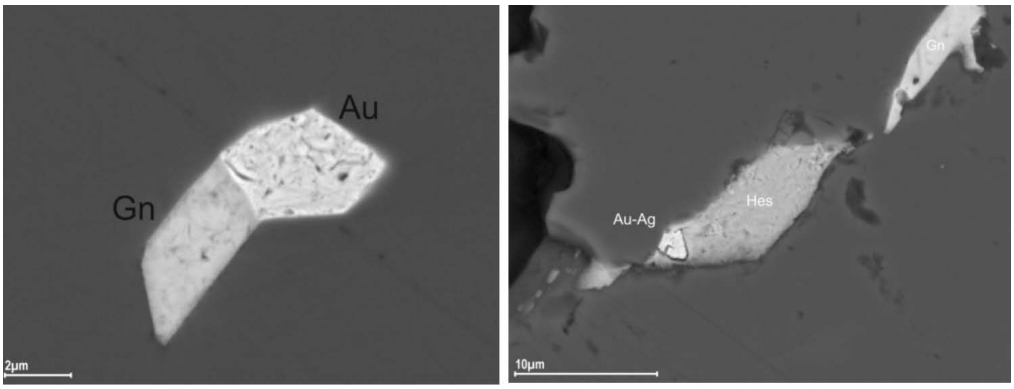


Рис. 4. Слева: сросток Au и галенита (Gn) в пирите. Справа: сросток Au с гесситом (Hes) в пирите. Фото в обратно-рассеянных электронах.

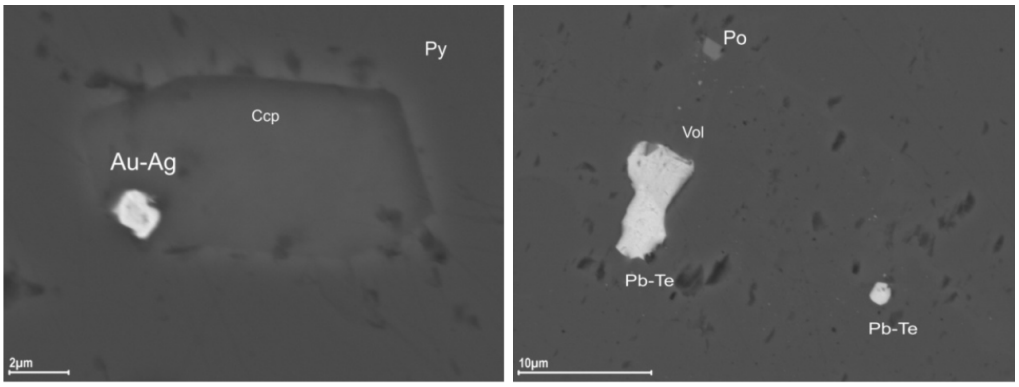


Рис. 5. Слева: золото (Au-Ag) и халькопирит (Ccp) в пирите (Py). Справа: сросток волынскита (Vol) и алтаита (Pb-Te). Фото в обратно-рассеянных электронах.

Теллуриды (эмпресит, гессит, петцит, волынскит, нагиагит, алтаит) представлены тонкими включениями в мусковите, флюорите и пирите (рис. 5-7). В силикатах они образуют в основном изометричные мономинеральные зерна, в пирите часты срастания более чем трёх теллуридов и сульфидов (тетраэдрит, галенит, халькопирит, арсенопирит).

Главные рудные минералы – сульфиды (простые и сложные) и сульфосоли. Выделены две ветви развития: пиритовая (пирит – герсдорфит – кобальтин) и марказитовая (марказит – арсенопирит – костибит).

Минералы с анионной ролью Te (теллуриды и сульфотеллуриды) представлены в самородном виде (Te), а также в простых и сложных соединениях. Среди простых – соединения с различной вариацией Bi в составе (цумоит, теллуровисмутит, пильзенит), установлено и соединение с Hg – колорадоит (первая находка на Кольском п-ове). К сложным соединениям относится радхакришнаит (первая находка на Кольском п-ове), у которого одновременно в анионной позиции присутствуют S (7 вес. %) и Cl (5 вес. %). Среди теллуридов большую часть составляют соединения с видообразующей ролью Ag и Au. Простые соединения – эмпресит, гессит, штютцит, волынскит и петцит. Сложное соединение – нагиагит (первая находка в России). Установлены самородные эле-

менты: Au, Ag, Bi, Te, Ni (первая находка на Кольском п-ове). Среди золото-серебряных минералов преобладают минералы Ag и его соединения с Te. Простые сульфиды и минералы титана присутствуют во всех рудных зонах. Минералы с видообразующей ролью Ag, Au и анионной ролью Te преобладают в серицит-карбонат-альбит-кварцевых метасоматитах.

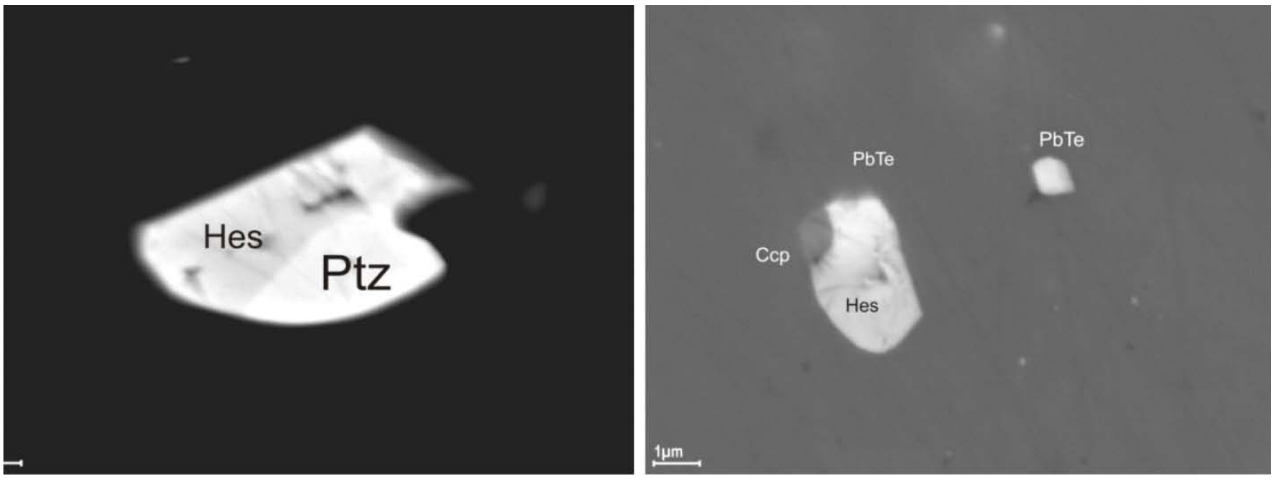


Рис. 6. Слева: сросток гессита (Hes) и петцита (Ptz) во флюорите. Справа: сросток алтаита (Pb-Te), гессита (Hes) и халькопирита (Ccp) в пирите. Фото в обратно-рассеянных электронах.

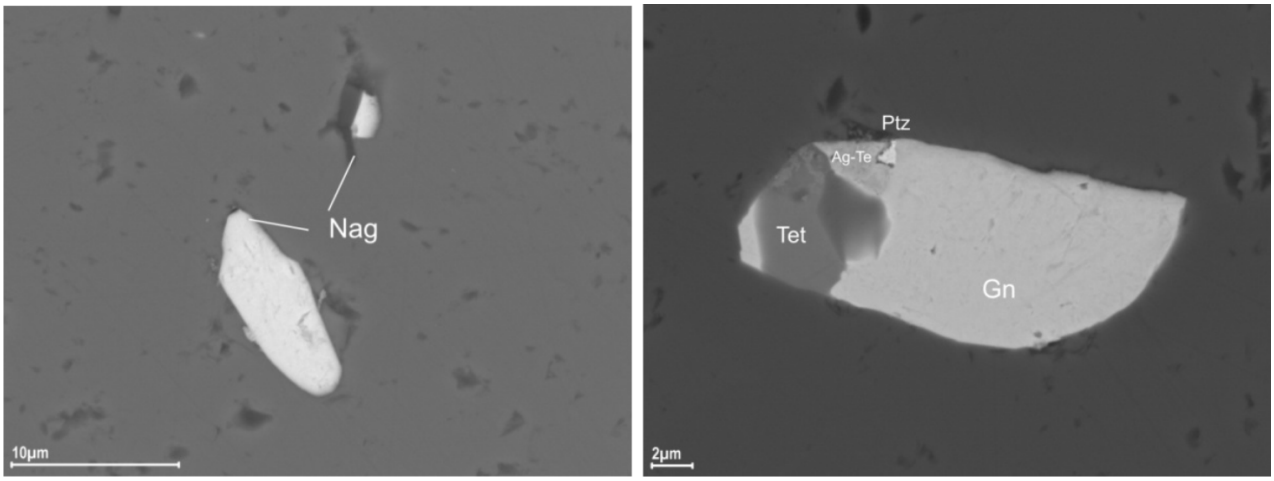


Рис. 7. Слева: нагиагит (Nag) в пирите. Справа: сросток тетраэдрита (Tet), галенита (Gn), петцита (Ptz) и эмпресита (Ag-Te). Фото в обратно-рассеянных электронах.

Таблица 2. Минеральные фазы (соответствие минеральным видам не установлено).

Минеральная фаза	Примечание
$Ag_{2.60-2.36}Te$	
$Ag_{2.29}Au_{0.29}Te$	Гессит + Ag
$(Ag_{0.52}Au_{0.02})Te$	$AgTe_2$ $(Ag,Au)_2Te_4$ $AuTe_2$ $AuAgTe_2$
$Ag_{1.03}Pb_{1.20}Bi_{1.01}Te_{3.00}$	$AgPbBiTe_3$
$Ag_{2.97}Te_8$ $Ag_{1.14}Fe_{1.42}Pb_{0.54}Bi_{1.51}Te_{3.48}S_{2.00}$	AgFePb BiTeS
$Ag_{9.58}Fe_{3.11}Pb_{16.07}Sb_{14.09}S_{27.52}$	AgFePbSbS
$Hg_{0.65}Bi_{0.97}Te_{2.16}S_2$	$HgBi_2Te_4$ + S
$Zn_{1.17}$ $Au_{1.20}$ $Pb_{6.93}$ $Sb_{1.85}Te_{2.82}S_{5.00}$	

Таблица 3. Содержание Au и Ag в минералах, вес. %.

Минерал	Ag	Au	Fe	Минерал	Ag	Au	Fe
Минеральные виды				Минеральные фазы			
Золото	11,22	87,31	1,48	$Ag_{2+x}Te$	69,15		
Золото	28,72	67,46	3,82	$AgTe_2$	29,78	2,00	
Серебро	43,19	56,81		AgPbFeBiTeS	10,78		
Серебро	51,69	44,24		AgPbFeSbS	14,41		
				Минералы с изоморфной примесью Au и Ag			
Петцит	50,52	19,23		Алтаит	15,09		
Гессит	56,72	13,07		Радхакришнаит	4,23		
Нагиагит		9,49		Теллур	1,95		
Эмпрессит	49,34	1,54		Тетраэдрит	9,88		6,98
Штютцит	59,62			Халькопирит	3,86		
Фрейеслебенит	24,63		2,89	Галенит	0,51		0,11
Волынскит	19,16						
Аргентопентландит	10,95		25,74				

Панареченская структура обладает особенностями геологического строения, прямыми и косвенными признаками золотоносности, наиболее близкими к двум крупным структурам в пределах докембрийских платформ (Канадский щит, месторождение Крипл-Крик и рудное поле Сильвертон-Теллурид) [1] (табл. 4).

Таблица 4. Сравнительная таблица золоторудных месторождений

Признаки	Месторождение Крипл-Крик	Рудное поле Сильвертон-Теллурид	Панареченская вулкано-тектоническая структура
Время формирования	MZ	Конец MZ	PR_2
Тип руд	Золото-теллуридный	Золото-серебряный со свинцом и цинком	Золото-серебряный-(теллуридный)
Минералы золота и серебра	калаверит сильванит петцит гессит золото креннерит акантит нагиагит теннантит	петцит золото калаверит теннантит прустит аргентит	гессит петцит золото серебро эмпресит штютцит волынскит нагиагит аргентопентландит фрейеслебенит

Основное отличие состоит в том, что формирование ПР ВТС связано с процессами протерозойской активизации, в то время как на других щитах подобные золотоносные структуры обусловлены MZ-KZ активизацией. Тем не менее, это не исключает возможности обнаружения в пределах Панареченской структуры близповерхностных или малоглубинных золото-серебряных месторождений мелкого или среднего масштаба.

Список литературы

1. Некрасов Е.М. Зарубежные эндогенные месторождения золота. М.: Недра, 1988. 284 с.

2. Скуфьин П.К., Пушкин Г.Ю. Вулкано-тектоническая структура в центральной части Печенгско-Варзугского вулканического пояса // Докл. АН. 1986. Т. 287. № 6. С. 1461-1464.

3. Скуфьин П.К., Баянова Т.Б., Митрофанов Ф.П. Изотопный возраст субвулканических гранитоидных пород раннепротерозойской Панареченской вулкано-тектонической структуры (Кольский п-ов) // Докл. АН. 2006. Т. 408. № 6. С. 801-805.

4. Чернявский А.В. Очерк геологии Панареченской вулкано-тектонической структуры // Петрология и минерагения Кольского региона. Тр. V Всерос. Ферсмановской научн. сессии, посв. 90-летию со дня рожд. д.г.-м.н. Е.К. Козлова. Апатиты, 14-15 апр. 2008 г. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2008. С. 215-218.

МИНЕРАЛОГИЯ ЗОЛОТО-ВИСМУТ-СУРЬМЯНОЙ АССОЦИАЦИИ КВАРЦЕВОЙ ЖИЛЫ р. ПОДМАНЮК (БОЛЬШИЕ КЕЙВЫ, КОЛЬСКИЙ ПОЛУОСТРОВ): ПЕРВЫЕ ДАННЫЕ

А.К. Шпаченко, Ю.Л. Войтеховский, А.А. Басалаев, Е.Э. Савченко
Геологический институт КНЦ РАН, г. Апатиты, e-mail: ark@geoksc.apatity.ru

Кварцевые жилы различной мощности и протяженности широко распространены в структуре Больших Кейв. Ранее они интересовали специализированные организации как сырьё для производства особо чистого кварца [5]. В ходе полевых работ 2007 г., проводимых по Программе ОНЗ РАН «Фундаментальные проблемы геологии, условия образования и принципы прогноза традиционных и новых типов крупномасштабных месторождений стратегических видов минерального сырья», в штуфной пробе, из призальбандовой части кварцевых жилы на р. Подманюк установлено содержание золота 17,5 г/т. Анализ проводился атомно-абсорбционным методом с экстрагированием Ir, Ru, Pt, Pd, Au, Ag с помощью сульфида нефти из навески 5-10 г (аналитик Л.А. Филиппычева, ГИ КНЦ РАН). Материал также изучался в шлифах и аншлифах методами оптической микроскопии. Оценка состава мелких выделений проведена на энерго-дисперсионном спектрометре Roentec, установленном на сканирующем электронном микроскопе Leo-1450. Количественный анализ рудных минералов выполнен на микрозондовом анализаторе MS-46 Cameca (аналитик Е.Э. Савченко). Изображения в обратно-отраженных электронах получены на СЭМ Leo-1450.

Геологическое описание

Крутопадающая кварцевая жила видимой мощностью 5 м сечёт гранат-ставролит-биотит-кварцевые сланцы, предположительно, выхчуртской свиты Кейвской серии PR_1 (рис. 1 слева).

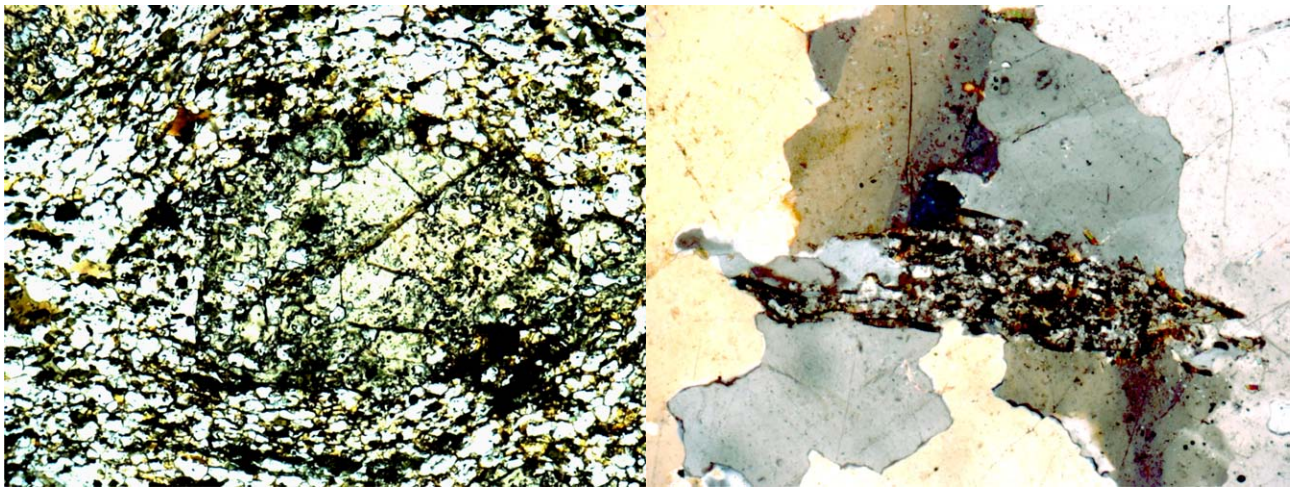


Рис. 1. Гранат-ставролит-биотит-кварцевый сланец (слева). Неоднородно погасающие зёрна кварца с реликтами вмещающих сланцев (справа).

Минеральная ассоциация вмещающих пород включает (по уменьшению распространённости): кварц, биотит, амфибол, ильменит, рутил, циркон, альмандин, ставролит, плагиоклаз, пирит, микроклин, альбит, монацит-Ce, ксенотим, апатит, барит, молибденит, кобальтин. Вторичные минералы – гидроксиды железа (гётит, лимонит).

Минеральная ассоциация рудной кварцевой жилы включает (по уменьнению распространённости): кварц, золото самородное, висмут самородный, «ауростибит-Bi», ауростибит, фазы состава BiTe, Bi_2Te (Bi_7Te_3), бисмит, висмутинит, пирротин, данаит, халькопирит, сфалерит, кобальтин. В кварцевой жиле отмечаются тонкие линзовидные фрагменты вмещающих сланцев, а также биотит, ильменит, рутил, вероятно, захваченные из вмещающей породы (рис. 1 справа).

Описание минералов

Кварц: размер зёрен в зальбанде кварцевой жилы не превышает 5 мм, форма неправильная, границы неровные, ступенчатые, наблюдаются участки с неоднородным погасанием, что свидетельствует о перенесенных тектонических нагрузках. В зальбандах жилы – кварц прозрачный, слабо ожелезнённый по микротрещинам, в осевой части жилы – молочно-белый без рудной минерализации. Во вмещающей породе кварц составляет порядка 30-40 об. %, размер зёрен кварца менее 0,5 мм.

Рудные минералы золота, висмута, сурьмы и теллура: золото, ауростибит, висмут, бисмит (?) локализуются преимущественно в кварцевом агрегате самой жилы. Установлено несколько морфологических типов: одиночные кристаллы и ксеноморфные выделения (100-300 мкм в поперечнике), цепочки полигональных и округлых зёрен (от 5-10 мкм до десятых долей мкм), Au и сростков Au+Au-Sb, Aug+Au-Sb-Bi, Au+Au-Sb+Bi-Te, тонкие удлинённые выделения Au, сростки Au+Bi-O. Тонкая рудная вкрапленность в кварце присутствует в виде одиночных рассеянных вкрапленников так и лентовидных агрегатов, не выходящих за пределы индивидуальных зёрен кварца.

В виде таких же агрегатов в кварце отмечаются газово-жидкие включения.

Золото образует полигональные, округлые или ксеноморфные кристаллы размером до 100х300 мкм (рис. 2 слева). Для них характерно однородное строение, отсутствие зональности, включения других минеральных фаз редки (иногда фиксируются включения самородного висмута (табл., рис. 2 справа).

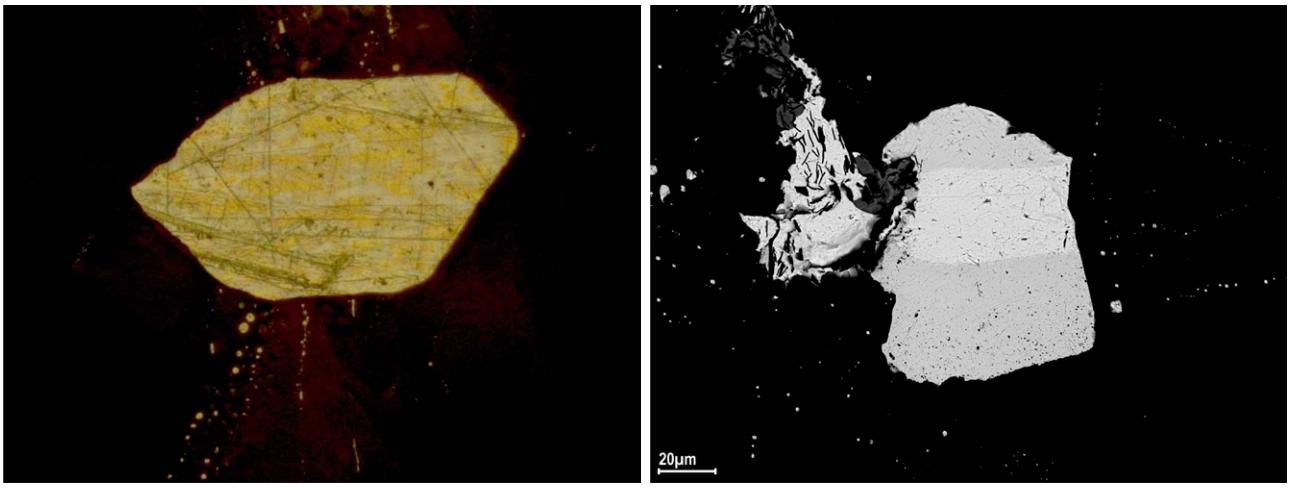


Рис. 2. Кристалломорфные и ксеноморфные выделения золота, размер кристалла 100×300 мкм (слева) срастание золота (серое) с висмутом (белое, справа).

Они представлены самородным золотом с примесью серебра. Кристаллы золота включены в индивидуальные зёрна кварца. Обычно отмечаются 1-2 золотины в зерне кварца. Тонкое пылевидное золото (менее 5 мкм – до долей мкм, рис. 3) образует линейные цепочки полигональных и округлых кристаллов, редко удлинённых. Тонкое золото входит в состав двух-фазных зёрен, в которых также присутствует ауростибит, и в состав 3-4-фазных зёрен с самородным висмутом и оксидом висмута (бисмутинитом ?), ауростибитом и фазами состава Bi-Te.

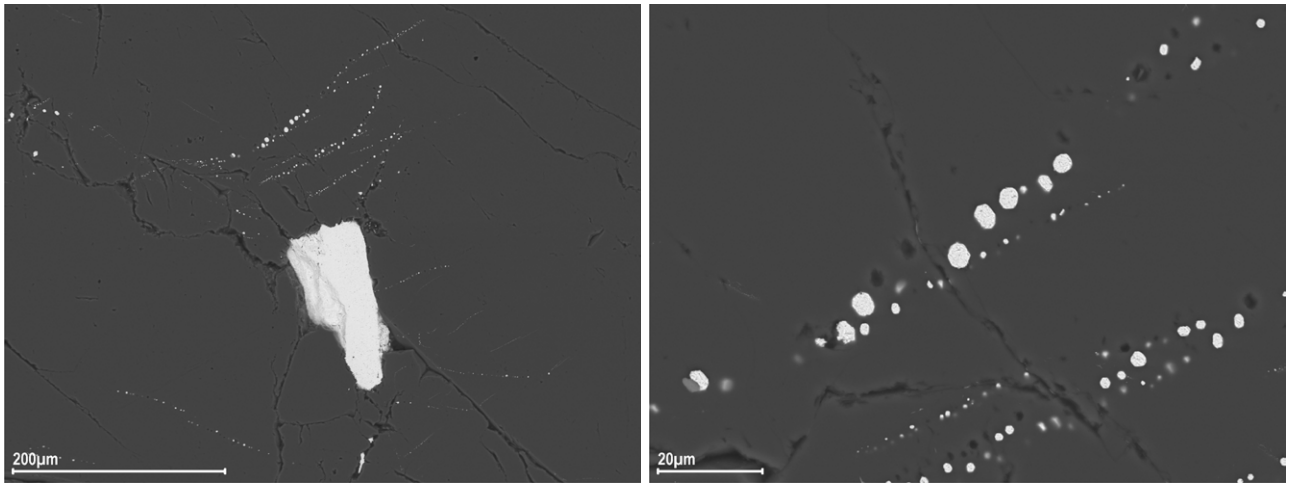


Рис. 3. Ксеноморфные и тонкие круглые зёрна золота (справа – увеличенный фрагмент левого снимка).

Ауристибит установлен в виде строчек тонких округлых и полигональных зёрен размером менее 5 мкм обычно в срастаниях с Au, Bi, Bi-Te (рис. 4). В редких индивидуальных зёрнах присутствуют только Au и Sb, что позволяет относить их к ауростибиту.

Минеральные фазы Bi: висмут – преобладающий в составе двух- и трёхфазных сростков с Au и «ауростибитом-Bi» В единичных случаях включает в себя фазы состава Bi-Te (Bi_2Te ?, Bi_7Te_2 ?), фаза состава Bi-O в срастании с самородным Au, редко в виде тонких индвидуальных зёрен.

Сульфиды представлены узким кругом минералов и в подчиненном количестве. В кварцевой жиле установлены: пирротин, арсенопирит, герсдорфит, кобальтин, сфалерит, халькопирит, бисмутинит (?).

Пирротин присутствует в виде тонких цепочек округлых зёрен размером до 5-10 мкм. В единичных случаях зафиксированы округлые, каплеобразные зерна пирротина с тонкими строчками халькопирита и пентландита. Отмечены сростки Au с халькопиритом. Кобальтин установлен в единичных выделениях, в кварце с пирротином, а также альмандине с пиритом. Сфалерит установлен в единичных выделениях до 10 мкм в срастании с пирротином в кварце. Выделение сульфида висмута, размером 0,6 мкм установлено в ядерной части зерна самородного висмута.

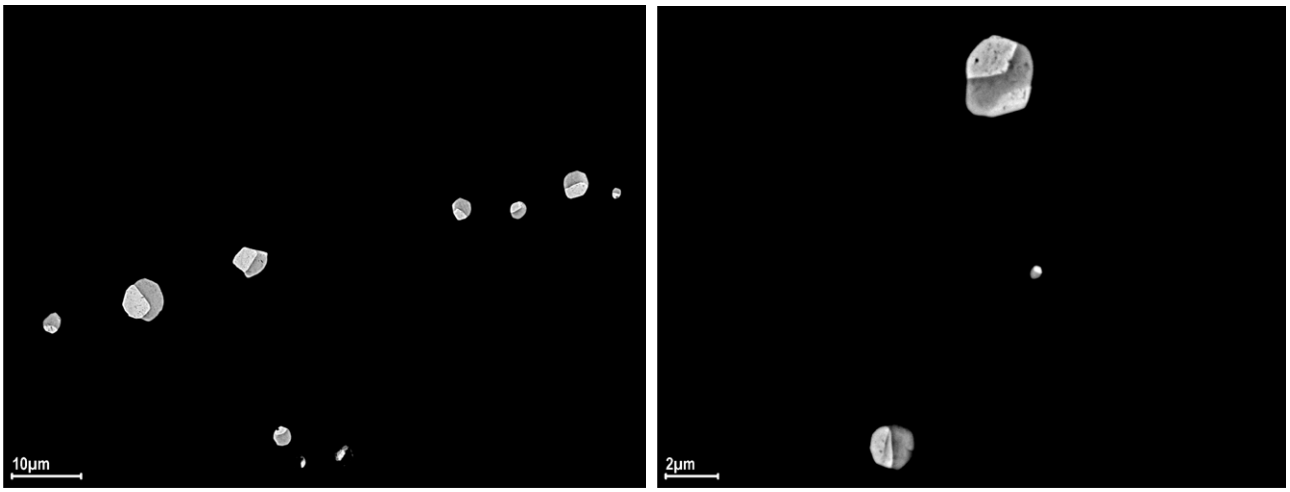


Рис. 4. Округлые двухфазные зёрна ауростибита (серое) в срастании с золотом (белое). Округлое трёхфазное зерно ауростибита (тёмно-серое), золота (серое), висмута (белое, справа вверху), и округлое двухфазное зерно золото (серое) и «ауростибита-Bi» (тёмно-серое, справа внизу).

Таблица. Состав самородного золота и висмута рудопроявления р. Подманюк, Большие Кейвы (мас. %).

Au	Ag	Bi	Sb	Cu	Сумма	Au/Ag	Проба Au
90,77	6,73	0,10	0	0	97,60	13,49	931
88,41	8,80	0	0,11	0	97,32	10,05	909
90,26	8,32	0	0	0	98,58	10,85	916
85,73	11,64	0	0	0	97,37	7,36	880
0	0	97,20	1,06	0,23	98,49	-	-

Примечания: MS-46 Cameca, аналитик Е.Э. Савченко. Не обнаружены: Fe, Ni, As, Te, Hg.

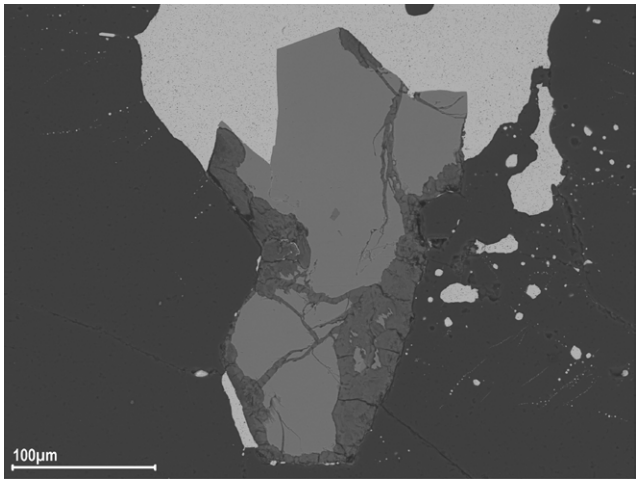


Рис. 5. Замещение арсенопирита (серое) гидроксо-сульфо-арсенатами железа (тёмно-серое), вверху - золото (светлое-серое).

Данаит (арсенопирит с высоким содержанием кобальта) установлен в единичных зернах в кварце, в ассоциации с биотитом и пирротином в виде удлиненно-призматических и ксеноморфных кристаллов до 20-50 мкм. Состав близок к стехиометрическому (мас. %): As - 46,55; Fe - 27,09; Co - 6,53; Ni - 0,76; S - 19,19 (Σ - 100,12). Примеси Au, Ag, Cu, Rh не обнаружены. Арсенопирит установлен в ксеноморфных срастаниях с золотом и индвидуальных зернах с кварцем, биотитом и пирротином, также в кристалломорфных срастаниях с герсдорфитом. В качестве вторичных минералов по арсенопириту развиваются водные гидроксо-сульфо-арсенаты железа $Fe_2(AsO_4)(SO_4)(OH)_n\ nH_2O$): питтицит, буковскит, сармиентит, туэлеит, зикаит (рис. 5).

Ранее арсенопирит с содержанием 2,1-3,01 % Co установлен в гранат-куммингтонит-кварцевых и гранулитах Кольского полуострова[1].

Обсуждение результатов

По Н.В. Петровской [7] золото с пробностью 900-950 относится к высокопробному, 800-899 – среднепробному, 799-700 – низкопробному. Исходя из этого, можно заключить, что более крупные золотины размером 100-300 мкм в данной минеральной ассоциации являются высокопробными (909-931) и среднепробными (880), характеризуются однородностью состава и низким содержанием микропримесей, Au/Ag – 7,36-13,49. Тонкое пылевидное золото – среднепробное (828-880), до низкопробного (609). В то же время, в крупных и тонких золотинах присутствуют минералы висмута, что позволяет говорить о генетических связях между крупным и тонким золотом.

Примечательны морфологические особенности рудных минералов: крупные и тонкие зёрна локализуются, как правило, внутри индивидуальных зёрен кварца. Но тонкая вкрапленность явно фиксирует микротрещины, которые обычно не выходят за их пределы (рис. 6).

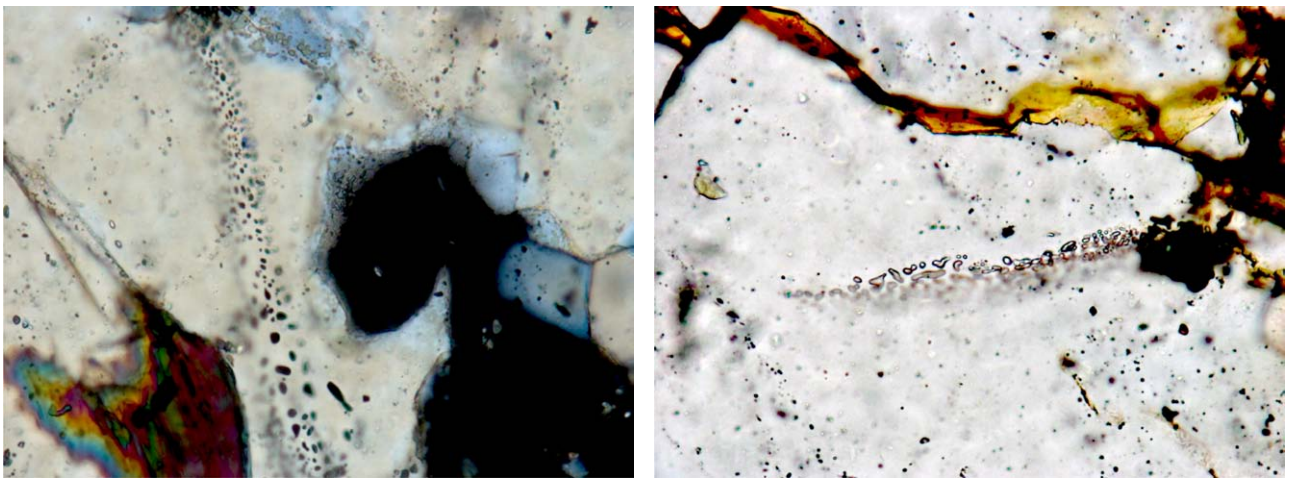


Рис. 6. Тонкая вкрапленность рудных минералов в микротрещинке зерне кварца. Газово-жидкие включения и субмикронные выделения рудных минералов в кварце (фото шлифов).

Более поздние трещины, пересекающие соседние зёрна кварца, рудной минерализации не содержат или подчёркиваются гидроксидами железа. Это позволяет предложить следующий сценарий: источником рудной минерализации был гидротермальный раствор, из которого кристаллизовался жильный кварц. Более крупное и высокопробное золото отлагалось в зальбандах жилы. Остатки рудного вещества, в тонкодисперсном виде «сбрасывались» в микротрещинки поздних зёрнах кварца. Интересна минеральная фаза состава Au-Sb-Bi. Из-за малых размеров (менее 5 мкм) её количественный анализ сделать не удалось. Но, на РЭМ-снимках она уверенно различается в сростках с самородным висмутом, золотом, и фазами состава Bi-Te. По пяти анализам установлено соотношении химических элементов в пределах (мас. %): Au – 39,1-44,4; Sb – 44,3-52,3; Bi – 16,3-14,2. Из диаграмм состояния системы Au-Sb-Bi следует, что фаза состава $Au(Sb,Bi)_2$ не кристаллизуется. Ниже 290-239°C могут сосуществовать $AuSb_2$ (ауростибит) и Au_2Bi (мальдонит). Жидкость состава Au-Sb-Bi может распадаться по двум сценариям: сурьма-золотой тренд – ниже 380°C устойчива ассоциация $Au+AuSb_2$, или висмут-золотой тренд – ниже 241°C устойчива ассоциация Au_2Bi+Bi [4]. Можно предположить, что висмут в выделениях ауростибита присутствует в виде самостоятельной минеральной фазе, но из-за наноразмерных выделений не фиксируется электронным микроскопом. Ауростибит развит во многих гидротермальных золото-сурьмяных месторождениях мира, обычно как реакционный минерал, образующий каймы вокруг самородного золота и полные псевдоморфозы при наложении поздней сурьмяной минерализации на более раннюю золотую при очень низкой активности серы и мышьяка [3].

Основными элементами, характеризующими данную минеральную ассоциацию, являются Au и Sb, с подчиненными Bi, S, Te, As, что позволяет отнести её к золото-сурьмяному минерально-геохимическому типу. Месторождения этого типа характеризуются довольно простым минеральным составом. Главный нерудный минерал – кварц, рудные минералы – высокопробное золото и сульфиды сурьмы (антимонит, бертьерит), ауростибит, самородная сурьма, блеклые руды, арсенопирит, простые сульфиды. Образование Au-Sb месторождений объясняется лёгкой растворимостью золота в Sb-содержащих растворах и наличием устойчивого комплекса $H_2AuSbS^0_3$. Нахождение Au-Sb месторождений может свидетельствовать [6], о существовании поблизости золоторудных месторождений золото-кварцевого типа, ещё не подвергшихся переработке S-Sb растворами. В нашем случае нет полной аналогии с данным типом месторождений, сульфидная ассоциация представлена ограниченно, а преобладающим минералом сурьмы является ауростибит. Присутствие арсенопирита, кобальтина и герсдорфита позволяет предполагать связь рудных гидротермальных растворов с базитовыми дайками и силлами, широко распространёнными южнее р. Подманюк.

Ранее на Кольском полуострове установлены следующие минералы сурьмы: самородная сурьма, арсенопалладинит, ауростибит, брейтгауптит, буланжерит, бурнонит, гудмундит, джемсонит, диафорит, дискразит, изомертьиит, инсизваит, мертиит-1, мертиит-2, миаргирит, пираргирит, пиростильпнит, полибазит, стефанит, тетраэдрит, ульманнит, фалькманит, физелиит, фрейбергит, фрейеслебенит, стибиотанталит, цезстибтантит [2] (всего 27 минералов из более чем 120 известных). В рудопроявлениях золото-кварцевого малосульфидного типа установлен лишь костибит [8].

Заключение

1. В кварцевых жилах р. Подманюк преобладающими являются самородные металлы и их соединения: Au (Ag 6,7-11,6 мас. %), Bi, фазы состава Au-Sb-Bi, Bi-Te и Bi-O. Минеральная ассоциация указывает на низкую температуру образования (ниже 290-239 °C) при низкой активности серы.

2. Минеральная ассоциация золота, ауростибита, висмута и минеральных фаз состава Bi-Te на Кольском полуострове установлена впервые.

3. Учитывая широкое развитие в Кейвской зоне гидротермальных кварцевых жил, в одной из которых выявлена перспективная рудная минерализация, правомерно ставить вопрос о специализированных работах по их разбраковке на безрудные и потенциально рудоносные.

Список литературы

1. Балабонин Н.Л. Минералогия и геохимия колчеданного оруденения (северо-запад Кольского полуострова). Апатиты: Изд-во КФ АН СССР, 1984. 157 с.

2. Борисова В.В., Волошин А.В. Перечень минеральных видов Кольского полуострова. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2002. 34 с.

3. Брызгалов И.А., Кривицкая Н.Н., Спиридонов Э.М. Первая находка нисбита и ауростибит в Восточном Забайкалье // Докл. АН. 2007. Т. 417. № 2. С. 229-231.

4. Диаграммы состояния металлических систем, опубликованные в 1981 году. Выпуск XXVII. Ред. Н.В. Агеев, Л.А. Петрова. М: Изд-во ВИНИТИ, 1983. 300 с.

5. Костелов Н.П., Шатнов Ю.А., Казаков Н.В. Отчет о результатах геологоразведочных работ на прозрачный и гранулированный жильный кварц на Кейвской площади (Мурманская область), 1993-1996 гг. М.: Кварцсамоцветы, 1997. 265 л. 2 кн. 1 п.

6. Некрасов Е.М. Зарубежные эндогенные месторождения золота. М.: Недра, 1988. 286 с.

7. Петровская Н.В. Самородное золото. М.: Наука, 1973. 347 с.

8. Сафонов Ю.Г., Волков А.В., Вольфсон А.А. и др. Золото-кварцевое месторождение Майское (Северная Карелия): геологические и минералогично-геохимические особенности, вопросы генезиса // Геол. руд. месторожд. 2003. Т. 45. № 5. С. 429-451.

Геохимия и петрология

НОВЫЕ ИЗОТОПНЫЕ ДАННЫЕ ПО КАРБОНАТИТАМ И АЛЬБИТИТУ МАССИВА ГРЕМЯХА-ВЫРМЕС

М.В. Грознова, Н.В. Сорохтина, В.А. Зайцев, Л.Н. Когарко, Ю.А. Костицын
Институт геохимии и аналитической химии РАН, г. Москва

Массив Гремяха-Вырмес расположен в северо-западной части Кольского полуострова. Массив вытянут в северо-западном направлении и достигает 19 км в длину и 4-6 км в ширину. Он прорывает слюдяные и олигоклазовые гранито-гнейсы основания, принадлежащие позднеархейскому Кольско-Беломорскому комплексу.

Массив представляет собой полифазную интрузию. Во время последовательных этапов внедрения расплавов сформировались следующие пространственно сопряжённые комплексы-плутоны интрузивных пород: 1) перидодитов, пироксенитов, габбро-анортозитов и акерит-пуласкитов; 2) щелочных сиенитов, щелочных гранитов; 3) нефелиновых сиенитов, ювитов, ийолитов, уртитов [1, 3]. К четвертому комплексу пород, можно отнести жилы щелочных метасоматитов и карбонатитов мощностью до десятков сантиметров, секущие породы базит-ультрабазитового и фоидолитового комплексов [4, 6]. Эти образования являются наиболее поздними фазами формирования массива. Ранее подобные породы, приуроченные к зонам вторичных тектонических нарушений, рассматривались как поздние гидротермальные жилы, связанные с регионально-метаморфическими процессами [5].

Существующие данные о возрасте пород массива Гремяха-Вырмес говорят о палеопротерозойском возрасте. Разброс возрастов составляет от 1600-1675 млн. лет (K-Ar метод [5]) до 2070±110 млн. лет (Sm-Nd метод по породам фоидолитового комплекса [2]) и 2034±46 млн. лет (Sm-Nd метод по кальцитам в карбонатитах [7]).

Для уточнения возраста карбонатитов массива мы провели изотопное исследование двух образцов карбонатитов и одного образца альбитита из керна скважины на Эгириновом Наволоке. Исследования проводились в изотопных системах Rb/Sr и Sm/Nd. В карбонатитах изучались изотопные соотношения между силикатной и карбонатной частями. Изучались изотопные соотношения в целой породе карбонатита.

Карбонатиты делились на силикатную и карбонатную часть методом химического разложения. Для этого брали навески карбонатитов от 30-50 мг. Разлагали карбонатиты в соляной кислоте (2H*HCl). Карбонатная часть породы переходит в раствор, силикатная часть породы остаётся в твёрдом состоянии. Карбонатный раствор отбирали пипеткой над силикатным осадком, не захватывая осадок. Осадок был декантирован. Силикатную часть разлагали в $HF:HNO_3$ в пропорции 5:1. Целые валовые образцы породы разлагали в смеси кислот $HF:HNO_3$ в пропорции 5:1. Отдельно добавлялись трассеры в целую, карбонатную и силикатную части. Выделение Rb, Sr, Sm и Nd осуществлялось на ионнообменных колонках. Изотопный анализ проводился на термоионизационном масс-спектрометре Tims Triton в ГЕОХИ РАН.

Sm-Nd методом для графитсодержащего карбонатита определен возраст 1922±26 млн. лет, начальное изотопное соотношение $^{143}Nd/^{144}Nd_{(T)}$ = 0.510261±18, E_{Nd} = +2.2, СКВО = 0.31 (рис. 1). Валовый состав безграфитового карбонатита и альбитита при пересчете на этот возраст показывают близкие начальные соотношения $^{143}Nd/^{144}Nd_{(T=1922Ma)}$ = 0.511591, E_{Nd} = +1.93 и $^{143}Nd/^{144}Nd_{(T=1922Ma)}$ = 0,510266, E_{Nd} = +1.91 соответственно. Rb-Sr методом для графитсодержащего карбонатита получена оценка возраста 1713±16 млн. лет, начальное изотопное отношение $^{87}Sr/^{86}Sr_i$ = 0,702619±13, СКВО = 1,11 (рис. 2). Для карбонатита без графита - 1730±16 млн. лет, начальное изотопное отношение $^{87}Sr/^{86}Sr_i$ = 0,702719±12, СКВО = 0,0023 (рис. 3). Для альбитита $^{87}Sr/^{86}Sr$ = 0,707421±26, $^{87}Rb/^{86}Sr$ = 0,50. При пересчете на Rb/Sr возраст, полученный по карбонатитам, это дает оценку $^{87}Sr/^{86}Sr_i$=0,6949, что значимо ниже, чем наблюдаемый для карбонатитов.

Изохрона (рис. 1) свидетельствует о равновесии между силикатной и карбонатной частями в карбонатите в Sm-Nd системе. По изохронам (рис. 2, 3) можно сказать, что существовало равновесие между силикатной и карбонатной частями в Rb-Sr системе. Между Sm-Nd и Rb-Sr определения возраста есть интервал 200 млн. лет. Возникает вопрос: с чем связана такая разница. Получается, что относительно Sm и Nd система была устойчивой, тогда как 1710-1730 млн. лет назад Rb-Sr система претерпела изменения, связанные с привносом Rb и Sr. Связано это с наложенным метаморфизмом около 1750 млн. лет назад, который широко проявлен на территории Кольского полуострова.

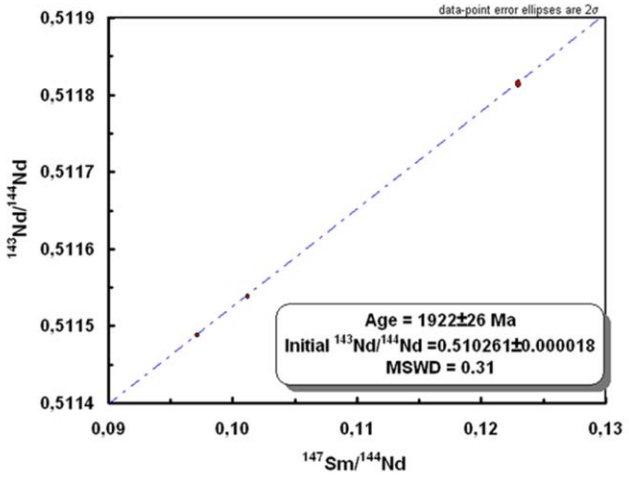


Рис. 1. Изохрона для образца графитсодержащего карбонатита массива Гремяха-Вырмес.

Список литературы

1. Арзамасцев А.А., Беа Ф., Арзамасцева Л.В. и др. Редкоземельные элементы в породах и минералах щелочных интрузий Кольского полуострова как индикаторы эволюции щелочных расплавов // Российский журнал наук о Земле. 2002. Т. 4. № 3. С. 3-24.

2. Карпенко С.Ф., Когарко Л.Н. Источний протеро-

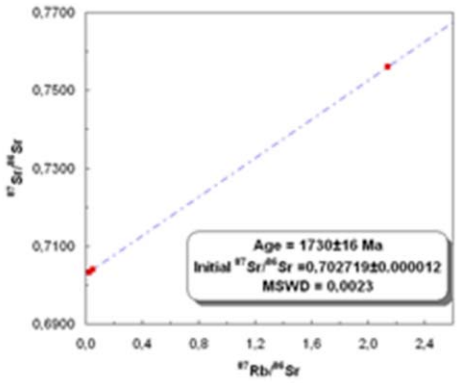


Рис. 2. Rb/Sr изохрона для карбонатита без графита массива Гремяха-Вырмес.

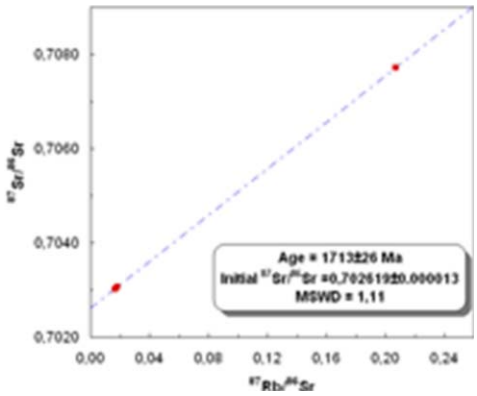


Рис. 3. Rb/Sr изохрона для графитсодержащего карбонатита массива Гремяха-Вырмес.

зойского щелочного магматизма Восточной части Балтийского щита. М.: Наука, 1998. 250 с.

3. Кухаренко А.А., Булах А.Г., Ильинский Г.А. и др. Металлогенические особенности щелочных формаций восточной части Балтийского щита // Труды Ленинградского общества естествоиспытателей. Т. 72. Вып. 2. Л.: Недра, 1971. 280 с.

4. Осокин А.С. Размещение и вещественный состав апатит-титаномагнетит-ильменитовых руд массива Гремяха-Вырмес. Апатиты: Изд-во КФ АН СССР, 1987. 90 с.

5. Полканов А.А., Елисеев Н.А., Елисеев Э.Н. и др. Массив Гремяха-Вырмес на Кольском полуострове. М.-Л.: Наука, 1967. 236 с.

6. Саватенков В.М., Пушкарев Ю.Д., Сергеев А.В. и др. Карбонатиты Гремяхи-Вырмес как индикатор новой рудной специализации массива (Россия) // Геология рудных месторождений. 1999. Т. 41. № 5. С. 449-454.

7. Саватенков В.М., Сулимов Р.Б., Гончаров Г.Н. и др. Sm-Nd, Rb-Sr и Pb-Pb изотопные систематики базит-гипербазитов в массиве Гремяха-Вырмес: роль корово-мантийного взаимодействия при магмогенерации и рудообразовании // Зап. ВМО. 1998. № 5. С. 15-25.

ОБ ЭФФЕКТЕ ЗЕРКАЛЬНОГО ОТРАЖЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ УПРУГОЙ СИММЕТРИИ В СИСТЕМЕ «КСЕНОЛИТ – ВМЕЩАЮЩАЯ ПОРОДА»

В.Л. Ильченко
Геологический институт Кольского НЦ РАН, г. Апатиты, e-mail: vadim@geoksc.apatity.ru

Сопоставлением упругих характеристик смежных образцов ксенолитов и вмещающих пород установлено зеркальное отражение пространственного расположения элементов упругой симметрии ксенолита во вмещающей породе, что свидетельствует о контролирующем динамическом влиянии со стороны ксенолита на формирование во вмещающей породе анизотропии упругих свойств в период её остывания. Возможная причина возникновения зеркальности в паре «ксенолит - вмещающая порода»: действие в приграничной области ксенолита системы поляризованных стоячих волн, генерируемых акустической эмиссией по мере его остывания. Поляризация системы стоячих волн, контролирующей структурообразование остывающей вмещающей породы, обусловлена упругой симметрии ксенолита.

До недавнего времени на ксенолиты с относительно небольшой глубины (то есть «не мантийного» происхождения), встречающиеся в магматических породах, не обращалось особого внимания. При геологической съёмке и картировании обычно отмечалось их присутствие, размеры и минеральный состав. Ни в одном учебнике по геологии, геологической съёмке, картированию и поискам полезных ископаемых (в этой связи испытано 8 книг разных, в т.ч. зарубежных авторов; самая «свежая» из них [5]) нет почти никакой информации. После того, как на тему о всестороннем изучении ксенолитов обратил внимание РФФИ (грант №-07-05-00100а), были отобраны и затем исследованы акусто-поляризационным [1] методом породы (коллекция из >100 шт., ориентированных образцов, в т.ч. довольно много ксенолитов) из обнажений нижнего расслоенного горизонта (НРГ) Западно-Панского массива [4]. Здесь, помимо прочего, был установлен феномен зеркального отражения пространственного расположения элементов упругой симметрии ксенолита во вмещающей породе.

Минерагенический аспект, затрагивающий предпочтительные направления роста и ориентировки породообразующих минеральных зерен, часто бывает обусловлен влиянием структурного контроля. Целью настоящей работы является пополнение известного набора критериев структурного контроля в процессах минерагении новой информацией об упорядочении в кристаллизующихся системах типа «ксенолит - вмещающая порода» пространственных соотношений их элементов упругой симметрии.

Отбор ориентированных образцов из поверхностных обнажений НРГ Западно-Панского массива (г. Восточный Киевей) осуществлялся попарно: «ксенолит – вмещающая порода». Из образцов выпиливали (с сохранением пространственной ориентировки) прямоугольные параллелепипеды (кубы) размером ребра 30-35 мм. Затем образцы изучали акустополяризационным (ультразвуковой аналог оптического поляризационного) методом [1], на основании измерений строили круговые диаграммы, отражающие вариации затухания амплитуды зондирующего ультразвукового сигнала – акустополяриграммы, по которым определяли пространственное положение элементов упругой симметрии образцов. Затем измеряли и вычисляли скорости распространения в образцах поперечных (V_s) и продольных (V_p) волн. Значения скоростей, для удобства восприятия, собраны в т.н. «квазиматрицы» - V_{ij} (таблица), где по диагонали стоят значения для V_p, а «по сторонам» - значения для V_s, где первый подстрочный символ означает направление озвучивания, второй - ориентировку (на номер грани образца) плоскости поляризации. Затем, по полученным скоростям вычисляли коэффициенты анизотропии упругих свойств образцов для V_p (A) и V_s (B) волн. Пространственное положение главной плоскости упругой симметрии определялось по совокупности пар максимальных значений скоростей распространения V_s в соответствии с положением проекций элементов упругой симметрии на поверхностях образцов. Плотность образцов определяли методом Архимеда. Вся информация представлена в таблице.

Первичный анализ табличных данных позволяет сказать, что в большинстве случаев показатели анизотропии упругих свойств (A или B) ксенолитов превышают (иногда значительно: образцы 1-08, 6-08, 8-08, 12-08) аналогичные показатели вмещающих пород. В образцах №№ 16-08, 20-08 показатели анизотропии вмещающей породы выше. Плотности ксенолитов и вмещающих породы мало отличаются.

Парным сравнением пространственного положения элементов упругой симметрии «ксенолит – вмещающая порода» установлено (рис. 1) следующее. В большинстве случаев, в 2-х из 3-х одноименных направлений (парах граней) образцов наблюдается эффект зеркальной симметрии [7] или двойной инверсионной оси (направления 1 и 2, рис. 1), выраженный в положении проекций элементов упругой симметрии на одноименных гранях. При этом, как правило, положения проекций элементов упругой симметрии «ксенолит – вмещающая порода» на одноименных гранях в одном из направлений совпадают (направление 3, рис. 1). Элементы упругой симметрии ксенолита и вмещающей породы совпадают также с положением двойной инверсионной оси, расположенной нормально или субнормально к поверхности корки закаливания ксенолита (на рис. 1 двойная инверсионная ось проходит в направлении 3).

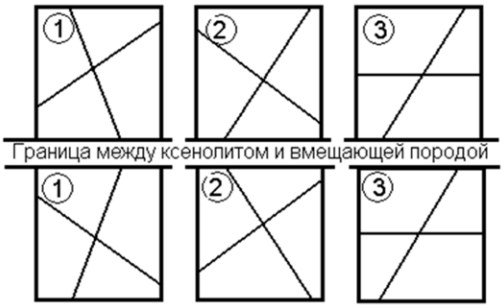


Рис.1. Типичное положение проекций элемен-тов упругой симметрии (тонкие скрещенные линии) в парах «ксенолит - вмещающая поро-да». В кружках – номера граней (направления прозвучивания).

Совпадение положения главных плоскостей упругой симметрии в паре «ксенолит – вмещающая порода» установлено лишь в одном случае (пара: 19-08 (слабо анизотропный) и 20-08 (сильно анизотропный). Значения этого по-казателя в остальных парах образцов сильно варьируют.

Помимо пар «ксенолит – вмещающая порода» была изучена пара одинаково ориентированных образцов (21-08, 22-08) из одного габбро-анортозитового штуфа (между ними 2-3 см), взятого из «расслоенного» участка. Эта расслоенность, видная невооруженным глазом с расстояния в несколько мет-ров, вблизи похожа на шахматную доску с ритмичным чередованием в «слоях» тёмных и светлых участков. Показатели анизотропии и плотности этих образцов весьма близки, но ориентировки их плоскостей упругой симметрии различаются существенно. Элементы упругой симметрии здесь совпадают с границами скоплений темноцветных минералов (вторичные амфибол и хлорит). Выглядит всё это так (в т.ч. и в шлифах), словно в зону дробления метабазитов внедрился анортозитовый расплав и каждый темноцветный фрагмент в теле габбро-анортозитов также может считаться ксенолитом.

Описанный выше эффект зеркальной симметрии (или двойной инверсионной оси симметрии), связывающий пространственные ориентировки элементов упругой симметрии пары образцов горных пород в систему «ксенолит – вмещающая порода», ранее никем не фиксировался и, по-видимому, нуждается в объяснении.

В ситуации, когда «расплавом», лишённым какой-либо определенной структуры, захватывается ксенолит, который является твёрдым телом и, скорее всего, обладает определённой анизотропией упругих свойств, логичным будет предположение, что именно упругие характеристики этого ксенолита каким-то образом зеркально отразились во вмещающей породе. Влияние ксенолита, как источника сил, контролирующих структурообразование окружающей среды, могло начаться с момента уравнивания его температуры с температурой расплава и продолжалось в течение всего периода остывания и кристаллизации окружающего расплава. Наиболее вероятным агентом силового воздействия в данной ситуации будут выступать генерируемые остывающим ксенолитом упругие колебания. Это предположение можно считать вполне правомочным, поскольку все нагретые тела, остывая, проявляют эффект акустической эмиссии (АЭ). Простой пример: выключение электронагревательного прибора (утюга, паяльника, электроплитки и т.д.) в течение некоторого времени сопровождается ритмичными щелчками.

Таблица. Упругие и плотностные свойства образцов ксенолитов и вмещающих пород с поверхности Западно-Панского массива (НРГ, г. Восточный Киевей).

№ пп	№ образца	Название породы	Квазиматрица скоростей, (км/с) V_{ij} = $V_{11}V_{12}V_{13}$ $V_{21}V_{22}V_{23}$ $V_{31}V_{32}V_{33}$	Пространственное положение главной плоскости упругой симметрии: $А_{пд}^{0}$ / $Угол_{пд}^{0}$.	Показатели анизотропии: А, % В, %	Плотность, г/см^3
1	2	3	4	5	6	7
1	1-08-кс	Ксенолит, габбронорит с сульфидами.	2,22 2,83 3,09 2,80 2,71 2,91 2,99 3,18 5,23	130 /45	67,38 9,54	2,87
2	1-08	Габбронорит с сульф., вмещающий для 1-08-кс.	6,00 3,53 3,53 3,50 6,01 3,50 3,56 3,53 6,02	215 /50	0,23 0,4	2,86
3	2-08-1	Габбро, вмещающий для обр. 2-08-2).	6,21 3,55 3,43 3,51 6,15 3,51 3,49 3,47 5,96	0 / 0	3,02 3,45	2,76
4	2-08-2	Ксенолит, габбро-анортозит, в обр. 2-08-1.	3,31 3,56 3,56 3,61 6,38 3,60 3,59 3,53 6,05	225 / 15	3,93 0,56	2,78
5	6-08*	Ксенолит метагаббро (в обр. 7-08)	1,59 2,99 2,95 3,09 5,08 2,81 - - -	310 / 25	- -	3,00
6	7-08	Габбронорит, вмещающий для обр. 6-08.	5,07 3,04 2,92 2,97 4,66 2,75 3,17 2,99 2,30	160 / 65	52,72 8,74	3,11
7	8-08	Ксенолит, габбронорит в обр. 9-08.	5,42 3,09 3,16 4,12 7,18 4,23 3,72 3,69 6,41	145 / 60	19,70 3,47	2,91
8	9-08	Габбронорит, вмещающий для обр. 8-08	5,93 3,49 3,38 3,49 5,82 3,47 3,45 3,46 5,77	310 / 65	1,98 3,25	2,88
9	10-08	Ксенолит, габбронорит с сульфидами.	6,10 3,62 3,61 3,75 6,43 3,63 3,71 3,61 6,05	315 / 30	4,72 3,32	2,97
10	11-08	Габбронорит, вмещающий для обр. 10-08.	6,37 3,80 3,72 3,73 6,48 3,84 3,65 3,84 6,59	15 / 65	2,40 3,51	3,04
11	12-08	Ксенолит, габброанортозит.	5,87 3,45 3,47 3,25 5,04 3,16 3,43 3,35 5,64	80 / 50	10,98 2,93	2,92
12	13-08	Габбронорит, вмещающий для обр. 12-08.	6,48 3,75 3,71 3,75 6,27 3,97 3,76 3,69 6,36	170 / 35	2,34 5,82	2,89
13	15-08	Ксенолит, габбронорит, краевая часть.	4,76 3,26 3,11 2,97 5,09 3,26 3,20 3,26 5,10	155 / 60	5,50 10,42	2,95
14	16-08	Метагаббро, вмещающее для обр. 15-08.	5,86 3,32 3,38 3,44 3,74 3,38 3,38 3,41 5,76	350 / 65	33,04 2,48	2,78
15	18-08-1	Габбронорит с/з, вмещающий для обр. 18-08-2.	6,35 3,82 3,72 3,63 6,19 3,60 3,64 3,75 6,40	300 / 30	2,46 2,71	3,09
16	18-08-2	Ксенолит м/з, габбронорит.	5,84 3,53 3,40 3,58 6,15 3,73 3,43 3,37 5,96	320 / 45	3,70 5,19	3,01
17	19-08	Ксенолит м/з, габбронорит.	5,89 3,52 3,49 3,54 6,15 3,54 3,50 3,61 6,05	160 / 80	3,08 0,54	2,98
18	20-08	Габбронорит с/з, вмещающий для обр. 19-08.	5,12 3,55 3,36 3,48 5,43 3,52 3,34 3,40 6,68	160 / 80	20,35 5,59	3,03

19	23-08-1	Ксенолит, пироксенит, краевая часть.	6,03 3,32 3,44 3,75 6,57 3,64 3,87 3,62 6,67	250 / 80	$\frac{7,58}{4,73}$	3,75
20	23-08-2	Габбронорит, вмещающий для обр. 23-08-1.	6,79 3,90 3,97 3,99 6,71 3,99 3,93 3,98 6,95	210 / 60	$\frac{2,53}{1,73}$	3,17
21	21-08	Габброанортозит пятнистый, расслоенный.	5,58 3,32 3,32 3,81 5,94 3,43 3,43 3,50 6,02	240 / 50	$\frac{5,67}{3,52}$	2,85
22	22-08	Габброанортозит пятнистый, расслоенный.	5,47 3,39 3,29 3,27 5,85 3,33 3,34 3,39 5,98	350 / 25	$\frac{6,50}{3,47}$	2,84

*обр. 6-08 самый анизотропный в коллекции, в направлении 3 он не проводит ультразвук.

В подкрепление вышесказанному: в работе [2] предложена теоретическая модель акустического эффекта кристаллизации (АЭК), основанная на представлении о скачкообразном характере образования или исчезновения макрослоев и макрообластей на растущей (или плавящейся) поверхности. Согласно этой модели, картина колебаний в основных чертах воспроизводит форму сигналов, наблюдаемых в экспериментах, где частота колебаний жидкости (расплава) определяется частотой возникновения скачков на фронте кристаллизации. В работе [3] рассмотрен другой механизм возникновения АЭК, в основе которого лежит представление о возможном усилении волн, распространяющихся в жидкости и в кристалле при движении границы их раздела.

В работе [6], которая представляет собой весьма серьёзный критический обзор мнений выдающихся современных физиков и рассматривает роль различных физических неформальных аргументов, используемых при выводе геометрического закона преломления на границе двух сред, автор приходит к выводу, что в периодически неоднородной среде, существующей в приграничных условиях, не может быть бегущих волн, т.е. здесь все волны стоячие.

Если рассматривать остывающий ксенолит в качестве источника упругих колебаний, а окружающую ксенолит среду (остывающий расплав), как периодически неоднородную (а никакой другой она быть не может), то, в соответствии с вышесказанным, можно прийти к выводу о том, что генерируемые ксенолитом упругие волны, попадая в периодически неоднородную среду, неизбежно трансформируются в пакеты стоячих волн. При этом генерируемые ксенолитом колебания могут быть поляризованными (в соответствии с пространственным положением его элементов упругой симметрии). Остывание и кристаллизация расплава в поле действия окружающей ксенолит системы поляризованных стоячих волн, сохраняющих в своей конфигурации «память» о геометрии пространственных ориентировок элементов упругой симметрии ксенолита, может приводить к возникновению в новообразованной породе элементов упругой симметрии, зеркально отражающих элементы упругой симметрии ксенолита.

Симметричность, характеризующая расположение в пространстве элементов упругой симметрии в смежных образцах ксенолитов и вмещающих пород, обусловлена динамическим взаимодействием между веществом ксенолита и вмещающей породы. Упругие колебания, сопровождающие остывание ксенолита, могут трансформироваться в системы стоячих волн, которые, по-видимому, способны сохранять информацию о структурных особенностях и пространственном расположении элементов упругой симметрии ксенолита. Эта информация может заключаться в ориентировках пакетов стоячих волн (вероятно, здесь поляризованность АЭ колебаний также имеет значение) и находить своё структурное отражение в новообразованной породе, которая зеркально наследует геометрию элементов упругой симметрии ксенолита. Более обстоятельное и строгое объяснение механизма возникновения в образцах зеркальных симметричных эффектов требует проведения дополнительных экспериментальных исследований.

Автор признателен сотрудникам Геологического института Кольского НЦ РАН: П.В. Припачкину, Т.В. Рундквист, Ф.Ф. Горбацевичу, Д.А. Габову и студентам Апатитского филиала МГТУ В.В. Бочковому и А.Ю. Севостьянову.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, грант №-07-05-00100-а.

Список литературы

1. Горбацевич Ф.Ф., Головатая О.С., Ильченко В.Л. и др. Упругие свойства некоторых образцов пород по разрезу Кольской сверхглубокой скважины (СГ-3), определенные при атмосферных условиях и условиях «in situ» // Физика Земли. 2002. № 7. С. 46-55.

2. Жекамухов М.К., Шокаров Х.Б. О механизме возникновения акустической эмиссии при кристаллизации и плавлении вещества. I часть // Инженерно-физический журнал. Минск, 2000. Т. 73. № 5. С. 1064-1072.

3. Жекамухов М.К., Шокаров Х.Б. О механизме возникновения акустической эмиссии при кристаллизации и плавлении вещества. II часть // Инженерно-физический журнал. Минск, 2000. Т. 73. № 5. С. 1073-1079.

4. Ильченко В.Л. Петрофизические особенности нижнего расслоенного горизонта Панского массива (Кольский полуостров) // Связь поверхностных структур земной коры с глубинными. Матер. 14-й межд. конф. Петрозаводск: Изд-во КарНЦ РАН, 2008. Ч. 1. С. 233-236.

5. Короновский Н.В., Старостин В.И., Авдонин В.В. Геология для горного дела. М.: ИЦ «Академия», 2007. 576 с.

6. Раутиан С.Г. Об отражении и преломлении на границе среды с отрицательной групповой скоростью // Успехи физических наук. 2008. Т. 178. № 10. С. 1017-1024.

7. Шубников А.В., Копцик В.А. Симметрия в науке и искусстве. М.: Наука, 1972. 340 с.

КАРБОНАТ-СИЛИКАТНЫЕ ПОРОДЫ КАК ИСТОЧНИК АЛМАЗООБРАЗОВАНИЯ В ХИБИНАХ

В.К. Каржавин
Геологический институт КНЦ РАН, г. Апатиты, e-mail: karzhavin@geoksc.apatity.ru

В течение длительного времени среди исследователей мантийная гипотеза алмазообразования (высокобарическая) в природных условиях считалась наиболее предпочтительной. Причиной этому явилась расчетная работа О.И. Лейпунского (рис. 1) [12], а впоследствии уточненная диаграмма Р-Т условий образования алмаза была опубликована (рис. 2) другими авторами [27, 29]. По результатам расчетов, выполненных в этих работах, можно определить параметры образования алмаза, при условии, если исходным веществом является графит, но не углеродсодержащие вещества. Теоретические выводы о необходимости высоких давлений для образования алмаза нашли широкое практическое применение.

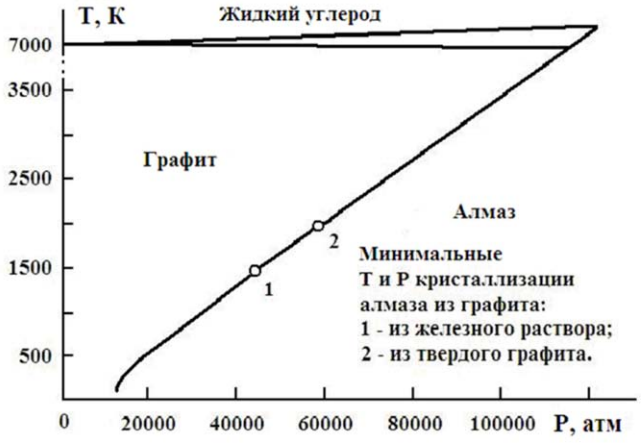


Рис. 1. Диаграмма графит-алмаз.

Механизм образования различных видов углеродсодержащего вещества определяется рядом факторов, среди которых наиболее важными признаны Р – Т условия, агрегатное состояние среды кристаллизации, вид источника углерода, наличие физических полей [26]. При этом по одному и тому же механизму могут образоваться различные виды углерода. Причиной этого являются кинетические параметры: динамика Р – Т условий, концентрация исходных веществ, наличие катализаторов, химизм среды. Результаты экспериментальных исследований позволили установить, что образование углеродсодержащих веществ (и алмаза), согласно многочисленным механизмам, возможны в широком диапазоне термодинамических параметров: давления и температуры - от 10^{-7} до 10^{6} бар и от 20 до 4000°С [26], а взрывных (детонационных) алмазов при давлении до 150000 бар [21]. Экспериментальным путем также установлено, что газофазный синтез алмазов имеет несколько иные параметры: от 10^{-3} до 2500 бар и в интервале температур 600 - 2500°С [2, 4].

В отличие от экспериментальных установок, образование алмаза в природных условиях протекает в течение длительного времени и связано с различными преобразованиями в земной коре. Поэтому изучение проблемы алмазообразования в природных условиях невозможно без детального изучения особенностей формирования объекта исследования. В связи с этим необходим анализ геологической обстановки, петрологические и минералогические исследования, а также определение термодинамических особенностей условий углеродной кристаллизации.

Исследованиями алмазоносных пород было установлено отсутствие какой-либо взаимосвязи углерода алмазов с геохимическими элементами (Na_2O, K_2O, SiO_2, $A1_2O_3$, CO_2, MgO, CaO и др.) [26]. Вместе с тем, отмечена положительная корреляция между содержанием свободного углерода с количеством P_2O_5 и Fe_2O_3. Действительно, в углеродсодержащей среде отмечается присутствие фосфорсодержащих соединений, которые, как предполагают, являются катализаторами. Корреляция углерода с окисным и закисным железом, очевидно, связана с окислительно-восстановительными условиями в момент образования свободного и связанного углерода [23].

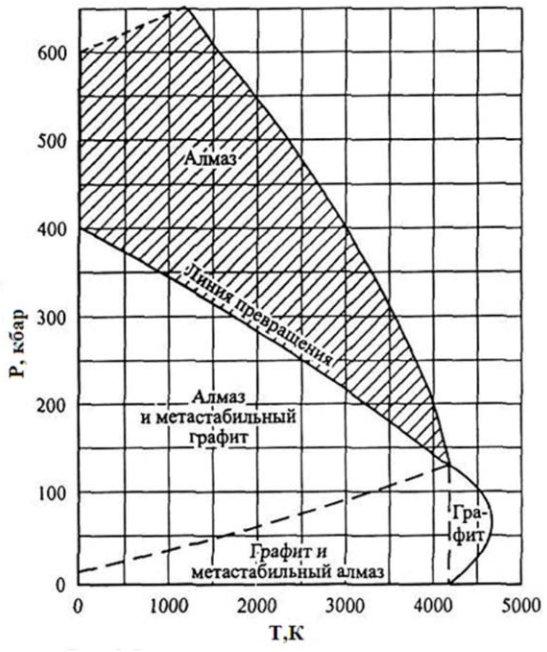
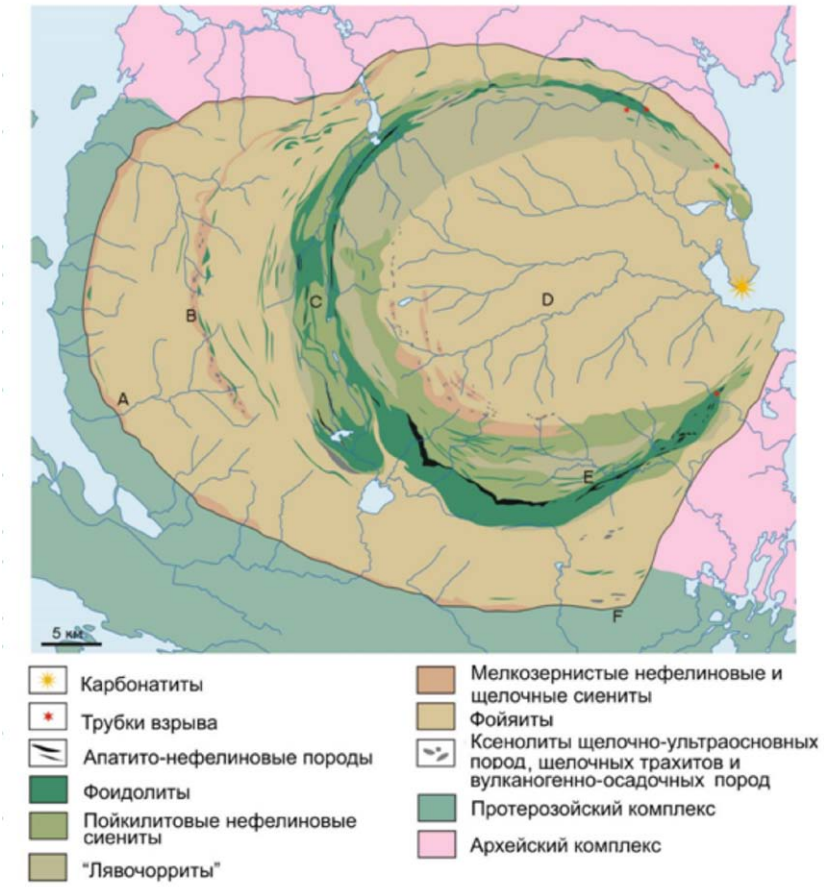


Рис. 2. Фазовая диаграмма состояния углерода.

По предположениям В.С. Петрова [17] синтез алмаза в метастабильной области из углеродсодержащих соединений (карбонатитов) протекает с участием свободного углерода по следующей схеме: карбонат → CO_2 → CO → C→ алмаз и при определенных окислительно-восстановительных условиях. Поэтому среди немагматических алмазоносных объектов наиболее высокоалмазоносными и перспективными для промышленного использования являются относительно высокоуглеродные метаморфические с проявлениями интенсивного алмазообразующего метасоматоза.

В некоторых интрузивных комплексах и связанных с ними рудных образованиях с различной интенсивностью проявлены разнообразные постмагматические минеральные и химические преобразования [1, 14, 15, 20, 24]. Экспериментальные работы подтвердили возможность синтеза и роста алмазов за счет углерода карбонатов в присутствии некоторых оксидов[13, 16, 31]. Данная ситуация и предопределила необходимость изучения проблемы возможного алмазообразования в карбонат-силикатных, флюидно-карбонатитовых и щелочно-карбонатных многокомпонентных системах. Детальное исследование термодинамических и физико-химических условий развития постмагматического минералообразования в таких сложных природных образованиях, при участии флюида различного состава, позволит установить последовательность формирования рудных и породообразующих минеральных парагенезисов. Это может быть принципиально новая, достаточно обоснованная информация о возможных условиях образования алмаза с более углубленным пониманием природы этих процессов в сложной природной системе.

Щелочные породы принято считать концентраторами крупных скоплений углеродсодержащего вещества. Например, в пегматитах Хибин [26] его источником являются продукты распада углеводородов из вмещающих пород и разложения оксидов углерода. Кроме того, во многих разновозрастных массивах Кольского полуострова, подверженных метаморфическим преобразованиям, установлено присутствие различных углеродсодержащих соединений [25]. Минералогия углерода характеризуется широким распространением углеродсодержащих соединений, и являются следствием модификаций углерода по отношению к протекающим геологическим процессам. В породах углеродисто-сульфидного генетического типа отмечена положительная корреляция содержаний углеродистого вещества с суммарным количеством сульфидов, причем, при преобладании последних.



На протяжении многих лет в Геологическом институте КНЦ РАН проводилось изучение газовой составляющей и органического вещества пород Хибинского массива [7, 8, 18, 19 и др.]. Установлено, что присутствие тех или иных форм связанных соединений углерода, серы, азота говорит об определенных физико-химических условиях и специфичности газовой фазы расплава в предкристаллизационный период. Формирование щелочных пород и минералов, по данным Л.Н. Когарко [11], могло протекать только в восстановительных условиях, т.е. при низкой величине парциального давления кислорода. Определенные P, T и восстановительные условия среды способствовали синтезу и сохранению углеводородных газов и рассеянного (дисперсного) битуминозного вещества нафтоидного типа сложного состава наряду с водородом, аморфным углеродом и другими органическими соединениями. Их образование осуществлялось в процессе дифференциации, кристаллизации магм и последующего метаморфизма. При этом не исключалась возможность образования как простых, так и сложных органических веществ, в том числе и элементоорганических соединений [4, 6]. Такие процессы в природных средах обычно протекают как в равновесных, так и неравновесных условиях, причем щелочи рассматриваются как катализаторы [21], а также в роли ингибиторов [9].

Моделирование на ЭВМ геохимических процессов служит не просто способом наглядного и достоверного отображения фактических данных, но и является инструментом получения новой информации о процессах, конечные результаты которых мы видим в геологических объектах на современном этапе. В качестве объекта исследования были выбран карбонатитовый шток Хибин (рис. 3) [5], расположенный в восточной части Хибинского массива (рис. 4). Это уникальное образование в геологическом, геохимическом и минералогическом аспектах. Исходными данными для модельных исследований были результаты химического анализа образца из керна, взятого с глубины

439 м (обр. 6). Данные химического анализа этого образца, его минеральный состав – необходимые условия оценки поведения состава твёрдой и флюидной фаз в зависимости от давления и температуры среды.

Результаты исследования методом физико-химического моделирования позволяют установить разнообразие факторов, влияющих на процесс образования и эволюцию минералов, минеральных ассоциаций и флюида в природном процессе. Расчёт векторного состава независимых компонентов мультисистем проводится путём перерасчёта результатов химического анализа на их мольное содержание в 1 кг породы (табл. 1).

Таблица 1. Химический анализ и состав независимых компонентов мультисистемы.

Состав	Анализ № 6 (r=0.8 км, h= 439 м)			
	масс.%	к 100%	моль/кг	[O]
SiO_2	40.00	40.20505	6.69143	13.38288
TiO_2	1.11	1.11569	0.13969	0.279391
Al_2O_3	15.31	15.38848	3.01849	4.52774
Fe_2O_3	2.64	2.65353	ΣFe 1.34105	0.49851
FeO	7.21	7.24696		1.0087
MgO	3.67	3.68881	0.91524	0.91524
CaO	8.93	8.97577	1.60061	1.6006
Na_2O	6.00	6.03076	1.94608	0.97305
K_2O	4.40	4.42256	0.93902	0.46951
H_2O	0.10	0.100513	0.11157	0.05579
P_2O_5	0.80	0.8041	0.1133	0.28324
CO_2	5.83	5.85989	1.3315	2.663
SO_2	2.49	2.5028	0.39068	0.78136
F	1.00	1.00513	0.52904	
∑	99.49	100		27.43901

Для исследования были созданы мультисистемы, в которых присутствовали независимые компоненты (элементы): Si-Ti-Al-Fe-Mg-Ca-Na-K-P-F-H-C-O-S. Расчётная матрица мультисистемы представлена 35 зависимыми компонентами (минералы и химические соединения). Многокомпонентная и многофазная среда в составе мультисистем состояла из химически различных соединений, соответствующих карбонатно-силикатным породам, опубликованным в [5, 22]. В образовании минералов при магматических, метаморфических, метасоматических, гидротермальных и рудообразующих процессах практически всегда участвует флюидная фаза, сложенная легколетучими компонентами, среди которых главная роль принадлежит соединениям водорода, кислорода, углерода, серы, реже азота и других компонентов. Поэтому состав флюидной фазы был представлен следующими газообразными компонентами: H_2O, H_2, O_2, CO, CO_2, H_2S, SO_2, S_2, CH_4. Численная реализация моделей проводилась методом минимизации свободной энергии Гиббса [10]. Это позволяет получить реальное представление об эволюции фазовых составов системы, P-T условиях образования и

Рис. 4. Вид Хибинского массива.

существования минеральных ассоциаций в сложной природной системе. Для термобарометрических расчетов, с целью оценки P-T параметров природной системы через константы равновесия химических реакций, протекающих в ней как функция температуры и давления, был использован метод TWQ [28].

По результатам химического анализа исходное содержание диоксида углерода в исследуемом природном образце составляет 5.83 масс.% (или 1.3315 моль/кг углерода). Однако его содержание может быть значительно выше [25]. Поэтому для расчета в мультисистемы вводилась концентрация углерода, отличная от исходной (до 6.6575 моль/кг). Физико-химическое моделирование мультисистем проводились при следующих термодинамических параметрах: температура - в пределах до 1100^{0}C (через 200^o), давление – 1, 5 и 10 кбар. Полученные результаты (фазовый и минеральный состав, парциальное давление компонентов флюида) представлены только для минералов при 500, 700 и 900^{o}C в виде таблиц (табл. 2-4). Из них следует, что алмазообразование в исследуемой системе реально при определенных условиях: наличие определенной концентрации углерода, восстановительная среда и соответствующие давление и температура (в порядке важности). Отсутствующие минералы при температурах, представленных в таблицах, присутствуют в тех или иных концентрациях при 300, 500 или 1100^{o}C. Оперируя температурой, давлением и содержанием углерода в мультисистемах, установлено, что образование алмаза осуществляется параллельно с кристаллизацией свободного углерода из карбонатов. Образование алмазов предпочтительней при относительно низких величинах давлений, температур и восстановительных условиях среды.

Оценка температуры и давления среды (термобарометрический расчёт), при которых происходило образование минералов, является важной задачей для прогнозирования протекающих в природных условиях постмагматических (метаморфических) процессов. Для данной цели исследуется химический состав совместно присутствующих минералов. При традиционном подходе в расчётах обычно учитывается только часть химических соединений, которые могут принимать участие в реакциях. Правильность выбора количества компонентов в системе должна обеспечить возможность составления всех реакций, которые позволят получить объективную информацию. В этой связи привлекательным является метод TWQ, с помощью которого равновесное состояние в исследуемом объекте может быть оценено сравнением положения всех равновесий, протекающих в данной системе, и позволяющий осуществлять расчёт давления и температуры по данным химического состава всех присутствующих фаз.

При наличии равновесия в исследуемой системе расчётные кривые констант равновесия должны пересечься на P-T плоскости в одной точке. Если система является неравновесной, то на P-T плоскости за счёт смещения кривых констант равновесия образуется некоторая область, размеры которой пропорциональны степени отклонения системы от состояния равновесия или полностью отсутствуют признаки пересечения кривых. Проведенное исследование методом TWQ позволило установить полное отсутствие каких-либо пересечений кривых констант равновесия химических реакций. Это позволяет считать, что образование алмаза и кристаллизация свободного углерода осуществляется в условиях неравновесности. Анализ результатов расчета систем, содержащих различные комбинации минералов, показал, что карбонаты являются источником образования алмаза и кристаллизации свободного углерода (для углерода реакции аналогичны представленным и поэтому не приведены)*:

Cal + Qtz = **Dia** +Wo + O_2

6 Cal + 2 Alm = **Dia** + 2 Mag + 2 Grs + 5 CO_2

6 Cal + 2 Alm + 3 Qtz = 6 **Dia** + 2 Grs + 3 Fa + 6 O_2

6 Cal + 12 Qtz + 2 Mag = 6 **Dia** + 6 Hd + 7 O_2

12 Cal + 4 Alm = 3 **Dia** + 6 Hem + 4 Grs + 9 CO_2

2 Mst + aQz = **2 Dia** + Fo + 2 O_2

2 Mgs + 6 Alm + 12 Acm = 2 **Dia** + Fo + 10 Mag + 12 Ne + 29 Qtz

2 Mgs + 6 Fa = 2 **Dia +** 5 Qtz + 4 Mag + Fo

4 Mgs + 2 Fa = **Dia** +2 Hem + 2 Fo + 3 CO_2

6 Mgs + 3 Fa = **Dia** + 2 Mag + 3 Fo + 5 CO_2

10 Mgs + 4 Acm + 2 Alm = 10 **Dia** + 4 Ne + 5 Fo + 5 Fa + 11 O_2

12 Mgs + 4 Ann = 12 **Dia** + 6 Hem + 4 Phl + 9 O_2

16 Mgs + 4 Acm + 2 Grs = 10 **Dia** + 4 Ne + 8 Fo + 2 Fa + 6 Cal + 11 O_2

8 Acm + 4 Ep + 8 Ne = 20 **Dia** + 14 Fo + 6 Fa + 8 Cal + 23 O_2 + 2 H_2O

CH_4 + CO_2 = 2 **Dia** + 2 H_2O

CO_2 = **Dia** + O_2

*Символы минералов находятся в соответствии с [30].

Таким образом, физико-химическим исследованием подтверждена возможность образования алмаза и углерода в карбонат-щелочных многокомпонентных системах на примере штока карбонатитов Хибин. Алмазообразование в такой системе реально – наличие углерода, восстановительные условия, соответствующие P и T. Образование алмаза осуществляется параллельно с углеродом из карбонатов в неравновесных условиях.

Таблица 2. Расчетные данные минерального состава и флюида в зависимости от концентрации углерода в системе и общего давления при T = 500°C.

Состав, масс.%	Температура, 500°C											
	Содержание углерода, моль/кг											
	1.3315	2.663	3.9945	6.6575	1.3315	2.663	3.9945	6.6575	1.3315	2.663	3.9945	6.6575
	Давление 1000 бар				Давление 5000 бар				Давление 10000 бар			
Углерод	-	0.556	1.705	3.890	-	0.507	1.613	3.712	-	0.329	1.414	3.420
Алмаз	-	0.256	0.786	1.792	-	0.263	0.836	1.927	-	0.215	0.845	2.045
$CaCO_3$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
$MgCO_3$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Fe_2O_3	5.42	0.35	0.35	0.33	5.31	0.27	0.27	0.26	5.05	-	сл.	сл.
Fe_3O_4	5.78	7.12	7.08	6.77	5.88	6.08	5.97	5.78	6.14	-	сл.	сл.
TiO_2	0.48	0.41	0.41	0.39	1.10	0.22	0.22	0.21	1.20	-	сл.	сл.
Сфен	1.79	1.91	1.88	1.82	0.25	-	-	-	-	-	-	-
Ильменит	-	сл.	сл.	сл.	-	1.85	1.82	1.76	-	2.27	2.23	2.16
Альмандин	сл.	сл.	сл.	сл.	сл.	сл.	сл.	сл.	сл.	0.07	0.07	0.06
Гроссуляр	4.44	4.33	4.26	4.12	5.15	5.21	5.13	4.96	5.26	11.34	11.15	10.78
Пироп	сл.	сл.	сл.	сл.	сл.	сл.	сл.	сл.	сл.	сл.	сл.	сл.
Фаялит	-	-	-	сл.	-	сл.	сл.	сл.	сл.	7.83	7.81	7.44
Форстерит	-	-	-	сл.	-	сл.	сл.	сл.	сл.	4.13	4.73	3.93
Волластонит	сл.	-	-	сл.	-	-	сл.	сл.	-	-	-	-
Аннит	сл.	сл.	сл.	сл.	сл.	сл.	0.04	0.04	сл.	-	-	-
Флогопит	1.69	2.39	2.35	2.27	1.26	2.18	2.15	2.08	1.19	-	-	-
Клинохлор	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Mg-обманка	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Fe-обманка	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Эгирин	0.18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Нефелин	29.31	29.06	28,57	27.64	28.85	28.52	28.04	21.12	28.78	24.66	24.24	23.45
Альбит	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Анортит	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Микроклин	27.29	26.54	26.09	25.23	27.56	26.69	26.23	25.37	27.61	28.18	27.70.	26.80
Диопсид	18.92	17.61	17.32	16.75	19.57	17.94	17.64	17.06	19.67	8.65	8.50	8.22
Геденбергит	0.18	1.38	1.36	1.31	0.20	1.98	1.95	1.89	0.21	2.55	2.51	2.43
Пирит	0.28	-	-	-	0.27	-	-	-	0.25	-	-	-
Пирротин	-	3.70	3.63	3.52	-	3.70	3.64	3.52	-	3.70	3.64	3.52
Апатит	2.07	2.05	2.02	1.95	2.10	2.05	2.02	1.95	2.07	2.05	2.02	1.95
Виллиомит	-	сл.	сл.	сл.	-	сл.	сл.	сл.	сл.	-	-	-
Флюорит	2.09	2.06	2.03	1.96	2.08	2.07	2.03	1.96	2.08	2.07	2.03	1.97
Криолит	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Сода	0.28	0.26	0.25	0.25	0.44	0.47	0.46	0.44	0.47	1.92	1.89	1.83
Парциальное давление (P_i), бар												
CH_4	1.8e-16	1.8e-04	1.8e-04	1.8e-04	3.1e-15	1.1e-2	1.1e-2	1.1e-2	1.1e-12	2.3e-00	2.3e-00	2.3e-00
CO_2	7.8e+02	9.5e+02	9.5e+02	9.5e+02	3.9e+03	4.7e+03	4.7e+03	4.7e+03	7.7e-00	9.0e+03	9.0e+03	9.0e+03
CO	1.4e-02	5.4e+01	5.4e+01	5.4e+01	7.5e-02	3.1e+02	3.1e+02	3.1e+02	1.7e-01	7.2e+02	7.2e+02	7.2e+02
H_2	1.2e-03	3.3e-01	3.3e-01	3.3e-01	1.0e-02	5.1e-00	5.1e-00	5.1e-00	2.4e-02	8.7e+01	8.7e+01	8.7e+01
H_2O	1.1e+01	9.5e-01	9.5e-01	9.5e-01	8.3e+01	1.2e+01	1.2e+01	1.2e+01	1.7e+02	1.7e+02	1.7e+02	1.7e+02
O_2	2.6e-17	2.4e-24	2.4e-24	2.4e-24	1.0e-16	9.0e-24	9.0e-24	9.0e-24	1.6e-16	1.2e-23	1.2e-23	1.2e-23
H_2S	7.7e-02	1.6e-03	1.6e-03	1.6e-03	8.0e-01	2.3e-02	2.3e-02	2.3e-02	2.5e-00	4.5e-01	4.5e-01	4.5e-01
S_2	3.6e-01	1.9e-09	1.9e-09	1.9e-09	2.8e-00	9.1e-09	9.2e-09	9.2e-09	9.3e-00	2.4e-08	2.4e-08	2.4e-08
SO_2	2.1e+02	1.4e-09	1.4e-09	1.4e-09	1.0e+03	5.1e-09	5.1e-09	5.1e-09	2.1e+03	7.9e-09	7.9e-09	7.9e-09

Таблица 3. Расчетные данные минерального состава и флюида в зависимости от концентрации углерода в системе и общего давления при T = 700°C.

Состав, масс.%	Температура, 700°C											
	Содержание углерода, моль/кг											
	1.3315	2.663	3.9945	6.6575	1.3315	2.663	3.9945	6.6575	1.3315	2.663	3.9945	6.6575
	Давление 1000 бар				Давление 5000 бар				Давление 10000 бар			
Углерод	-	-	0.908	3.128	-	-	0.425	2.960	-	-	0.654	1.618
Алмаз	-	-	0.436	1.503	-	-	0.804	1.563	-	-	0.388	2.731
$CaCO_3$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
$MgCO_3$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Fe_2O_3	2.84	0.13	0.04	0.04	2.78	0.09	0.04	0.04	2.71	-	-	-
Fe_3O_4	8.39	4.30	1.68	1.62	8.45	2.97	1.54	1.49	8.46	-	-	-
TiO_2	0.70	0.10	0.03	0.03	0.91	0.07	0.03	0.03	1.21	-	-	-
Сфен	1.25	-	-	-	0.73	-	-	-	-	-	-	-
Ильменит	-	2.10	2.20	2.13	-	2.17	2.22	2.16	-	2.30	2.27	2.20
Альмандин	сл.	сл.	сл.	сл.	сл.	сл.	сл.	сл.	сл.	сл.	сл.	сл.
Гроссуляр	3.28	3.27	3.24	3.13	7.43	13.27	15.17	14.67	7.99	16.66	16.50	15.94
Пироп	сл.	сл.	сл.	сл.	сл.	сл.	сл.	сл.	сл.	сл.	сл.	сл.
Фаялит	сл.	2.70	6.68	6.46	сл.	3.71	5.60	5.42	0.02	7.89	7.81	7.55
Форстерит	1.93	5.05	6.93	6.70	1.28	3.67	4.22	4.08	1.26	4.78	4.73	4.57
Волласто-нит	3.44	8.29	12.08	11.68	-	-	-	-	-	-	-	-
Аннит	сл.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Флогопит	0.58	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Клинохлор	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Mg-обманка	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Fe-обманка	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Эгирин	0.28	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Нефелин	30.16	30.13	29.78	28.79	27.75	23.86	22.29	21.55	27.20	21.73	22.60	20.79
Альбит	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Анортит	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Микроклин	28.13	28.49	28.16	27.22	28.52	28.51	28.19	27.25	28.53	28.53	28.57.	27.30
Диопсид	14.79	6.07	сл.	сл.	17.68	10.32	8.39	8.11	17.74	6.93	4.80	6.63
Геденбергит	0.28	1.46	сл.	сл.	0.39	3.32	3.10	3.00	0.66	2.76	2.30	2.64
Пирит	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Пирротин	0.07	3.74	3.70	3.58	0.03	3.75	3.70	3.58	сл.	3.75	3.75	3.59
Апатит	2.08	2.08	2.05	1.98	2.08	2.08	2.05	1.99	2.08	2.08	2.08	1.99
Виллиомит	-	сл.	сл.	-	0.77	1.86	2.23	2.15	0.88	2.25	2.26	2.15
Флюорит	2.09	2.09	2.07	2.00	1.37	0.36	-	сл.	1.28	-	-	-
Криолит	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Сода	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.31	0.31	0.30
Парциальное давление (P_i), бар												
CH_4	1.9e-13	8.4e-03	1.8e-02	1.8e-02	1.9e-12	3.5e-02	1.2e-01	1.2e-01	4.2e-12	4.7e-02	3.1e-01	3.1e-01
CO_2	7.6e+02	5.4e+02	4.3e+02	4.3e+02	3.8e+03	2.8e+03	1.9e+03	4.7e+03	7.5e+03	6.0e+03	3.4e+03	3.4e+03
CO	6.8e-01	4.4e+02	5.6e+02	5.6e+02	3.5e-00	2.1e+03	3.0e+03	3.1e+02	7.3e-00	3.8e+03	6.4e+03	6.4e+03
H_2	4.9e-02	1.3e+01	1.4e+01	1.4e+01	3.3e-01	6.5e+01	7.0e+01	5.1e-00	6.7e-01	1.2e+02	1.4e+02	1.4e+02
H_2O	2.4e+01	7.1e-00	4.7e-00	4.7e-00	1.5e+02	3.8e+01	2.0e+01	1.2e+01	3.0e+02	8.4e+01	3.2e-01	3.2e-01
O_2	7.2e-13	8.6e-19	3.4e-19	3.4e-19	3.3e-12	5.0e-18	1.2e-18	9.0e-24	6.1e-12	1.4e-17	1.6e-18	1.6e-18
H_2S	6.9e-02	1.8e-02	1.0e-02	1.0e-02	5.1e-00	1.1e-01	4.7e-02	2.3e-02	1.1e+01	4.3e-01	1.5e-01	1.5e-01
S_2	5.3e-00	4.9e-08	1.4e-08	1.4e-08	3.2e+01	4.1e-07	6.1e-08	9.2e-09	7.1e-01	3.2e-06	3.1e-07	3.1e-07
SO_2	2.1e-00	2.4e-08	5.1e-09	5.1e-09	1.0e+03	1.8e-07	1.7e-08	5.1e-09	2.1e+03	1.0e-06	3.8e-08	3.8e-08

Таблица 4. Расчетные данные минерального состава и флюида в зависимости от концентрации углерода в системе и общего давления при T = 900°C.

Состав, масс.%	Температура, 900°C											
	Содержание углерода, моль/кг											
	1.332	2.663	3.995	6.658	1.332	2.663	3.995	6.658	1.332	2.663	3.995	6.658
	Давление 1000 бар				Давление 5000 бар				Давление 10000 бар			
Углерод	-	-	сл.	2.115	-	-	-	2.040	-	-	-	1.951
Алмаз	-	-	сл.	1.044	-	-	-	1.090	-	-	-	1.148
$CaCO_3$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
$MgCO_3$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Fe_2O_3	2.02	0.07	0.03	сл.	1.97	0.09	сл.	сл.	1.97	-	-	-
Fe_3O_4	9.02	1.70	1.70	1.62	9.11	2.19	сл.	сл.	8.94	-	-	-
TiO_2	1.04	0.06	0.02	сл.	0.88	0.07	сл.	сл.	1.21	-	-	-
Сфен	0.42	-	-	-	0.80	-	-	-	сл.	-	-	-
Ильменит	-	2.18	2.26	2.23	-	2.16	2.23	2.16	-	2.21	2.30	2.23
Альмандин	сл.	сл.	сл.	сл.	сл.	сл.	сл.	сл.	сл.	сл.	сл.	сл.
Гроссуляр	0.28	3.28	3.28	8.01	3.28	3.28	8.02	14.67	8.34	15.36	15.39	14.19
Пироп	сл.	сл.	сл.	сл.	сл.	сл.	сл.	сл.	сл.	сл.	сл.	сл.
Фаялит	0.08	6.77	6.78	8.76	0.06	5.95	8.76	5.42	0.06	5.48	6.09	7.84
Форстерит	2.90	7.03	7.03	6.82	2.83	6.69	6.82	4.08	1.56	4.40	5.48	5.31
Волластонит	4.38	12.25	12.25	9.39	4.48	11.50	9.70	9.39	сл.	-	-	2.29
Аннит	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Флогопит	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Клинохлор	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Mg-обманка	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Fe-обманка	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Эгирин	0.87	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Нефелин	30.18	30.12	30.19	26.22	30.18	30.18	26.23	21.55	26.99	22.57	22.60	21.89
Альбит	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Анортит	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Микроклин	28.53	28.53	28.54	27.61	28.53	28.53	27.68	27.25	28.43	28.54	28.57.	27.69
Диопсид	12.71	сл.	-	-	12.94	1.04	сл.	8.11	16.84	0.09	4.80	4.65
Геденбергит	0.87	сл.	-	-	0.76	0.40	сл.	3.00	1.31	3.60	2.30	2.25
Пирит	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Пирротин	-	3.74	3.75	3.64	-	3.75	3.64		-	3.75	3.75	3.64
Апатит	2.08	2.08	2.08	2.02	2.08	2.08	2.02	1.99	2.08	2.08	2.08	2.02
Виллиомит	-	-	сл.	0.90	сл.	-	0.90	2.15	0.94	2.25	2.26	2.19
Флюорит	2.09	2.09	2.09	1.19	2.09	2.09	1.19	сл.	1.22	-	-	-
Криолит	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Сода	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Парциальное давление (P_i), бар												
CH_4	1.7e-12	1.6e-05	1.2e-03	2.2e-03	8.8e-12	8.4e-05	1.4e-02	1.2e-01	1.4e-11	1.5e-04	9.0e-03	3.4e-02
CO_2	7.5e-02	5.7e+02	6.4e+01	3.5e+01	3.7e+03	2.8e+03	1.5e+02	4.7e+03	7.5e+03	5.8e+03	9.0e+02	2.3e+02
CO	5.2e-00	4.1e+02	9.2e+02	9.5e+02	2.6e+01	2.1e+03	4.8e+03	3.1e+02	5.0e+01	4.0e+03	9.1e+03	9.6e+03
H_2	3.0e-00	1.0e+01	1.3e+01	1.3e+01	1.5e-00	5.1e+01	6.4e+01	5.1e-00	2.8e-00	1.0+02	1.3e+02	1.3e+02
H_2O	3.1e+01	1.0e+01	6.5e-01	3.4e-01	1.5e+02	5.1e+01	1.4e-00	1.2e+01	3.1e+02	1.0+02	8.3e-00	2.2e-00
O_2	1.8e-09	1.7e-13	4.1e-16	1.2e-16	8.7e-09	8.1e-13	4.0e-16	9.0e-24	2.0e-08	1.8e-12	6.0e-15	5.1e-16
H_2S	5.4e-01	7.9e-02	1.8e-03	7.6e-01	2.7e-00	4.3e-01	8.7e-03	2.3e-02	4.6e-00	1.0e-00	6.2e-02	1.7e-02
S_2	3.8e-00	7.2e-05	2.1e-08	4.1e-09	2.1e+01	4.2e-04	1.1e-07	9.2e-09	3.1e+01	1.2e-03	2.7e-06	2.1e-07
SO_2	2.1e+02	9.0e-05	3.7e-09	4.7e-10	1.1e+03	4.6e-04	3.7e-09	5.1e-09	2.1e+03	1.2e-03	2.2e-07	4.5e-09

Список литературы

1. Булах А.Г., Дмитриев Д.Н., Казаринов Л.Р. и др. Новые находки карбонатитов на Кольском полуострове // Докл. АН СССР. 1972. Т. 205. № 2. С. 446-448.

2. Дигонский С.В., Тен В.В. Неизвестный водород. СПб: Наука, 2006. 292 с.

3. Зедгенизов Д.А., Рагозин А.Л., Шацкий В.С. Особенности состава среды алмазообразования по данным изучения микровключений в природных алмазах // Зап. РМО. Спецвыпуск. Кристаллогенезис и минералогия. СПб.: Наука, 2007. С. 159-172.

4. Зубков В.С. К вопросу о составе и формах нахождения флюида системы C-H-N-O-S в PT-условиях верхней мантии // Геохимия. 2001. № 2. С. 131-145.

5. Карбонатиты Хибин. Дудкин О.Б., Минаков Ф.В., Кравченко М.П. и др. Апатиты: Изд-во КФ АН СССР, 1984. 98 с.

6. Каржавин В.К., Вендилло В.П. О возможности существования углеродистых радикалов в магматическом процессе / Материалы по геологии и металлогении Кольского полуострова. Вып. 4. Апатиты: Изд-во КФ АН СССР, 1972. С. 196-202.

7. Каржавин В.К. Углеводородные газы Хибинского массива и их связь со щелочным компонентом минералов и пород // Щелочные породы Кольского полуострова. Л.: Наука, 1974. С. 80-85.

8. Каржавин В.К., Дудкин О.Б., Припачкин В.А. Газовая фаза некоторых природных образцов апатита // Докл. АН СССР, 1975. Т. 222. № 4. С. 942-945.

9. Каржавин В.К., Петерсилье И.А. О возможной генетической связи углеродных соединений пород и минералов интрузивных массивов с их щелочным компонентом // Углерод и его соединения в эндогенных процессах минералообразония. Львов: ИГИ АН СССР, 1975. С. 16-18.

10. Карпов И.К., Киселёв А.И., Летников Ф.А. Моделирование природного минералообразования на ЭВМ. М.: Недра, 1976. 256 с.

11. Когарко Л.Н. Термодинамические активности компонентов агпаитовых нефелиновых сиенитов и их использование для решения задач геохимии // Геохимия. 1970. № 4. С. 487-500.

12. Лейпунский О.И. Об искусственных алмазах // Успехи химии. 1939. Т. VIII. Вып. 10. С. 1519 – 1534.

13. Литвин Ю.А. Генезис алмаза: карбонатитовые расплавы – среда кристаллизации алмаза по природным и экспериментальным данным // Экспериментальная минералогия: некоторые итоги на рубеже столетий. Т. 1. М.: Наука, 2004. С. 56-73.

14. Минаков Ф.В. Дудкин О.Б. О возможном присутствии карбонатитов в Хибинском щелочном массиве // Докл. АН СССР. 1974. Т. 215. № 1. С. 185-188.

15. Минаков Ф.В. Дудкин О.Б., Каменев Е.А. О карбонатитовом комплексе Хибин // Докл. АН СССР. 1981. Т. 259. № 3. С. 672-675.

16. Пальянов Ю.Н., Сокол А.Г., Соболев Н.В. Экспериментальное моделирование мантийных алмазообразующих процессов // Геология и геофизика. 2005. Т. 46. № 12. С. 1290-1303.

17. Петров В.С. Генетическая связь алмазов с карбонатами кимберлитов // Вест. МГУ. Сер. геол. 1959. № 2. С. 13-20.

18. Петерсилье И.А. Геология и геохимия природных газов и дисперсных битумов некоторых геологических формаций Кольского полуострова. М.-Л.: Наука, 1964. 170 с.

19. Петерсилье И.А., Павлова М.А. Органические соединения в изверженных и метаморфических горных породах // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1976. № 10. С. 87-94.

20. Пятенко И.К., Сапрыкина Л.Г. О находке карбонатитовых лав и пирокластов в палеозойской осадчно-вулканогенной толще района Кантозера на Кольском полуострове // Докл. АН СССР. 1976. Т. 229. № 4. С. 963-966.

21. Руденко А.П., Кулакова И.И., Скворцова В.Л. Химический синтез алмаза. Аспекты общей теории // Успехи химии. 1993. Т. 62. Вып. 2. С.99-117.

22. Рябчиков И.Д., Когарко Л.Н., Кривдик С.Г. и др. Условия формирования карбонатитов Черниговского массива (Приазовье, Украина) // Геол. рудных месторождений. 2008. Т. 50. № 6. С.483-493.

23. Симаков С.К. Термодинамическая оценка влияния окислительно-восстановительных условий на образование критических зародышей алмаза и графита в процессе конденсации метана при низких давлениях // Журн. физ. химии. 1995. Т. 69. № 2. С. 346—347.

24. Соколов С.В., Эпштейн Е.М., Пантелеева Е.Ю. Об эволюции свойств кальцитов в карбонатитовом комплексе // Геология месторождений редких элементов. Вып. 35. М.: Недра, 1972. С 132-142.

25. Углеродистые отложения ранних этапов развития Земли (геохимия и обстановки накопления на Балтийском щите). Мележик В.А., Басалаев А.А., Предовский А.А. и др. Л.: Наука, 1988. 197 с.

26. Шумилова Т.Г. Минералогия самородного углерода. Екатеринбург: Изд-во Уро РАН, 2003. 315 с.

27. Berman R., Simon F. О равновесии системы графит-алмаз // Zeitschrift fur Electrochemie. 1955. V. 59. N 5. P. 333- 338.

28. Berman R.G. Thermobarometry using multi-equilibrium calculations: a new technique, with petrological applications // Canad. Miner. 1991. V. 29. N 4. P. 833-855.

29. Bundy F.P. Direct conversion of graphite to diamond in static pressure apparatus // J. Chem. Phys. 1963. V. 38. N 3. P. 618-623.

30. Kretz. R. Symbols for rock-forming minerals // Amer. Mineral. 1983. V. 68. № 1/2. P. 277- 279.

31. Pal'yanov Yu.N.,Sokol A.G., Borzdov Yu.M. et.al. Diamond formation through carbonate- silicate interation // Amer. Miner. 2002. V. 87. № 7. P. 1009-1013.

САНУКИТОИДЫ ЯЛОНВАРСКОЙ СТРУКТУРЫ (БАЛТИЙСКИЙ ЩИТ)

Н.И. Кондрашова
Институт геологии Кар. НЦ РАН, г. Петрозаводск, e-mail: kondr@krc.karelia.ru

Санукитоидами называют субщелочные посттектонические гранитоиды с определенными геохимическими характеристиками: SiO_2 55-60%, M# > 0.60, Ni > 100 ppm, Cr > 200 ppm, Sr > 500 ppm, Sr/Y ≈ 50, (La/Yb)n 19-65, Y ≈ 17, Yb ≈ 2 [8], позволяющие выделять их из гранитоидов тоналит-трондьемит-гранодиоритовой (TTG) серии. На территории Балтийского щита к группе санукитоидов относятся массивы Ялонварский, Паноозерский, Нюкозерский, Хаутоварский, Таловейс, Эльмус, Бергаульский и ряд массивов на территории Финляндии [6]. Для них характерны небольшие площади выхода 5-30 км^2, приуроченность к сдвиговым зонам, гетерогенное строение, проявившееся в многофазности, и близость по времени формирования. Все перечисленные массивы гранитоидов имеют позднеархейский возраст и являются постскладчатыми (рис. 1).

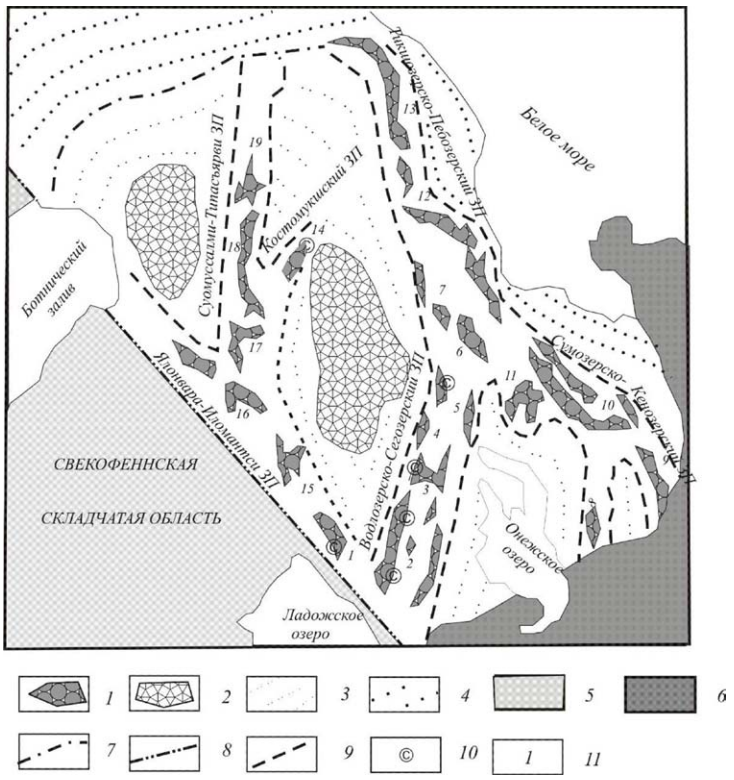


Рис. 1. Интрузии санукитоидов в Карельской гранит-зеленокаменной области (КГЗО) Балтийского щита.

1 – зеленокаменные структуры, 2 – интракратонные впадины, 3 – реоморфизованный катархейский фундамент, 4 – амфиболит-гнейсовый комплекс Беломорского пояса, 5 – Свекофеннская складчатая область, 6 – образования палеозойского комплекса, 7 – границы Карельской гранит-зеленокаменной области (КГЗО), 8 – граница КГЗО и Свекофеннского складчатого пояса, 9 – границы зеленокаменных поясов (ЗП), 10 – массивы санукитоидов, 11 – локальные зеленокаменные структуры: 1 – Ялонварская, 2 – Хаутаварская, 3 – Койкарско-Корбозерская, 4 – Совдозерская, 5 – Сайозерская, 6 – Парандовско-Надвоицкая, 7 – Тунгудская, 8 – Маткалахтинская, 9 – Токшинская, 10 – Каменноозерская, 11 – Рыбозерская, 12 – Пебозерская, 13 – Тикшозерская, 14 – Костомукшская, 15 – Иломантси, 16 – Ипатти, 17 – Типасъярви, 18 – Кухмо, 19 – Суомуссалми.

Внедрение санукитоидов в пределах КГЗО происходило в интервале 2.74 – 2.7 млрд. лет [1]. Их образование связывают с формированием обогащенного мантийного источника в результате корово-мантий-ного взаимодействия в зонах субдукции [3; 7] , и происходившего позднее частичного плавления мантии с образованием санукитоидных расплавов. Для объяснения геохимических особенностей санукитоидов: повышенной магнезиальности, высокого магниевого показателя, повышенных содержаний бария, стронция, легких редких земель была предложена двухстадийная модель их формирования. Первоначально происходил метасоматоз мантии с привносом несовместимых элементов, позднее произошло плавление метасоматизированного мантийного источника с последующим фракционированием расплава [4]. Интервал времени между этими процессами составлял около 60 млн. лет для восточной зоны Карелии, и порядка 110 млн. лет для западной. Считают, что и сам метасоматоз был двухстадийным: ранним водным, связанным с дегидратацией океанической коры в зонах субдукции, что стало причиной обогащения мантии легкими редкими землями (LREE). За второй этап мантийного метасоматоза - карбонатного считают ответственным подъем мантийного плюма. Предполагают, что именно с данным глубинным флюидом, а позднее и расплавом связан вынос золота в верхнюю кору [4].

Ялонварская гранитоидная интрузия, площадью 12×15 км, внедрившаяся в зеленокаменные отложения пояса Ялонвара-Иломантси и отнесенная к группе санукитоидов [6], имеет трехфазное строение [2]: 1 фаза внедрения представлена несколькими телами кварцевых диоритов, гранодиоритов в СВ части структуры, 2 фаза, занимающая наибольшую площадь выходов интрузивного тела, сложена гранитами и 3 фаза – штокообразные тела лейкократовых порфировидных гранитов в ЮЗ и СЗ частях интрузии. Возраст крупночешуйчатого молибденита (Os-Re метод) из гранитоидов 1 фазы 2772±11 млн. лет [2]. Pb-Pb изохронный возраст гранитоидов 2 фазы равен

2600±100 млн.лет [5].

Минеральный состав гранодиоритов и кварцевых диоритов представлен плагиоклазом, реликтовым авгитом, биотитом, амфиболом, кварцем и калиевым полевым шпатом (КПШ). Граниты 2 фазы сложены олигоклазом, КПШ и кварцем. Лейкократовые порфировидные граниты сложены вкрапленниками плагиоклаза, КПШ, кварца в более мелкозернистой массе плагиоклаз-кварц-полевошпат-мусковитового состава. Биотит присутствует спорадически. Магниевое число в гранитоидах 1 фазы Ялонварской структуры (табл. 1) превышает таковой показатель для основной массы вулканитов разреза структуры, поэтому данные вулканиты не могут рассматриваться в качестве источника для образования гранитоидов массива.

Среди вулканогенной части разреза спорадически встречаются высокомагнезиальные метаандезиты с содержанием MgO от 7,15% до 9,70% при содержании SiO_2 от 60,08 % до 54,64 %. Данные вулканиты характеризуются и высокими величинами магниевого показателя (> 0,70), что является геохимическим показателем их мантийного генезиса. Содержания бария в них попадают в интервал от 640 до 840 г/т, стронция - от 110 до 500г/т.

Таблица 1. Химический состав гранитоидов Ялонварской структуры.

	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	FeO	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	P_2O_5	Rb	Ba	Sr	Cr	Ni	Cu	M#
1	61,88	0,54	15,07	2,70	2,66	3,71	4,28	3,93	3,30	0,29	156	1164	327	285	122	75	0,56
2	70,32	0,28	13,91	1,42	1,27	1,36	1,54	4,04	4,43	0,09	126	1224	142	156	19	77	0,49
3	74,52	0,13	13,20	0,88	0,63	0,60	1,28	4,46	3,06	0,04	89	806	93	121	23	280	0,43

Примечание: 1- граниты 1 фазы, 2 – гранитоиды 2 фазы внедрения, 3 – гранитоиды 3 фазы).

Граниты 2 фазы и лейкократовые порфировидные граниты 3 фазы характеризуются сходными величинами магниевого показателя с вулканитами разреза, что не исключает вклада последних в формирование исходных для данных гранитоидов расплавов. Следовательно, к санукитоидам можно отнести лишь гранитоиды 1 фазы.

Высокие содержания бария, стронция, легких редких земель в санукитоидах, как было показано выше, традиционно объясняют метасоматозом мантийных пород незадолго до их плавления. В ялонварских гранитоидах 1 фазы с характеристиками санукитоидов отмечаются многочисленные микровключения барита, в гранитоидах 3 фазы барит локализован в трещинках дробления пирита (рис. 2). Подобные микропрожилки и включения барита присутствуют в лавобрекчиях зеленокаменного разреза структуры и в субвулканических габбро-диабазах протерозойского возраста, распространенных в данном районе.

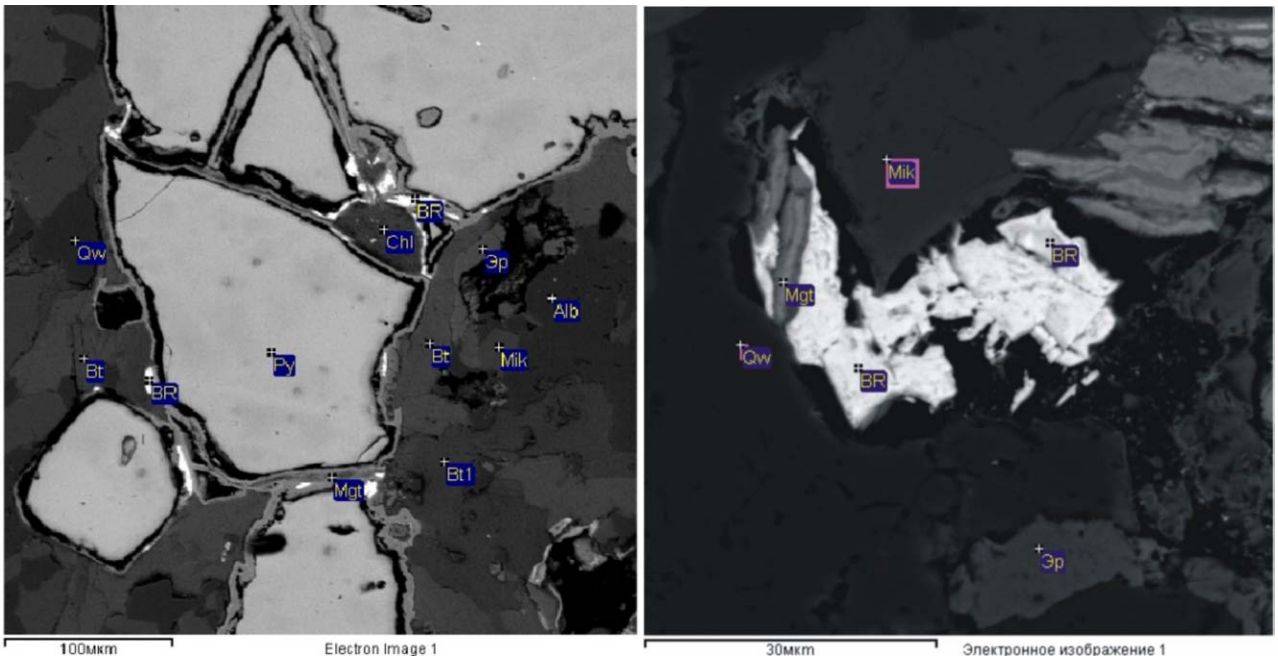


Рис. 2. Микропрожилки барита в измененных гранитоидах (слева) и вулканитах (справа) Ялонварской структуры.

BR – барит, Py – пирит, Alb – альбит, Mgt – магнетит, Bt, Bt1 – биотиты, Mik – микроклин, Chl – хлорит, Qw – кварц, Эр – эпидот.

Барий в магматическом процессе рассеивается в калиевых полевых шпатах (КПШ), образуя собственные минералы лишь в гидротермальную стадию. В процессе магматической дифференциации обогащенного барием расплава при возрастании содержания КПШ в гранитах 2 и 3 фаз должна наблюдаться прямая корреляция содержаний окиси калия и бария в ялонварских гранитоидах, что не происходит (рис. 3). Это указывает на отсутствие заметного обогащения барием источника перед его плавлением.

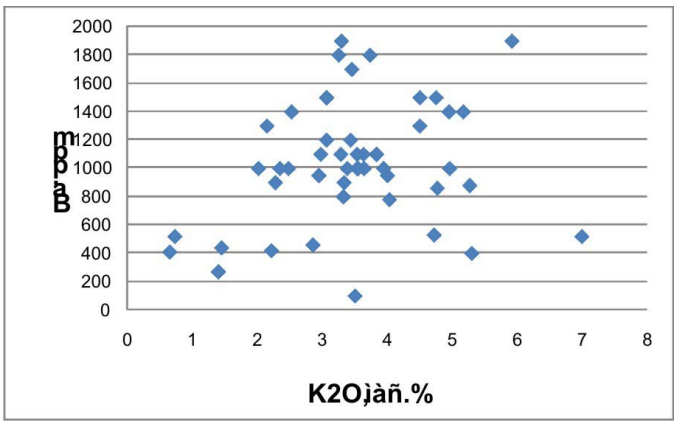


Рис. 3. Зависимость содержаний окиси калия и бария в гранитоидах Ялонварской структуры.

К наиболее поздним фазам внедрения ялонварской интрузии относятся жилы гранитов-аплитов, следовательно, по сравнению с ранними фазами гранитоидов они должны быть наиболее обогащены несовместимыми элементами, что для них не характерно. При содержании окиси калия около 7%, аплиты содержат бария около 520 г/т. Это также указывает на отсутствие заметного обогащения барием источника перед его плавлением. Главная компонента коры на момент внедрения санукитоидов – кора ТТГ-состава, Гранитоиды рамы характеризуются высокими содержаниями бария (1000-1900 г/т), низкими содержаниями стронция (130 - 530 г/т), хрома (менее 70 г/т), никеля и кобальта (менее 10 г/т), и значениями M# от 0,41 до 0, 65. Контаминация ими исходного расплава могла вызвать повышенные содержания бария, что наблюдаются не только в санукитоидах структуры, но и частично в вулканитах разреза.

Обогащение некогерентными элементами отмечается вблизи зоны сдвиговых дислокаций, при удалении от нее содержания бария в породах понижаются. Если бы имел место мантийный метасоматоз источника до его плавления, то мы наблюдали бы повышение содержаний некогерентных элементов в породах самых поздних фаз внедрения, что не отмечается. Гранитоиды Ялонварской интрузии характеризуются повышенным содержанием LREE (табл. 2, рис. 4), что является характерной чертой санукитоидов.

Таблица 2. Содержание редкоземельных элементов (ppm) в магматических породах Ялонварской структуры.

	1 фаза (обр.Я-13А)	1 фаза (обр.Я-13-43)	2 фаза (0491А)	3-я фаза (обр.Я-56В)	Я-14/10 (аплит)	Я1-51 (габбро)
La	68	5,64	38,1	34,8	12,5	30,2
Ce	134	21,4	62,7	51,9	26,3	60,6
Nd	64,7	18	23,7	17,8	9,82	33,1
Sm	9,6	6,94	3,53	2,74	1,84	9,35
Eu	2,23	1,14	0,81	0,54	0,19	2,4
Gd	6,76	7,52	2,65	1,17	2,12	9,25
Tb	0,93	1,29	0,38	0,26	0,28	1,45
Yb	1,58	1,32	0,99	1,09	0,72	4,59
Lu	0,19	0,17	0,13	0,14	0,11	0,75

При обогащении мантийного источника до его плавления легкими редкими землями при мантийном метасоматозе, должно наблюдаться повышение содержания легких редких земель в поздних фазах внедрения, так как при плавлении легкие редкие земли характеризуются высокой растворимостью во флюиде, при этом их концентрация в расплаве понижается. Следовательно, граниты-аплиты (обр. Я-14/10) должны быть наиболее обогащены легкими редкими землями, что не происходит (рис. 4). Это показывает отсутствие заметного обогащения источника перед его плавлением в архейское время; в то же время субвулканические габбро-диабазы протерозойского возраста (обр. Я1- 51 на рис. 4) содержат повышенные концентрации редких земель, сходные с их содержанием в санукитоидах. В субвулканических габброидах протерозойского возраста отмечаются кварц-эпидотовые, микроклин-альбитовые прожилки с баритом, церианитом и хедлейитом (рис. 5).

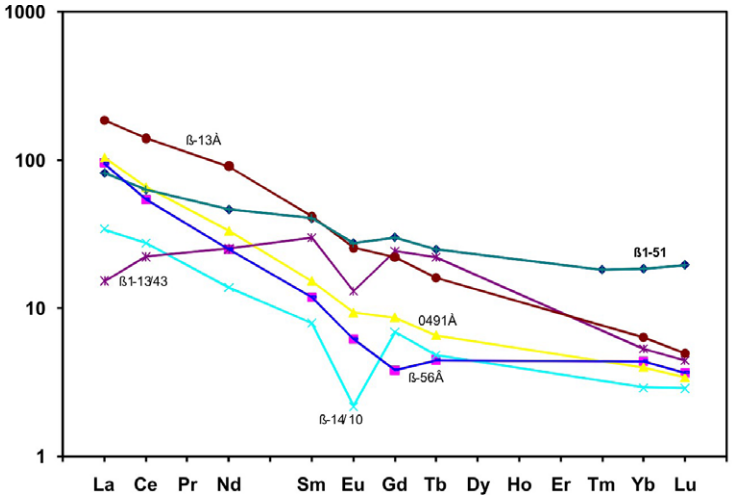


Рис. 4. Содержание редкоземельных элементов в магматических породах Ялонварской структуры.

В ялонварских гранитоидах установлена прямая корреляция золота с теллуром [2], при этом субвулканические габброиды рассматриваются лишь как «жесткие» упо-

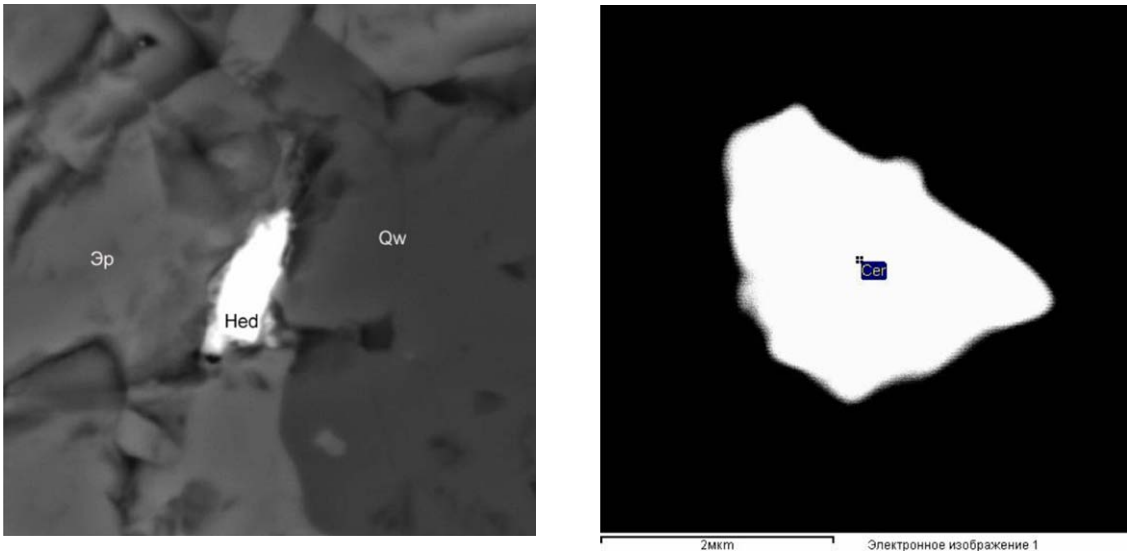


Рис. 5. Минерализация в измененных габброидах протерозойского возраста.
Hed – хедлейит, Qw – кварц, Эр – эпидот; церианит (Cer) в кварце (темное).

ры, влиявшие исключительно на морфологию порфирового с Au оруденения в экзоконтакте интрузии, а малоглубинный гранитоидный магматизм выступал как источник базовой золоторудной формации [2]. Учитывая находки хедлейита в зонах сдвиговых деформаций в габброидах протерозойского возраста, можно расширить ареал поисков возможного золото-теллурового оруденения. Редкие находки редкоземельных минералов в зонах изменения габброидов протерозойского возраста указывают и на протерозойский возраст основного источника мантийных флюидов.

Невысокие отрицательные значения εNd = -1,6, (T_{DM} = 2,98) для ялонварских гранитоидов [3] позволяют предположить участие вещества деплетированной мантии, контаминированного коровым веществом, в формировании рассматриваемых гранитоидов. Учитывая мантийные метки у гранитов 1 фазы и отсутствие указаний на заметное фракционирование (низкое отношение FeO/MgO в них), можно считать подъем данного расплава довольно быстрым к поверхности. Обогащение расплава несовместимыми элементами связано с последующим поступлением ювенильных флюидных растворов в сдвиговых тектонических зонах.

В протерозойское время происходит последующая миграция флюидов, связанных с основным магматизмом, к поверхности по тектонически ослабленным зонам. Повышенные концентрации многих элементов в санукитоидах и вулканитах разреза Ялонварской структуры связаны именно со временем протерозойской тектоно-магматической активизации.

Список литературы

1. Бибикова Е.В., Самсонов А.В., Петрова А.Ю. и др. Геохронология архея Западной Карелии // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 2005. Т. 13. № 5. С. 3-20.

2. Иващенко В.И., Ручьев А.М., Кондрашова Н.И. и др. Геолого-экономическое обоснование постановки оценочных работ на золото в пределах участка Хатуноя в Суоярвском районе. Отчет. Петрозаводск, 2004.

3. Коваленко А.В. Sm-Nd данные как ключ к пониманию происхождения архейских санукитоидов Карелии, Балтийский щит // Геохимия. 2008. № 4. С. 403-413.

4. Лобач-Жученко С.Б. Архейские высоко-Mg и высоко-К (санукитоидные) серии пород: состав, флюиды, мантийные источники. Тезисы Всероссийского семинара «Геохимия магматических пород. Щелочной магматизм Земли». 2008. С. 34-37.

5. Попов В.Е. Генезис вулканогенно-осадочных месторождений и их прогнозная оценка. Л.: Наука, 1991. С. 287.

6. Чекулаев В.П. Архейские «санукитоиды» на Балтийском щите // Докл. АН. 1999. Т. 368. № 5. С. 676-678.

7. Lobach-Zhuchenko S.B., Rollinson H.R., Chekulaev V.B. et al. The Archaean sanukitoid series of the Baltic Shield: geological setting, geochemical characteristics and implications for their origin // Lithos. 2005. V. 79. P.107-128.

8. Stern R.A., Hanson G.N. Archean high-Mg granodiorite: A derivative of light rare earth element-entriched monzodiorite of mantle origin // J. Petrol. 1991. V. 32. P. 201-238.

ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ УЧАСТКА ЛОЙПИШНЮН МОНЧЕТУНДРОВСКОГО МАССИВА

М.С. Люлько
ЗАО «Терская горная компания», г. Мончегорск, e-mail: lulko-monch@yandex.ru

Мончетундровский массив в современном эрозионном срезе имеет овальную форму и ориентирован в северо-западном направлении. Максимальная ширина массива 6-7 км, протяженность около 30 км. По морфологии и внутреннему строению Мончетундровский массив относится к первично-расслоенным стратифицированным лополитообразным интрузивам. В поперечном разрезе он имеет форму пологой мульды с падением трахитоидности и первичной полосчатости к центру структуры [2].

Участок Лойпишнюн располагается на северо-восточном склоне г. Мончетундра. В геологическом плане он характеризует восточный фланг Мончетундровского массива в зоне контакта с Мончегорским плутоном. В настоящее время на данном участке силами ЗАО «Терская горная компания» проводятся поисково-оценочные работы на платиноиды.

В разрезе Мончетундровского массива в пределах участка Лойпишнюн выделяются пять основных породных комплексов: три - магматических пород и два - метаморфических. Магматические комплексы слагают верхнюю габброноритовую и нижнюю норит-ортопироксеновую зоны Мончетундровского массива, а также нижезалегающее самостоятельное тело ультрабазитов. Метаморфические комплексы представлены плагиогнейсами и гиперстеновыми диоритами, которые претерпели интенсивный катаклаз, милонитизацию и бластез [1]. В настоящей работе геологическое строение Мончетундровского массива рассматривается по данным одной из скважин, пробуренных на участке Лойпишнюн юго-восточнее структурной скважины М-1. Скважина пройдена по породам верхней габброноритовой и нижней норит-ортопироксенитовой зон массива. Описание разреза приводится сверху вниз.

Верхняя зона (0-100,5 м) сложена однородными мезократовыми метаморфизованными габброидами (по всей вероятности, метагабброноритами). Породы по всему интервалу - среднезернистые, массивные, на отдельных участках со слабо выраженной трахитоидностью, состоят из плагиоклаза (65-70%) и амфибола (30-35%). Амфибол образует псевдоморфозы по пироксенам. Из второстепенных минералов отмечаются редкие зерна биотита. Для пород данной зоны характерна габбро-офитовая структура с идиоморфным и удлиненным плагиоклазом и ксеноморфными зернами темноцветных минералов. Монотонность габброноритовой зоны нарушается редкими участками с более крупнозернистыми разновидностями габброидов.

Нижняя зона (100,5-340,0 м) имеет сложное строение. Её верхняя часть (интервал 100,5-260,8 м) представлена пачкой тонко расслоенных пород. Расслоенность обусловлена неравномерным содержанием породообразующих минералов (модальная расслоенность) и структурно-текстурными особенностями пород. Мощность отдельных прослоев сильно варьирует - от первых сантиметров до первых метров. В строении расслоенной пачки принимают участие крупнозернистые меланократовые нориты (меланонориты), нориты, среднезернистые ортопироксениты, и плагиоклазовые гарцбургиты.

Меланонориты преобладают в разрезе расслоенной пачки. Их главными минералами являются ортопироксен (65-90%), плагиоклаз (10-30%) и клинопироксен (5%). По пироксенам развивается амфибол. В качестве второстепенных минералов отмечаются кварц и титаномагнетит. В пределах слоя состав меланоноритов неоднороден: количество плагиоклаза может меняться от 5 до 35%, вследствие чего порода соответствует плагиоортопироксениту или нориту. Также не выдержан и размер зерен: и для ортопироксена, и для плагиоклаза он может меняться от 1 до 6 мм. Зерна ортопироксена в меланоноритах характеризуются идиоморфизмом, тогда как плагиоклаз - резко ксеноморфен (однако, когда содержание плагиоклаза достигает 25-35%, наряду с ксеноморфными появляются и гипидиоморфные зерна). Структура пород гипидиоморфнозернистая, в более меланократовых разностях переходящая в панидиоморфнозернистую. Текстуру пород (из-за неравномерного состава) можно определить как такситовую. Особенностью меланоноритов является наличие в их составе кварца, который заполняет интерстиции между зернами породообразующих минералов и образует с плагиоклазом микрогранофировые структуры. Кварц распределен в породах весьма неравномерно и встречается в виде единичных зерен, его количество редко достигает 1-2%.

Слои среднезернистых ***ортопироксенитов*** достаточно однородны и на 90-100% сложены идиоморфными агрегатами ромбического пироксена. Размер зерен пироксена составляет 2-3 мм и в пределах слоя не изменяется. В качестве второстепенных минералов отмечаются плагиоклаз (до 10%) и единичные зерна клинопироксена. Второстепенные минералы размещаются в интерстициях между зернами ортопироксена. Структура пород панидиоморфнозернистая.

Плагиоклазовые ***гарцбургиты*** имеют незначительное распространение и тяготеют к нижней части расслоенной пачки. Они сложены оливином (50-80%), ортопироксеном (20-50%), плагиоклазом (5%) и клинопироксеном (2%). Структура пород панидиоморфнозернистая.

Между породами внутри расслоенной пачки наблюдаются как постепенные, так и резкие контакты.

Ниже пачки тонко расслоенных пород залегают ***нориты***. Нориты состоят из плагиоклаза (70%), ортопи-

Таблица. Результаты микрозондового анализа минералов.

Образец	Хромит	Оливин		Энстатит					Авгит	Плагиоклаз		
	129	*129*	*199*	*181*	*199*	*208*	*248*	*308*	*308*	*181*	*208*	*248*
SiO_2	0,000	41,671	39,970	56,093	56,205	55,935	53,149	55,917	53,530	50,194	51,929	50,591
TiO_2	0,314	0,000	0,000	0,188	0,145	0,170	0,185	0,156	0,226	0,025	0,051	0,000
Al_2O_3	14,495	0,000	0,000	1,148	1,487	1,123	0,988	0,989	1,912	31,354	29,702	30,193
Cr_2O_3	52,208	0,000	0,000	0,226	0,482	0,415	0,069	0,051	0,091	0,000	0,000	0,000
V_2O_3	0,144	0,000	0,000	0,000	0,033	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
MgO	6,672	49,434	46,181	28,180	30,791	29,657	23,327	28,205	16,153	0,000	0,000	0,000
$FeO_{общ}$	27,270	8,806	13,245	11,322	8,224	9,901	19,247	12,065	6,325	0,238	0,098	0,157
MnO	0,320	0,253	0,181	0,247	0,201	0,199	0,328	0,251	0,170	0,000	0,000	0,000
CaO	0,028	0,439	0,000	2,220	1,848	1,535	2,244	2,221	20,999	15,276	13,504	15,017
NiO	0,068	0,398	0,327	0,091	0,080	0,085	0,036	0,051	0,039	0,000	0,000	0,000
ZnO	0,732	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
K_2O	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,027	0,000	0,022	0,028	0,020	0,074
Na_2O	0,000	0,000	0,000	0,074	0,000	0,000	0,132	0,000	0,341	3,142	3,924	3,524
Сумма	102,251	101,001	99,904	99,789	99,496	99,020	99,732	99,906	99,808	100,257	99,228	99,556

Формульное количество в пересчете на 4 О				*Формульное количество в пересчете на 6 О*						*Формульное количество в пересчете на 8 О*		
Ca	-	-	-	-	-	-	-	-	0,827	0,746	0,662	0,739
Na	-	-	-	-	-	-	-	-	0,024	0,278	0,348	0,314
K	-	-	-	-	-	-	-	-	0,001	0,002	0,001	0,004
									0,852	**1,026**	**1,011**	**1,057**
Mg	0,327	1,782	1,718	1,492	1,612	1,570	1,287	1,496	0,885	-	-	-
Fe^{2+}	0,660	0,178	0,276	0,336	0,242	0,294	0,596	0,359	0,194	-	-	-
Ca	0,001	0,011	0,000	0,084	0,070	0,058	0,089	0,085	-	-	-	-
Cr	-	-	-	0,006	0,013	0,012	0,002	0,001	0,003	-	-	-
Ti	-	-	-	0,005	0,004	0,005	0,005	0,004	0,006	-	-	-
Mn	0,009	0,005	0,004	-	-	-	-	-	0,005	-	-	-
Ni	0,002	0,008	0,007	0,003	0,002	0,002	0,001	0,001	0,001	-	-	-
Zn K	0,018 -	- -	- -	- -	- -	- -	- 0,001	- -	- -	- -	- -	- -
Na	-	-	-	0,005	-	-	0,009	-	-	-	-	-
	1,017	**1,984**	**2,005**	**1,931**	**1,943**	**1,941**	**1,989**	**1,946**	**1,094**			
Si	-	1,008	0,998	1,992	1,974	1,986	1,967	1,989	1,967	2,288	2,376	2,323
Ti	0,008	-	-	-	-	-	-	-	-	0,001	0,002	-
Al	0,561	-	-	0,048	0,062	0,047	0,043	0,041	0,083	1,685	1,602	1,634
Cr	1,355	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Fe^{3+}	0,089	-	-	-	-	-	-	-	-	0,009	0,004	0,006
V	0,004	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	2,017	**1,008**	**0,998**	**2,040**	**2,036**	**2,033**	**2,010**	**2,030**	**2,050**	**3,983**	**3,984**	**3,963**

роксена (20-30%) и клинопироксена (количество последнего местами достигает 10% и порода переходит в габбронорит). Плагиоклаз гипидиоморфен, размер его зерен варьирует от 1 до 3 мм, при этом более мелкие зерна не имеют собственных граней. Размер зерен ортопироксена составляет в среднем около 3 мм, они ксеноморфны и имеют изометрическую форму. Клинопироксен формирует резко ксеноморфные агрегаты (1-1,5 мм) «угловатой» формы. Структура пород габбровая. Пироксены частично замещены амфиболом. В норитах отмечаются редкие прослои мощностью до 1 метра, сложенные крупнозернистыми меланоноритами. Переходы между разновидностями пород резкие и при увеличении роли ортопироксена в породе степень его идиоморфизма возрастает.

Разрез нижней зоны осложнен двумя телами среднезернистых ***оливинитов*** со спорадической хромитовой вкрапленностью (интервалы 128,3-138,9 м и 326,7-329,7 м). Контакты этих тел с вмещающими породами затронуты вторичными изменениями, а экзоконтакт нижнего ультраосновного тела представляет собой зону закалки норитов мощностью около 1 м. Вероятно, для Мончетундровского массива оливиниты являются инородными телами, а не членами расслоенной серии.

Для породообразующих минералов нижней зоны в Геологическом институте КНЦ РАН были выполнены микрозондовые определения состава (анализатор «Cameca MS-46», аналитик Е.Э. Савченко). Для анализов были отобраны образцы из следующих пород: 129 – оливинит среднезернистый; 181 – норит среднезернистый; 199 – гарцбургит среднезернистый; 208 – ортопироксенит плагиоклазовый среднезернистый; 248 - норит среднезернистый, неравномернозернистый; 308 – габбронорит среднезернистый (табл.).

Ортопироксен имеет наибольшее распространение в породах нижней зоны. Он представлен магнезиальной разновидностью – энстатит. Железистость ортопироксена варьирует в пределах от 13 до 19 % Fs, постепенно возрастая на фоне уменьшения основности пород. В верхней части пачки среднезернистых норитов установлен наиболее железистый пироксен с содержанием Fs 32%, для него так же характерно присутствие Na и K. В качестве примесей ортопироксен содержит Al, Ca, Cr, Ti, Ni, их суммарное количество не превышает 3 мол.%. Содержание Cr в энстатитах расслоенной пачки в три раза выше, чем в ортопироксенах нижележащих среднезернистых норитов.

Плагиоклаз в породах расслоенной пачки большей частью ксеноморфный, в нижележащих норитах – гипидиоморфный. Содержание анортитовой молекулы колеблется от 65 до 73%. При этом наименее основной плагиоклаз (лабрадор) определен в интерстициях ортпироксенита. В норитах состав плагиоклаза существенно не меняется и соответствует битовниту. В составе плагиоклазов зафиксировано небольшое содержание Fe, а в плагиоклазах из пород тонко расслоенной пачки – и Ti, оба эти элемента, вероятно, входят в состав механической примеси оксидов Fe и Ti.

Одним из породообразующих минералов нижней зоны является *оливин*. Он входит в состав в ультраосновных пород, где образует изометричные гипидиоморфные зерна размером до 3 мм. В рамках данной работы были проанализированы два минерала: один из гарцбургитов расслоенной пачки, второй из верхнего тела оливинитов. Оба минерала относятся к форстериту (Fa 14% и 9% соответственно) с примесью NiO и MnO. Форстерит из оливинита отличается пониженной железистостью и содержанием Ca, что вероятно указывает на более высокую температуру кристаллизации.

Клинопироксен (авгит) имеет второстепенное значение в породах нижней зоны и встречается только в виде ксеноморфных зерен. Он охарактеризован одним анализом (табл.).

Из среднезернистого оливинита был проанализирован акцессорный *минерал группы шпинели*. Им оказался хромит с высоким содержанием Fe^{2+} (табл.).

Строение нижней зоны Мончетундровского массива весьма неоднородное. Её можно разделить на две пачки пород: тонко расслоенную и норитовую. Составы породообразующих минералов в обеих пачках нижней зоны меняются незначительно, и эти изменения, по-видимому, согласуются с эволюцией состава расплава (увеличение железистости в ортопироксенах расслоенной пачки вверх по разрезу). При этом по содержанию элементов-примесей составы породообразующих минералов этих пачек отличаются.

Тонко расслоенная пачка имеет очень пёстрое строение, при этом наблюдается некоторая закономерность в смене пород по разрезу. Возможно, детальное изучение расслоенной пачки и состава породообразующих минералов позволит выделить ритмичность в её внутреннем строении.

Не решенным остается вопрос о происхождении среднезернистых оливинитов. Взаимоотношения с породами нижней зоны Мончетундровского не позволяют считать их членами расслоенной серии. Это подтверждается и различием в составах форстерита из расслоенного горизонта и среднезернистых оливинитов. Для выяснения генезиса инородных оливинитов необходимо провести дополнительные исследования и выполнить сравнительный анализ этих пород с ультрабазитами Мончегорского района.

Автор выражает благодарность к.г.-м.н. Т.В. Рундквист за ценные советы и консультации и Е.Э. Савченко за выполнения микрозондовых анализов.

Список литературы

1. Смолькин В.Ф., Федотов Ж.А., Нерадовский Ю.Н. и др. Расслоенные интрузии Мончегорского рудного района: петрология, оруденение, изотопия, глубинное строение. Часть 1. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2004.

2. Соколова В.Н. Новые данные о геологическом строении интрузивного комплекса Монче-Чуна-Волчьих тундр (Кольский п-ов) // Советская геология. 1976. № 6. С. 100-111.

ПЕТРОГРАФИЧЕСКИЕ И МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ БАЗАЛЬТОВЫХ АНДЕЗИТОВ АМУРО-ЗЕЙСКОЙ ДЕПРЕССИИ

О.В. Мельникова, А.А. Сорокин
Институт геологии и природопользования ДВО РАН, г. Благовещенск, e-mail: sorokin@ascnet.ru

В пределах восточной окраины Азии широко развиты мезо-кайнозойские осадочные бассейны (Амуро-Зейский, Буреинский, Торомский, Удской, Средне-Амурский, Алчанский и др.), образование которых неразрывно связано с общей геологической историей окраины континента. К числу наиболее крупных структур такого рода относится Амуро-Зейская депрессия, расположенная в пределах Дальнего Востока России, которая охватывает междуречье Амура, Зеи и протягивается на восток до нижнего течения Буреи. Ее площадь составляет более 90 000 км^2.

В строении Амуро-Зейской депрессии участвуют вулканогенные и терригенные отложения, начиная с верхней юры. При этом вулканические породы широко представлены нижнемеловых итикутской и поярковской свитах [2]. Вплоть до настоящего времени, возраст этих пород условно определялся на основании стратиграфического положения подстилающих и перекрывающих их осадочных или вулканогенно-осадочных пород. Так, вулканиты итикутской свиты были отнесены к берриас-валанжинскому, а поярковской - к готерив-раннеальбскому уровням [2], хотя современные геохронологические данные, позволяющие подтвердить или опровергнуть эту точку зрения, отсутствовали.

В настоящем докладе представлены результаты петрографических, минералогических и геохимических исследований серии образцов вулканических пород, отобранных из керна скважины глубиной 120 м, пробуренной в южной части Амуро-Зейской депрессии (район села Константиновка). Она пройдена в кайнозойских и верхнемезозойских преимущественно осадочных и вулканомиктовых песчано-алевритовых отложениях, и лишь в низах разреза были встречены собственно вулканические породы. Нами были изучены образцы вулканитов (АС75, АС80, АС90, АС100), отобранные с глубины 75 м, 80 м и 100 м. Они представлены мелко-среднепорфировыми двупироксеновыми базальтовыми андезитами.

Двупироксеновые базальтовые андезиты (рис. 1) являются коричневато-серыми, мелко-среднепорфировыми породами, состоящими на 30% из порфировых выделений и на 70% из основной скрытокристаллической массы. Фенокристаллы представлены лейстами лабрадора – битовнита (15%), в меньшем количестве зернами диопсид – салит - авгита (6-7.5%), а также полными псевдоморфозами, возможно, по ортопироксену (7.5-9%). Фенокристаллы погружены в основную массу, состоящую из преобладающих лейст битовнита - анортита (57-65%), а также подчиненного количества стекла (2-5%), авгита, реже пижонита (1-4%), полных псевдоморфоз по ортопироксену (1-2%). Также присутствуют рудные минералы, составляющие в породе порядка 1-2% и представленные зернами титаномагнетита, ильменита, хромшпинелида. Кроме этого, отмечаются единичные зерна анортоклаза, паргасита.

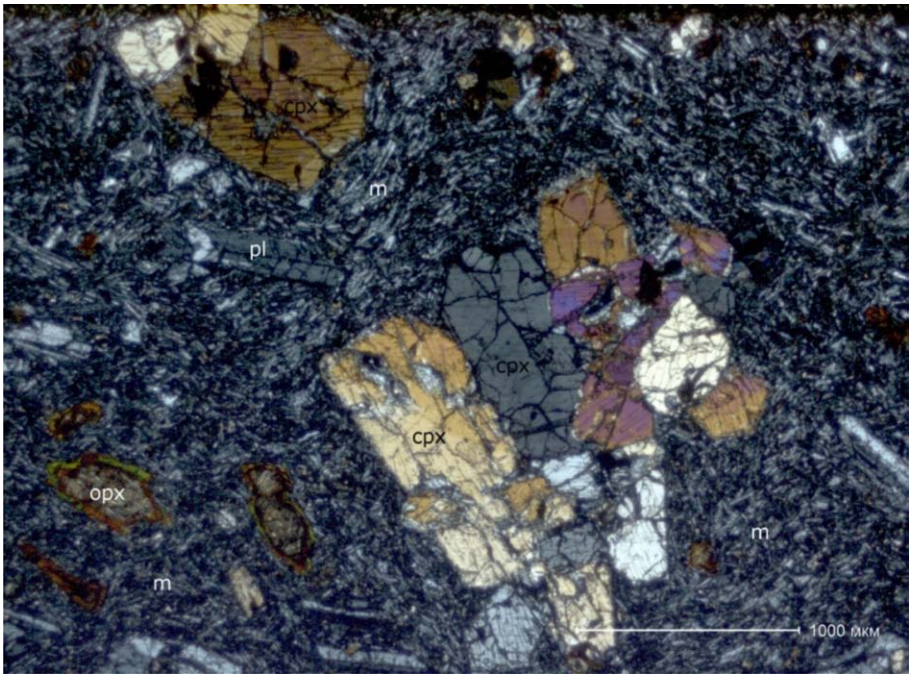


Рис. 1. Шлиф базальтового андезита (образец АС-90). Свет проходящий, поляризованный, николи скрещены. Фенокристаллы клинопироксена (cpx) и плагиоклаза (pl), возможно и ортопироксена (opx) среди преобладающей, существенно плагиоклазовой, основной массы породы (m).

Вторичные минералы представлены тонкочешуйчатым агрегатом серпентина, гидрослюды, иддингсита, полностью замещающими выделения ортопироксена, общее количество которых не превышает 9%.

В андезибазальтах присутствуют следы катаклаза в виде тонкой разнонаправленной трещиноватости, в плагиоклазах фенокристаллов и основной массы иногда наблюдается волнистое угасание.

В целом, порфировые выделения слабоориентированы и распространены по породе равномерно, при этом основной их объем приходится на фенокристаллы лабрадора - битовнита (An_{64-79}) с содержанием ортоклазовой

молекулы от 0.0 до 2.0 мол. %. Это идиоморфные, таблитчатые зерна средним размером 2.4×0,6 мм. Для минерала характерна прямая зональность, где периферия зерен соответствует лабрадору (An_{64-67}), а центральная часть может достигать лабрадор - битовнита (An_{67-79}). Часто в плагиоклазе наблюдаются полисинтетические двойники по альбитовому закону, реже переклиновому. Иногда данные порфировые выделения образуют сростки средним размером 3.0×2.7 мм, при этом вторичные изменения практически отсутствуют.

Для фенокристаллов диопсид – салит - авгита (En_{39-47} $Fs_{8-15}Wo_{43-48}$) железистость (f) изменяется от 0.17 до 0.28; глиноземистость (#Al) от 0.09 до 0.22, а магнезиальность (#Mg) от 0.72 до 0.83. Минерал визуально зонален, но, однозначной направленности в изменении состава выявлено не было. В то же время, просматривается прямая зависимость между содержанием в клинопироксене Cr_2O_3 и близостью к ядерной части минерала. Клинопироксен встречается в виде идиоморфных, призматических выделений, а также изометричных зерен средним размером 2.4×0.8 мм, их максимальный размер 4.0×2.0 мм. Минерал плеохроирует от бесцветного по Np до едва зеленоватого по Ng.

Также в фенокристаллах наблюдаются полные псевдоморфозы, вероятно по ортопироксену, представленные зернами таблитчатой формы средним размером 3.2×0.8 мм, сложенные полиминеральным тонкочешуйчатым агрегатом серпентина, гидрослюды, иддингсита.

Фенокристаллы плагиоклаза и пироксенов погружены в скрытокристаллическую гиалопилитовую, интерсертальную массу, состоящую главным образом из слабоориентированных лейст плагиоклаза средним размером 0.04×0.01 мм. Минерал по химическому составу относится к битовнит - анортититу (An_{71-96}), при этом содержанием ортоклазовой молекулы колеблется до 1.5 мол. %. В интерстициях плагиоклаза наблюдается в подчиненном количестве слабораскристаллизованное стекло. Присутствуют изометричные выделения средним размером 0.02×0.01 мм, представленные зернами авгита, реже пижонита (En_{43-66} $Fs_{10-28}Wo_{6-45}$), полностью измененного ортопироксена, а также единичные выделения анортоклаза ($Ab_{66}An_{17-24}Kfs_{10-17}$), паргасита и рудных титаномагнетита, ильменита, хромшпинелида.

Титаномагнетит и ильменит наблюдаются в виде изометричных, неправильных зерен (редко просматриваются кристаллографические очертания). Между данными минералами присутствуют границы совместного роста. Подобные границы отмечаются на контакте с клинопироксеном, наблюдаются сечения, в которых ильменит и титаномагнетит ксеноморфны по отношению к клинопироксену и плагиоклазу основной массы. Средний размер зерен титаномагнетита и ильменита составляет 0.01×0.007 мм. Они минералы характеризуются повышенными содержаниями V_2O_3 . В титаномагнетите количество V_2O_3 составляет до 1.132%, а в ильмените 0.838%. По химическому составу минералы наиболее близки к средним составам аналогичных минералов ультраосновных пород [3, 8].

Хромшпинелид встречается в виде единичных идиоморфных зерен октаэдрического габитуса средним размером 0.008×0.008 мм.

Основной геохимической особенностью двупироксеновых базальтовых андезитов является их принадлежность к калиевой серии. Для них характерны относительно высокие содержания Al_2O_2 (16.8-17.8 %), умеренные величины отношения FeO*/MgO (1.24-1.84), слабо дифференцированное распределение редкоземельных элементов ($[La/Yb]_n$ = 5.8-7.6) (рис. 2А), отсутствие хорошо выраженной европиевой аномалии (Eu/Eu* = 0.91-0.98), умеренное обогащение крупноионными литофильными элементами (K (12890-15310 ppm), Rb (14-30 ppm), Ba (645-830 ppm), Sr (645-826 ppm)) при относительном дефиците высокозарядных элементов (Nb (4-5 ppm), Ta (0.3-0.4 ppm), Hf (2.8-3.6 ppm), что отчетливо проявлено на спайдерграмме (рис. 2Б). Кроме того, для базальтовых андезитов установлены достаточно высокие концентрации Ni (70-106 ppm) и Cr (139-207 ppm).

Изотопное $^{40}Ar/^{39}Ar$ датирование трех образцов базальтовых андезитов выполнено по фрагментам основной массы, отбор которых производился вручную под бинокулярной лупой из фракции 0.25-0.15 мм. В результате получена серия согласующихся оценок возраста 117-119±2 млн. лет [7].

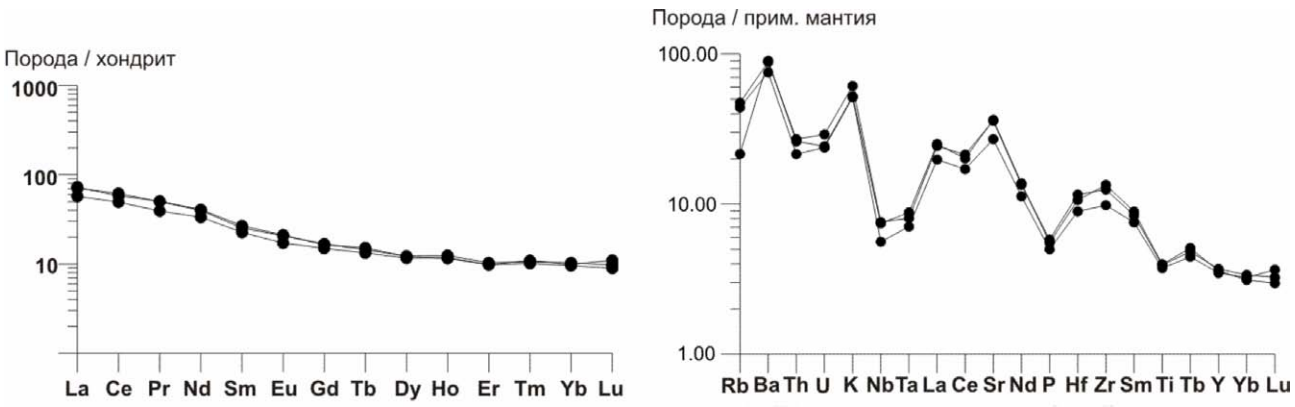


Рис. 2. Нормированные по хондриту C_1 [10] спектры распределения РЗЭ в базальтовых андезитах (А) и нормированные по составу примитивной мантии [10] спектры распределения малых элементов в базальтовых андезитах (Б).

Таким образом, на основании проведенных петрографо-минералогических и геохимических исследований исследований установлено, что базальтовые андезиты характеризуются зональностью фенокристаллов плагиоклаза, выраженной в увеличении основности минерала от периферии к центру и зональностью порфировых выделений клинопироксена, представленной увеличением содержания Cr_2O_3 от периферии к центру минерала. В то же время для титаномагнетита и ильменита характерны повышенные значения V_2O_3. Эти минералогические особенности двупироксеновых базальтовых андезитов могут указывать на гибридный характер исходного расплава.

На основании геохимических и изотопно-геохимических исследований [7] можно сделать вывод о том, что, по крайней мере, один из эпизодов вулканической активности, запечатленный в выполнении Амуро-Зейской депрессии, приходится на возрастной интервал 118 - 117 млн. лет, который в стратиграфической шкале отвечает апту. Этому интервалу соответствует проявление бимодального вулканизма и становление интрузий субщелочных гранитоидов в пределах ее западного и северного обрамления [6, 12]. Вулканические процессы этого же возраста проявлены в пределах Большехинганского магматического ареала [13] и рифтогенных впадин Забайкалья [4] и впадины Сунляо [11].

Изученные базальтовые андезиты обладают двойственными особенностями. С одной стороны их минералогический состав более характерен для пород толеитовой петрохимической серии, тогда как низкая величина FeO*/MgO = 1.2-1.8 характерна для пород известково-щелочной серии. При этом установленный для них дефицит высокозарядных элементов (Nb, Ta, Hf), равно как и высокие отношения La/Ta = 47 - 51 типичны для пород активных континентальных окраин и островных дуг. С другой стороны величины отношений Hf/Th = 1.48 - 1.55 и Th/La = 0.13 в базальтовых андезитах Амуро-Зейской депрессии в большей степени отвечают базальтам океанических островов [10], нежели породам зон субдукции, а высокие концентрации сидерофильных элементов сближают их с примитивными мантийными магмами. В целом отмеченные геохимические особенности характерны для пород несубдукционных этапов развития островных дуг и континентальных окраин [1, 9]. Принимая во внимание глобальные геодинамические реконструкции [2, 5], в качестве наиболее вероятной геодинамической обстановки формирования базальтовых андезитов Амуро-Зейской депрессии аптского возраста следует рассматривать обстановку трансформной континентальной окраины.

Исследования выполнены при поддержке РФФИ (проект 08-05-00643), Президиума ДВО РАН (проекты «Геодинамическая эволюция восточной части Центрально-Азиатского подвижного пояса в палеозое и мезозое» и «Крупные магматические провинции Восточной Азии: металлогения, модели магматизма и рудообразования»).

Список литературы

1. Авдейко Г.П., Попруженко С.В., Палуева А.А. Геодинамика и вулканизм Курило-Камчатской островодужной системы. Петропавловск-Камчатский, 2001. С. 9-34.

2. Геодинамика, магматизм и металлогения востока России. Кн. 1. Ред. А.И. Ханчук. Владивосток: Дальнаука, 2006. 572 с.

3. Годовиков А.А. Минералогия. М.: Недра, 1983. 647 с.

4. Гордиенко И.В., Баянов В.Д., Климук В.С. и др. Состав и возраст (39Ar/40Ar) вулканогенных пород Чикой-Хилокской рифтогенной впадины в Забайкалье // Геология и геофизика. 1999. Т. 40. № 4. С. 583-591.

5. Парфенов Л.М., Берзин Н.А., Ханчук А.И. и др. Модель формирования орогенных поясов Центральной и Северо-Восточной Азии // Тихоокеанская геология. 2003. Т. 22. №. 6. С.7-41.

6. Сорокин А.А., Пономарчук В.А., Сорокин А.П. и др. Геохронология и корреляция мезозойских магматических образований северной окраины Амурского супертеррейна // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 2004. Т. 12. № 6. С. 38-54.

7. Сорокин А.А., Сорокин А.П., Пономарчук В.А. и др. Базальтовые андезиты аптского возраста Амуро-Зейской депрессии: первые геохимические и $^{40}Ar/^{39}Ar$ геохронологические данные // Докл. АН. 2008. Т. 421. № 4. С. 525-529.

8. Типоморфизм минералов: Справочник. Ред. Л.В. Чернышева М.: Недра, 1989. 560 с.

9. Цветков А.А. Магматизм и геодинамика Командорско-Алеутской Островной дуги. М.: Наука, 1990. 325 с.

10. Sun S.S., McDonough W.F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implication for mantle composition and processes // Magmatism in the Ocean Basins. Geol. Soc. Spec. Publ. № 42. Blackwell Scientific Publ.. 1989. P. 313-346.

11. P-J Wang, W-Z Liu, S-X Wang, W-H Song. 40Ar/39Ar and K-Ar dating on the volcanic rocks in the Songliao basin, NE China: constraints on stratigraphy and basin dynamics // Int. J. Earth Sci. 2002. V. 91. P. 331-340.

12. Sorokin A.A., Ponomarchuk V.A. Umlekan-Ogodzha Early Cretaceous magmatic belt (North margin of the Amurian superterrane): duration of magmatism // Geochim. et Cosmochim. Acta. 2002. V. 66. S.1. P. A728.

13. Wei-Ming Fan, Feng Guo, Yue-Jun Wang, Ge Lin. Late Mesozoic calc-alkaline volcanism of post-orogenic extension in northern Da Hinggan Mountains, northeastern China // Journal of volcanology and geothermal research. 2003. V. 121. P. 115-135.

ГАЗОГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ КИМБЕРЛИТОВ ТРУБКИ «ЕРМАКОВСКАЯ-7» НА КОЛЬСКОМ ПОЛУОСТРОВЕ

В.А. Нивин
Геологический институт КНЦ РАН, г. Апатиты, e-mail: nivin@geoksc.apatity.ru

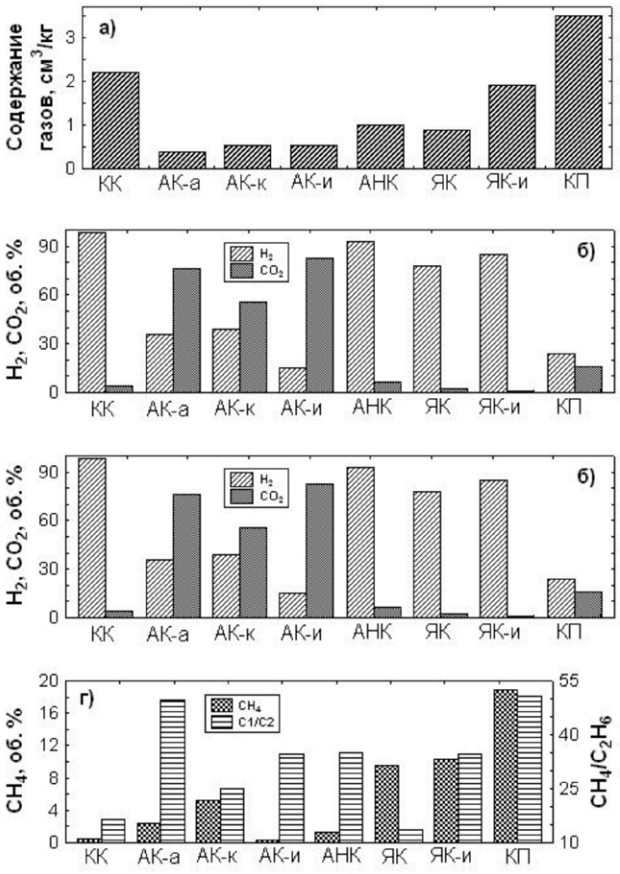


Рис. 1. Средние (а) удельные концентрации и (б - г) относительные содержания компонентов в окклюдированных газах. Кимберлиты: Кольского полуострова (КК), автолитовые брекчии (АК-а), ксенотуфобрекчии (АК-к) и интенсивно измененные (АК-и) Архангельской области, слабо (ЯК) и сильно (ЯК-и) серпентинизированные Якутской провинции. АНК – не алмазоносные диатремы Зимнего берега, КП – терские песчаники.

Газовой фазе большинством исследователей отводится определяющая роль в формировании кимберлитовых трубок, а во многих случаях и алмазов. Этим объясняется непреходящий интерес к газовым компонентам, в первую очередь, углеродистым, окклюдированным как в кимберлитах в целом, так и в отдельных слагающих их минералах. Связанные с диатремами свободные диффузионно-фильтрационные газовыделения, наряду с геохимическим, имеют важное поисковое значение. Предполагаются самые разные источники газов обоих морфологических типов – от мантийного до биогенного.

Обычно на результаты изучения окклюдированных газов (ОГ) значительное влияние оказывает методика их анализа и, особенно, извлечения из образцов пород и минералов. По этой причине газогеохимические характеристики кимберлитов из разных трубок, полей и, тем более, провинций обычно не сопоставляются. Здесь предпринята попытка сравнения содержания и состава таких газов в кимберлитах трубки «Ермаковская-7» (Терский берег, южная часть Кольского полуострова), Золотицкого поля Зимнебережного района (Архангельская область) и Якутской провинции. Экстракция газов из пород проводилась в бывшей лаборатории газов и битумов ГИ КНЦ РАН хотя и в разное время, но по единой, в общем, методике механического измельчения образцов [1]. Анализ газовых смесей осуществлялся на хроматографах. Всего изучено 50 образцов. Анализы якутских кимберлитов (преимущественно из трубки «Удачная-восточная») заимствованы в недавно созданном электронном банке данных и частично были опубликованы ранее [7].

Геологическое строение трубки «Ермаковская-7» детально и неоднократно описано [2, 3 и др.]. Окклюдированные газы изучались в резко преобладающих флогопит-оливиновых кимберлитах жерловой фации. Породы диатрем Зимнего берега условно разделены на 4 группы: автолитовые брекчии, ксенотуфобрекчии, интенсивно измененные (сапонитизированные и серпентинизированные) кимберлиты и непродуктивные в отношении алмазов, родственные кимберлитам породы. В кимберлитах Якутии выделяются сравнительно «свежие» и сильно серпентинизированне разности.

Сопоставление газогеохимических характеристик показало, что кимберлиты Терского берега отличаются повышенной общей газонасыщенностью и по этому показателю близки серпентинизированным кимберлитам Якутии (рис. 1). Еще выше удельные концентрации ОГ во вмещающих кольские кимберлиты терских песчаниках. По содержанию доминирующих в составе газов молекулярного водорода и диоксида углерода кимберлиты Кольского полуострова, в которых резко преобладает H_2, ближе всего к породам непродуктивных трубок Зимнего берега и якутским кимберлитам, а по относительной доле He, CO и CH_4 – напротив, к зимнебережным кимберлитам. Они сопоставимы с неизмененными якутскими кимберлитами по величине отношения метана к этану и значительно отличаются по газогеохимическим характеристикам от вмещающих песчаников.

Одним из важных показателей природы и условий формирования углеводородов, включая газообразные, является характер их молекулярно-массового распределения (ММР), в частности степень соответствия его классическому распределению Андерсона-Шульца-Флори, когда график в координатах $C_1 \ldots C_n$ – логарифм концентраций этих компонентов представляет собой близкую к прямой линию, угол наклона которой увеличивается с ростом температуры. В таких случаях (например, в ОГ нефелиновых сиенитов, фоидолитов и щелочногранитных пегматитов [9]), при относительно крутой линейной зависимости, предполагается абиогенное образование газов

по реакциям типа Фишера-Тропша на позднe- и постмагматическом этапах эволюции магматических систем. Из рассматриваемых кимберлитов подобное происхождение можно предположить лишь для ОГ в диатремах Якутии (рис. 2). ММР углеводородных газов в кимберлитах Терскобережного и Зимнебережного районов, сходное с таковым в высокотемпературных лавах вулкана Толбачик, в гранитах и базальтах Восточной Сибири [9], не подчиняется классическому, что подразумевает другие условия газогенерации, скорее всего, соответствующие раннемагматической стадии.

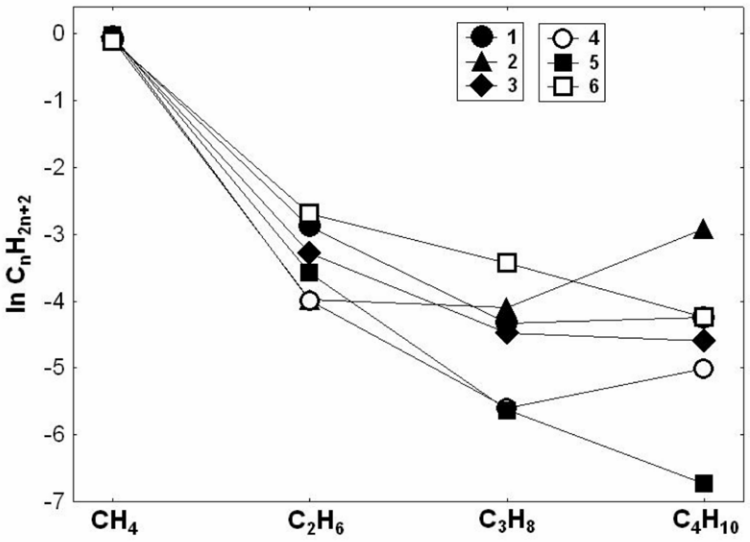


Рис. 2. Молекулярно-массовое распределение углеводородов окклюдированных газов в кимберлитах Кольского региона (1), Зимнего берега (2 – автолитовых брекчиях, 3 – ксентуфобрекчиях) и Якутии (5 – серпентинизированных, 6 – слабо измененных); 4 – породы непродуктивных диатрем Зимнего берега.

Более двух десятилетий назад выявлены различия газовых полей подпочвенных отложений, перекрывающих кимберлитовые трубки и вмещающие их породы [4, 5, 12] и, таким образом, созданы предпосылки для использования атмогеохимических ореолов при поисках скрытых кимберлитовых тел. Из двух вариантов приповерхностной газовой съемки – по свободным и сорбированным рыхлыми отложениями газам, последний, по крайней мере, для северных регионов, оказался предпочтительнее [6]. Поскольку на состав и концентрацию подпочвенных газов влияют многие геологические (и не только) факторы, для внедрения атмогеохимических поисков в производственную практику необходимы специальные опытно-методические исследования в каждом конкретном районе. Такие исследования были проведены и на нескольких участках Ермаковского кимберлитового поля. Результаты первичной обработки полученных данных опубликованы ранее [10]. Здесь же более детально рассматриваются материалы приповерхностной газовой съемки на участке трубки «Ермаковская-7», перекрытой четвертичными отложениями мощностью 8 – 12 м.

По двум субперпендикулярным профилям, пересекающим эту диатрему с выходом во вмещающие терские песчаники (рис. 3), вручную, с интервалом 10 – 20 м, с помощью заостренной стальной трубы и кувалды проходились мелкие скважины диаметром 40 - 60 мм, в которых на глубине 0.3 – 0.6 м посредством газоотборника, представляющего собой перфорированную с одного конца латунную трубку диаметром 10 мм, опробовалась под-

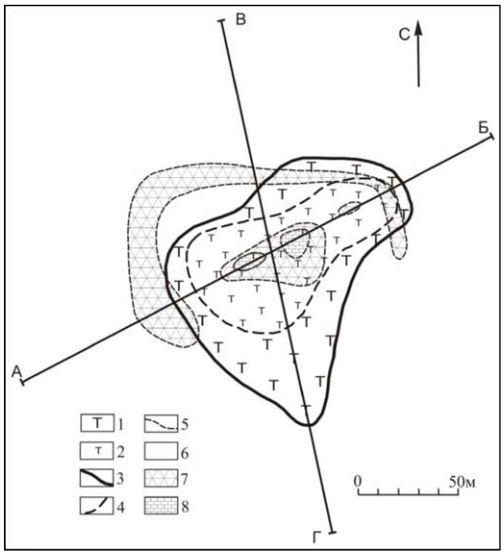


Рис. 3. Схема геологического строения кимберлитовой трубки «Ермаковская – 7» (по [2, 3] с упрощениями) и распределения концентраций диоксида углерода в подпочвенном воздухе (по [10]).

1 и 2 – кимберлиты оливин-флогопитовые, среднезернистые жерловой фации (1) и мелкозернистые кратерной фации (2); 3 и 4 – границы диатремы (3) и фациальные (4); 5 – изоконцентраты CO_2; площади концентраций CO_2, об. %: 6 - < 0.5, 7 – от 0.5 до 1.0, 8 - > 1.0.

почвенная атмосфера. Вблизи верхнего конца трубки крепились или резиновые кольца, несколько превышающие в поперечнике диаметр скважины, или набор пробок в виде усеченного конуса, обтянутого резиной, что обеспечивало достаточную герметизацию скважины в ее приустьевой части. С помощью водяного насоса подпочвенный воздух забирался в стеклянные бюретки, предварительно заполненные солевым раствором. С той же глубины 0.3 – 0.6 м отбирались пробы рыхлого грунта, помещаемые в герметичные стальные контейнеры. В лаборатории из этих проб методом термовакуумной дегазации извлекался сорбированный газ. Анализ газовых проб осуществлялся на хроматографах с определением H_2, He, CO_2, CH_4, C_2H_6, C_3H_8. В ряде дополнительных скважин на участке трубки, как на упомянутых профилях, так и за их пределами, переносным шахтным газоанализатором ШИ-10 проведено определение CO_2 в полевых условиях, что в комплексе с опробованием по профилям позволи-

ло получить представление о площадном распределении этого компонента в подпочвенных отложениях (рис. 3).

Повышенные содержания диоксида углерода в подпочвенном воздухе фиксируются в виде цепочки аномалий, трассирующих, по-видимому, газопроницаемую зону северо-восточного простирания в срединной части трубки, а также в виде подковообразной аномалии в зоне северного и, отчасти, западного и восточного контактов диатремы. При максимальной измеренной концентрации CO_2, равной 6 об. %, и расчетной средней для данного участка 0.3 – 0.4 об. %, контрастность почвенно-воздушной углекислотной аномалии над кимберлитами достигает 15 – 20. По ряду причин, как объективных (заболоченность отдельных частей участка и слишком быстрое заполнение скважин водой), так и субъективных (не была обеспечена сохранность некоторых стеклянных бюреток с пробами при их транспортировке и подготовке к анализу), достоверной картины распределения других газовых компонентов свободной фазы в подпочвенном воздухе получить не удалось. Характер распределения газов, сорбированных рыхлыми отложениями, по пересекающим трубку профилям (рис. 3) показан на рис. 4. Содержания гелия в газах этого морфотипа близки к воздушному и порогу чувствительности хроматографа и потому не информативны, а поведение углеводородных компонентов оказалось практически синфазным, при несколько большей контрастности этана и пропана по сравнению с метаном.

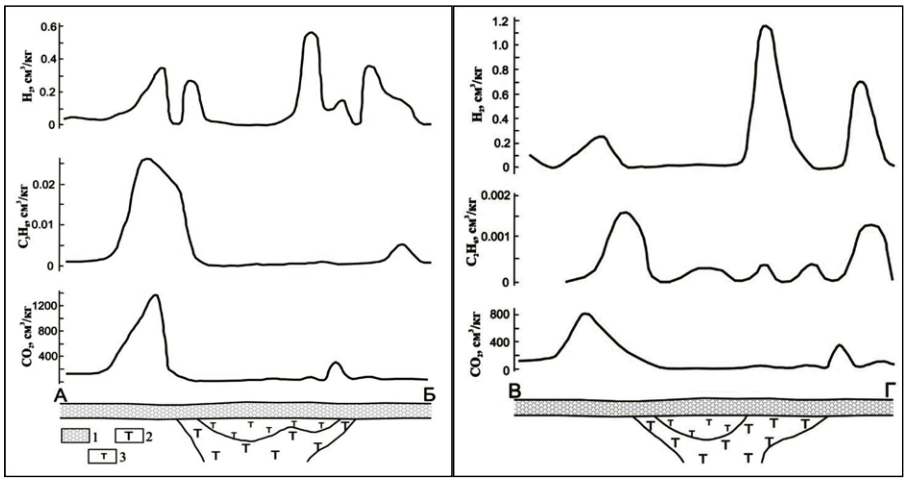


Рис. 4. Распределение сорбированных газов по профилям через трубку «Ермаковская-7».

1 – четвертичные отложения, 2 и 3 – кимберлиты, соответственно, жерловой и кратерной фаций.

По профилю А-Б наибольшей газопроницаемостью отличается зона юго-западного экзоконтакта трубки, фиксируемая по H_2, УВГ и CO_2. Максимальные содержания водорода обнаружены над срединной частью кимберлитового тела. Кроме того, относительно высокие концентрации этого компонента выявлены в ЮЗ эндоконтакте и СВ экзоконтакте диатремы. В последнем отмечается также незначительное повышение УВГ. По профилю В-Г в обоих экзоконтактах зафиксированы аномалии разной степени контрастности и несколько сдвинутые относительно друг друга по всем из рассматриваемых индивидуальных газов. Наиболее высокие содержания водорода снова установлены непосредственно над кимберлитами.

Представляется, что выявленные особенности локализации подпочвенных газовых компонентов в данном случае определяются не только (а может быть и не столько) характером, по всей видимости, субвертикальных, связанных с кимберлитами газоподводящих зон, но и конфигурацией пустотного пространства значительного суммарного объема, наличие которого можно предполагать исходя из установленной здесь периодической инверсии движения воздуха по стволам скважин. Инверсия обусловлена вариациями атмосферного давления, при снижении которого наблюдалось выделение воздуха из скважин, а при повышении - всасывание [11]. При этом расход воздуха в отдельной скважине и его количество, проходящее за один период, достигали, соответственно, 488 м^3/ч и 9500 м^3. По нашим оценкам, общий объем системы связанных трещин и пор составляет около 2×10^7 м^3, а площадь этой зоны, с учетом ее предполагаемой мощности 12 – 15 м (от уровня грунтовых вод до нижней границы рыхлых отложений) многократно превышает площадь кратерной части трубки. Эти наблюдения, кстати, могут свидетельствовать в пользу флюидизатной [8] или фреатомагматической моделей формирования кимберлитовых трубок Терского берега. Однако ясно, что независимо от природы как собственно диатрем, так и связанных с ними газовыделений, фиксируемых в подпочвенной атмосфере, профильная, а лучше площадная, приповерхностная газовая съемка по отдельным компонентам или их совокупности может быть использована при поисках алмазоносных кимберлитов на Кольском полуострове, в частности, для разбраковки и локализации геофизических аномалий до их разбуривания, как это практикуется в ряде других стран и регионов, например, в Канаде [13 - 15].

Терскобережные кимберлиты отличаются от таковых Архангельской области и, в меньшей степени, от якутских более высокими удельными концентрациями окклюдированных газов, а по составу газовой фазы и характеру молекулярно-массового распределения углеводородов оказались ближе к кимберлитам и родственным им породам Зимнего берега. Наиболее важной особенностью, имеющей перспективы практического приложения при поисках новых алмазоносных объектов на Кольском полуострове, является повышенное по отношению к вмещающим породам на удалении от кимберлитовой трубки выделение газовых компонентов в зоне ее экзоконтакта и непосредственно из кимберлитов, что фиксируется газовой съемкой по подпочвенному воздуху.

Список литературы

1. Икорский С.В., Нивин В.А., Припачкин В.А. Геохимия газов эндогенных образований. СПб.: Наука, 1992. 179 с.

2. Калинкин М.М., Арзамасцев А.А., Поляков И.В. Кимберлиты и родственные породы Кольского региона // Петрология. 1993. Т. 1. № 2. С. 205-214.

3. Калинкин М.М., Поляков И.В. Кимберлиты и родственные породы Терского берега Кольского полуострова // Проблемы золотоносности и алмазоносности Севера европейской части России. Петрозаводск: Изд-во КарНЦ РАН, 1997. С. 117-123.

4. Клименко В.М., Дубровский В.В., Петрикей Т.А. Поиски скрытых кимберлитовых тел по ореолам сорбированных газов // Разведка и охрана недр. 1986. № 3. С. 22-27.

5. Кондратов Л.С., Ершова М.В. Углеводородные газы горных пород в связи с использованием при поисках полезных ископаемых // Известия ВУЗов. Геология и разведка. 1986. № 7. С. 123-126.

6. Кондратов Л.С., Кудрявцева Г.П., Старостин В.И. и др. Особенности газового поля кимберлитовых трубок // Докл. АН. 2005. Т. 404. № 6. С. 817-820.

7. Лутц Б.Г., Петерсилье И.А., Каржавин В.К. Состав газообразных веществ в породах верхней мантии Земли // Докл. АН СССР. 1976. Т. 226. № 2. С. 440-443.

8. Махлаев Л.В., Голубева И.И. Являются ли кимберлиты магматическими породами? // Вестник ИГ Коми НЦ УрО РАН. 2007. № 12. С. 6-12.

9. Нивин В.А. Молекулярно-массовое распределение газообразных углеводородов и проблема их происхождения в щелочных магматических комплексах // Щелочной магматизм, его источники и плюмы. Труды VIII Международного семинара. Ред. Н.В. Владыкин. Иркутск, 2008. С. 107-130.

10. Нивин В.А., Пушкин М.Г., Припачкин В.А. и др. Предпосылки использования атмогеохимических ореолов для поисков трубок взрыва на Кольском полуострове // Новое в изучении минерально-сырьевых ресурсов Мурманской области. 1988. (Редкометальное сырье. Минерагения четвертичных отложений. Методические разработки). Ред. В.З. Негруца. Препр. Апатиты, 1989. С. 26-30.

11. Новое в изучении минерально-сырьевых ресурсов Мурманской области.1987. (Нетрадиционные типы сырья и методы исследований). Ред. В.З. Негруца. Препр. Апатиты, 1988. С.32-34.

12. Стогний Г.А., Стогний В.В., Келле Э.Я. и др. Атмохимические поиски кимберлитовых тел в закрытых районах // Разведка и охрана недр. 1984. № 4. С. 24-26.

13. Cameron, E.M., Hamilton, S.M., Leybourne et al. Finding deeply buried deposits using geochemistry // Geochemistry, Exploration, Environment, Analysis. 2004. V. 4. P. 7-32.

14. McClenaghan M.B., Kjarsgaard B.A. Indicator mineral and surficial geochemical exploration methods for kimberlite in glaciated terrain; Examples from Canada // Goodfellow W.D., ed., Mineral Deposits of Canada: A Synthesis of Major Deposit-Types, District Metallogeny, the Evolution of Geological Provinces, and Exploration Methods: Geological Association of Canada, Minaral Deposits Division, Spec. Publ. 2005 N. 5. P. 983-1006.

15. Thiede D.S., Windle S.J., Hall et al. SDP soil-gas geochemistry at Cross Lake, Ontario: 22nd International Geochemical Exploration Symposium. Association of Applied Geochemists. Program and Abstracts. 2005. P. 103-104.

ПЕРВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ МОНИТОРИНГА ХОДА ВОДОРОДА И СОПОСТАВЛЕНИЯ ПОЛУЧЕННЫХ ДАННЫХ С СЕЙСМИЧНОСТЬЮ НА РУДНИКЕ «КАРНАСУРТ» (ЛОВОЗЕРСКОЕ РЕДКОМЕТАЛЬНОЕ МЕСТОРОЖДЕНИЕ, КОЛЬСКИЙ ПОЛУОСТРОВ)

В.А. Нивин[1], А.В. Ловчиков[2], Р.Г. Рахимов[3]
[1]Геологический институт КНЦ РАН, г. Апатиты, e-mail: nivin@geoksc.apatity.ru
[2]Горный институт КНЦ РАН, г. Апатиты, e-mail: vocson@goi.kolasc.net.ru
[3] ООО «Ловозерский ГОК», пос. Ревда, e-mail: lvzr@revda.gsras.ru

Газы, выделяющиеся из земных недр, оказывают непосредственное влияние на динамические оболочки нашей планеты и окружающую человека среду. С другой стороны, газовые компоненты в тех или иных количествах присутствующие в любых геологических формациях, в силу своей мобильности весьма чувствительны к изменению состояния вмещающих их пород и могут служить индикаторами многих современных геодинамических процессов и явлений. Один из примеров – неравномерные в пространстве и нестабильные во времени выделения газов водородно-углеводородного состава из пород Хибинского и Ловозерского щелочных массивов на Кольском полуострове [1]. Наряду с необычно высокой для магматических образований газоносностью, они характеризуются неравномерным распределением тектонических напряжений, иногда в десятки раз превышающих литостатические, а также существенной природной и наведенной сейсмичностью [3 и др.]. Поэтому при эксплуатации связанных с данными комплексами крупнейших апатит-нефелиновых и редкометальных месторождений столкнулись с необходимостью прогнозирования как выделений горючих и взрывоопасных газов в рудничные горные выработки, так и динамических проявлений горного давления.

Несмотря на то, что в составе свободно (спонтанно) выделяющихся газов Ловозерского массива молекулярный водород является главным или вторым по значению (после метана) компонентом, изучению его, в отличие

от углеводородов, достаточного внимания не уделялось. С появлением разработанного в МИФИ портативного водородного газоанализатора высокой чувствительности, появилась возможность проводить мониторинг выделения H_2 по изменению его концентраций в атмосфере подпочвенных отложений, горной выработки, канала шпура или скважины. Наблюдения за ходом водорода в подпочвенном воздухе в последнее время осуществляются в разных регионах страны, в основном, с целью выявления взаимосвязи вариаций газовыделения с геодеформационными процессами и поисков индикаторов и предвестников этих процессов, а также экспериментальной проверки «водородной» концепции разрушения озонового слоя планеты [2, 6 и др.]. Такие же задачи ставились и при организации режимных наблюдений за ходом концентраций водорода в подземном руднике «Карнасурт», отрабатывающем две пластовых рудных залежи Ловозерского редкометального (лопаритового) месторождения. Кроме того, здесь предполагалось выявить закономерности и основные факторы изменения во времени интенсивности выделения природных горючих и взрывоопасных газов, каковыми являются и углеводороды, и водород.

Мониторинг проводится с помощью газоанализатора водорода модификации ВГ-3а, состоящего из чувствительного элемента (ЧЭ) с усилителем, двухканального измерительного модуля и блока питания. Принцип работы ЧЭ заключается в изменении электроемкости МДП (металл-диэлектрик-полупроводник)-структуры под действием водорода в воздухе. Сигнал от ЧЭ отображается на жидко-кристаллическом индикаторе и с заданным интервалом времени регистрируется в энергонезависимой памяти. Прибор питается от сети 220 в. На случай перебоев (до суток) с электроэнергией предусмотрено питание от внешнего аккумулятора. Установка времени, даты и периодичности измерений, чтение (съем) данных осуществляются с ноутбука с помощью прилагаемой программы. Диапазон измерений концентрации водорода в воздухе от 0,0001 до 0,01 об. % (1 - 100 ppm), разрешающая способность 0,0001 об. %, относительная ошибка ± 3 %, период записи в память от 1 с до 99 час. Газоанализатор может эксплуатироваться при температуре окружающей среды от –20 до +30˚С, относительной влажности до 90 % и давлении воздуха от 720 до 780 мм рт.ст.

Оптимальным, позволяющим, в числе прочего, обеспечить питание и сохранность прибора, местом для организации пункта наблюдения оказался тупиковый квершлаг в центральной части шахтного поля на горизонте +430 м (~ 300 м от поверхности), в пределах отработанной, в основном, части малиньитовой рудной залежи II-4. Здесь же расположена сейсмостанция «Ловозеро» ГС РАН.

Наблюдения за ходом водорода начались в марте 2008 года. Прерванный по техническим причинам в апреле и мае, далее мониторинг осуществляется постоянно по настоящее время. Измерения записываются в память газоанализатора с дискретностью 5 минут.

Как и в Хибинах, где такого рода режимные наблюдения за подпочвенным водородом длятся уже более трех лет [2], в подземном руднике Ловозерского массива установлены значительные, разных амплитуды и периодичности, вариации концентраций H_2 - от 210 до 3300 условных единиц, что приблизительно соответствует диапазону 4 – 180 ppm (рис. 1 и 2). При этом колебания с размахом в полтора порядка величины могут происходить в течение суток и менее. Даже простой визуальный анализ временного ряда позволяет предположить совокупное влияние на выделение водорода, по крайней мере, нескольких, также меняющихся во времени, факторов. Обращает на себя внимание сезонный характер вариаций: в июне – сентябре частота и амплитуда колебаний заметно увеличиваются.

Для обработки временного ряда содержаний H_2 в подпочве Хибинского массива использован метод фликкер-шумовой спектроскопии (ФШС), основанный на представлениях о необратимости пространственно-временной эволюционной динамики реальных систем на всех уровнях иерархии [4, 5]. Анализ спектров мощности полученных сигналов в низкочастотном интервале выявил следующие периоды всплесков концентрации водорода: 60.9, 34.7, 13.9, 8.5, 7.2, 6.1, 4.9, 3.1, 2.9, 1.37 суток, 24.1 часа (основной), 12 час. Здесь очевидно проявление космических ритмов, обусловленных положением Земли в околосолнечном пространстве. Суточный и полусуточный периоды связаны с вращением Земли вокруг собственной оси, а также, наряду с периодами 7.2 и 13,9 суток, с лунными фазами. Под действием лунно-солнечных приливов происходят периодические сдвиговые деформации в земной коре и разуплотнения ее структуры, влияющие на вертикальную миграцию флюидов и определяющие гармоничный характер разгрузки индивидуальных газовых компонентов в атмосферу. Луна оказывает также гравитационное воздействие на земное ядро, являющееся, как предполагается, главным резервуаром планетарного водорода. Согласующееся с вариациями скорости вращения Земли «шевеление» внутреннего твердого ядра в жидком может приводить к усилению выбросов водорода.

Визуально наблюдаемое определенное сходство временных рядов водорода в обоих массивах подтверждается результатами выборочного их сравнения по тому же методу ФШС (С.Ф. Тимашев, персональное сообщение). При этом, в одном случае измерялся ход H_2 в подпочвенных отложениях, а в другом – в атмосфере подземной горной выработки. Следовательно, можно говорить о неких общих причинах глобального характера, обусловливающих или оказывающих влияние, наряду с другими, на вариации газовыделения.

Сопоставляя (пока только графически) ход водорода на руднике «Карнасурт» с фазами Луны (рис. 1 и 2), можно видеть, что в периоды новолуния и, особенно, полнолуния чаще, чем в первую и последнюю четверти, наблюдаются относительное повышение интенсивности и усиление нестабильности газовыделения.

В отношении сейсмичности период газометрических наблюдений был достаточно спокойным. В 2008 г. зарегистрировано лишь одно крупное сейсмическое событие, характеризуемое магнитудой 1.5 (~ 10^7 Дж), произошедшее 2 ноября (рис. 1). Энергия всех остальных событий, вынесенных на этот рисунок, составляла

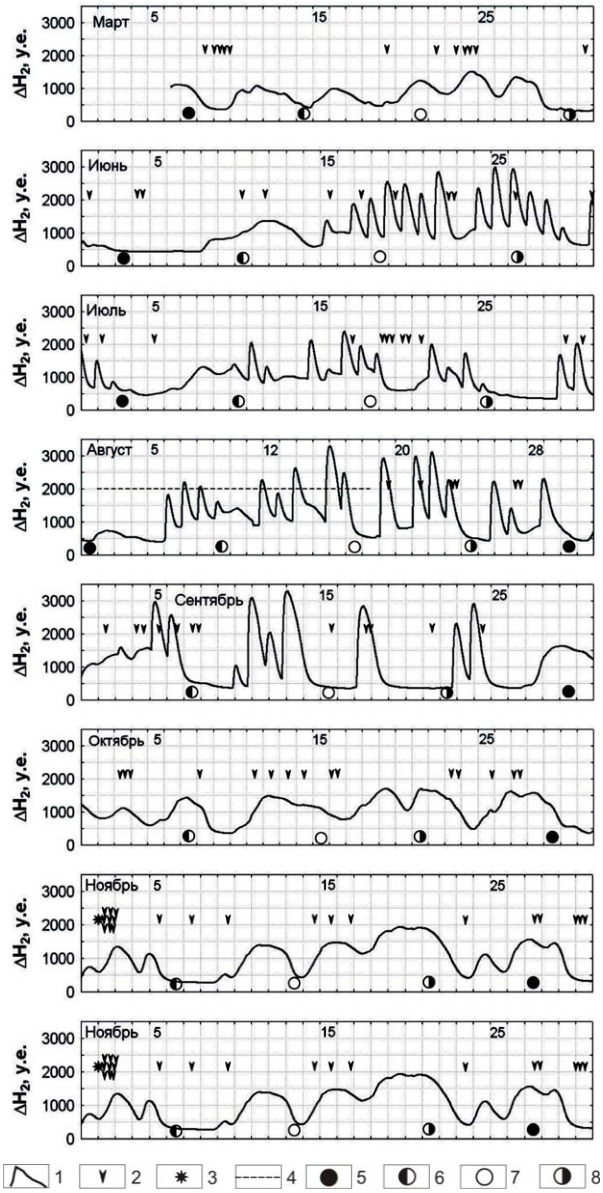


Рис. 1. Ход концентраций молекулярного водорода в горной выработке подземного рудника «Карнасурт» (2008 г.)

1 – превышение содержания H_2 относительно фонового; 2 и 3 – сейсмические события с энергией 10^{-3} – 10^{-4} Дж (2) и $1.5 \cdot 10^{-7}$ Дж (3); 4 – регистрация сейсмичности не проводилась; фазы Луны: 5 – новолуние, 6 – первая четверть, 7 – полнолуние, 8 – последняя четверть.

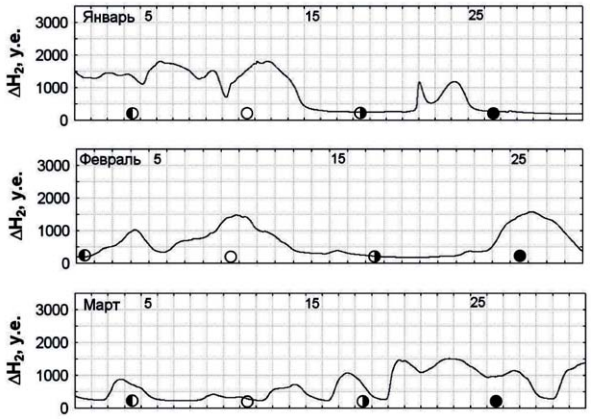


Рис. 2. Вариации выделения водорода в I квартале 2009 г. Условные обозначения см. на рис. 1.

10^3 – 10^4 Дж. События, имевшие место в пределах выше (около 120 м) залегающего рудного тела I-4 здесь не рассматриваются. Сопоставление времени мелких сейсмических событий с ходом водорода показывает, что часто им предшествует повышение (в той или иной степени) интенсивности газовыделения, оправдывая тем самым ожидания. В целом, взаимосвязь этих явлений на данном этапе исследований не представляется однозначной. Многие сейсмические события, включая крупное, происходили до и при слабом увеличении выделения водорода или даже на фоне его относительно стабильной низкой концентрации. С другой стороны, далеко не все всплески газовыделения сопровождаются последующими проявлениями сейсмичности. В числе причин, по которым важную в практическом отношении связь рассматриваемых параметров достоверно доказать пока не удается, по-видимому, недостаточная длительность временных рядов, неучет удаленности сейсмических событий от пункта мониторинга водорода и отсутствие хотя бы еще 1 – 2 таких пунктов в границах шахтного поля и за пределами массива.

В дальнейшем временные ряды будут наращиваться и подвергаться компьютерной математической обработке. При этом предусматривается учет пространственных координат сейсмических событий, а в динамике хода водорода предполагается вычленить и рассматривать отдельно составляющие, обусловленные глобальными геофизическими факторами и изменением напряженно-деформированного состояния локальных участков породного массива.

Полученные данные могут служить еще одной предпосылкой для разработки газогеохимических, в частности, водородометрических прогностических признаков опасных геодинамических явлений, таких, как горные и горно-тектонические удары.

Список литературы

1. Икорский С.В., Нивин В.А., Припачкин В.А. Геохимия газов эндогенных образований. СПб.: Наука, 1992. 179 с.

2. Нивин В.А., Сывороткин В.Л. Временной ход концентраций подпочвенного водорода в срединной кольцевой структуре Хибинского массива // Петрология и минерагения Кольского региона. Труды V Всерос. (с межд. участием) Ферсмановской научн. сессии. Апатиты, 14 – 15 апреля 2008 г. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2008. С. 322-325.

3. Сейсмичность при горных работах. Ред. Н.Н. Мельников. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2002. 325 с.

4. Сывороткин В.Л., Нивин В.А., Тимашев С.Ф. Мониторинг выделения водорода в Хибинских горах // Дегазация Земли: геодинамика, геофлюиды, нефть, газ и их парагенезисы. Матер. Всерос. конф., 22-25 апреля 2008 г. М.: ГЕОС, 2008. С. 477-479.

5. Тимашев С.Ф. Фликкер-шумовая спектроскопия: информация в хаотических сигналах. М.: Изд-во Физматлит, 2007. 248 с.

6. Фирстов П.П., Широков В.А. Динамика молекулярного водорода и ее связь с геодеформационными процессами на Петропавловск-Камчатском геодинамическом полигоне по данным наблюдений в 1999-2003 гг. // Геохимия. 2005. № 11. С. 1151-1160.

ТЕОРИЯ БОГАТОГО ФЛЮИДНОГО РУДООБРАЗОВАНИЯ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ «УГЛЕКИСЛОТНОЙ ВОЛНЫ»

Ф.М. Ройзенман
г. Москва, e-mail: feliksmr@gmail.com

Современная теория флюидного минерало- и рудообразования разработана более 70 лет назад на основании экспериментов по растворимости компонентов в чистой воде. На основании исследований был сделан вывод, что при остывании природного раствора должна происходить однократная последовательная кристаллизация минералов. Но многие важные закономерности природных флюидных процессов не смогли найти аргументированного объяснения в этой общепринятой теории:

- Проблема богатого оруденения (проблема «рудных столбов»), то есть – в чем специфика термобарогеохимических условий образования богатых руд. Эта проблема имеет и огромное прикладное значение.
- Проблема обратимости минералообразования, то есть – формирование в одной горной породе нескольких генераций одного минерала.
- Проблема скачкообразности рудообразования. Как было установлено Л.Н. Овчинниковым [4], рудообразование происходит только в определенных интервалах температур, разделенных «безрудными» интервалами температур.
- Проблема крупных разломов в рудообразовании. Из существующей теории не ясно, почему в крупных региональных разломах, где происходила циркуляция огромных масс гидротермальных растворов, оруденение либо бедное, либо вовсе отсутствует.
- Проблема кислотно-щелочной эволюции минералообразующих растворов. До сих пор нет достаточно аргументированного объяснения этого явления, открытого Д.С. Коржинским [3].
- Условия роста крупных кристаллов в природных условиях до сих пор достоверно не выяснены.

Указанные важные проблемы находят решение в новой теории флюидного рудообразования [5, 6], разработанной на основе формально-однозначного геологического картирования и комплексных исследований рудных полей и месторождений различных полезных ископаемых разных генетических типов (скарны, пегматиты, метасоматиты, гидротермальные жилы). В комплекс термобарогеохимических исследований включались: 1) раздельное исследование бедных и богатых руд методами гомогенизации, термозвуковой и термовакуумной декрепитации; 2) детальный газово-хроматографический анализ через каждые 40° нагрева проб в интервале температур 100-900°С; 3) детальное декрептометрическое картирование месторождений. Всего исследовано 35 месторождений 17-ти полезных ископаемых в 10-ти рудных полях СССР.

В результате этих комплексных исследований установлено, что, вне зависимости от генетического типа и вида полезного ископаемого (флогопит, мусковит, литий, рубидий, цезий, графит, медь, никель, кварцевое сырье и др.) **на всех изученных объектах рудообразование на «постмагматическом» этапе (ниже 550°С) происходило однотипно, на фоне колебательного, волнообразного изменения концентрации CO_2 в остывающих постмагматических растворах – явление «углекислотной волны»** [5]**.**

Как установлено [5, 6], для бедных руд различных полезных ископаемых характерен один крупный пик декрепитации – при температурах 480-320°. На декрептограммах богатых руд кроме этого пика (реликтового) появляется еще один пик декрепитации – при 320-100° (типоморфный для стадии богатого оруденения). Как установлено, концентрация CO_2 на стадии образования бедного, рассеянного оруденения составляет для разных полезных ископаемых 1.2 – 4.0 моль/кг H_2O, а для стадии образования богатого оруденения 11.3 – 17.4 моль/кг H_2O. Таким образом, концентрация CO_2 на стадии богатого оруденения, в среднем, в 7 раз выше, чем на стадии бедного оруденения.

Согласно экспериментальным данным Я.Н. Белевцева [1] и других исследователей, добавление даже небольших количеств CO_2 к воде резко изменяет растворимость многих компонентов, в том числе – рудных. Растворимость компонентов первой группы существенно увеличивается: CaO - в 20-380 раз, MgO – в 20-180 раз, Fe_2O_3 в 240 раз, NiO в 2 раза, SnO_2 в 25 раз. Во второй группе компонентов (Al_2O_3 и SiO_2) при добавлении CO_2 растворимость уменьшается.

В связи с «углекислотной волной» и данными по растворимости компонентов, в процессе богатого рудообразования выделены 5 стадий (рис. 1).

На стадии 1 (550-380°) при низких концентрациях CO_2 (1-4 моль/кг H_2O), в условиях сильного перенасыщения раствора и массового самопроизвольного образования зародышей минералов, из существенно водного раствора происходила кристаллизация минералов (в том числе – рудных) с образованием рассеянных, бедных руд (стадия бедного оруденения).

На стадии 2 (380-280°) в связи с резким увеличением концентрации CO_2 до 12 моль/кг H_2O, несмотря на снижение температуры, существенно увеличивалась растворимость компонентов первой группы, в том числе – рудных, и эта группа компонентов переходила обратно в раствор (первая стадия растворения рудных к омпонентов).

На стадии 3 (280-220°) происходило существенное снижение концентрации CO_2 – до 5-6 моль/кг H_2O. В связи с уменьшением растворимости компонентов первой группы, в условиях сравнительно низких температур, кристаллизация минералов осуществлялась при небольших пересыщениях раствора, преимущественно на оставшихся затравках. В этих условиях происходило образование концентрированных, богатых, в том числе –

крупнокристаллических руд (первая стадия богатого оруденения).

На стадии 4 (220-140°) отмечается повторное резкое повышение концентрации CO_2 до 12 моль/кг H_2O и, в связи с этим – новое увеличение растворимости некоторых компонентов первой группы, которые снова переходили в раствор (вторая стадия растворения).

На стадии 5 (ниже 140°) на фоне дальнейшего снижения температуры и концентрации CO_2 (до 4 моль/кг H_2O) происходило формирование богатых руд урана, ртути и ряда других минералов (вторая стадия богатого оруденения).

На рис. 1 видно, что пик концентрации CO_2 при 340° в природных рудообразующих системах с богатым оруденением совпадает с максимумом концентрации CO_2 в экспериментальной (закрытой автоклавной) системе H_2O – CO_2 – NaCl [7]. Из этого можно сделать вывод, что формирование богатого оруденения происходило в закрытых рудно-флюидных системах. В противоположность этому, концентрация CO_2 в системах с бедным оруденением оставалась при всех температурах стабильно низкой – 1 - 4 моль/кг H_2O (рис. 1). Это означает, что в открытых системах, из-за ухода газов (в том числе – CO_2) «углекислотная волна» и связанное с ней образование богатого оруденения невозможны.

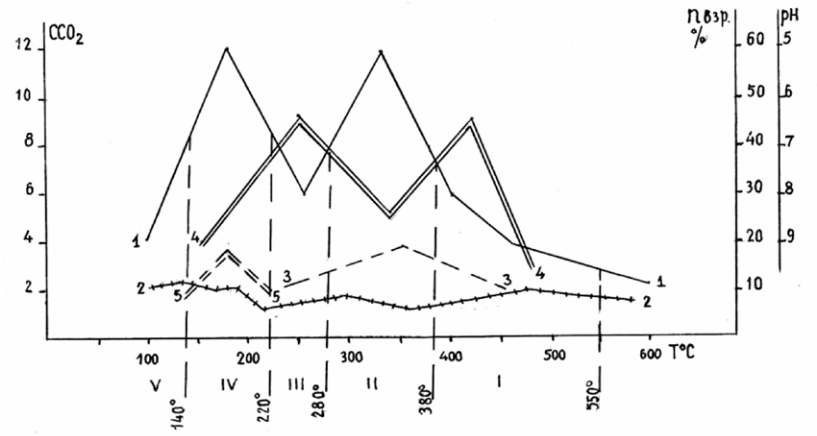


Рис. 1. Модель флюидного рудообразования.

1 – график изменения концентрации CO_2 в богатых рудах, 2 – то же в бедных рудах, 3 – изменение концентрации CO_2 в системе H_2O-CO_2-NaCl (по [7]), 4 – график изменения «коэффициента высаливания» Ksh, 5 – график декрепитации. I, II, III, IV, V – стадии минерало – и рудообразования.

Выявление «углекислотной волны» и ее регулирующей роли в неоднократном растворении и кристаллизации минералов при снижении температуры постмагматического раствора позволяет по новому решить указанные выше проблемы флюидного рудообразования (рис.1).

- «Рудные столбы» возникали в закрытых рудно-флюидных системах, где под воздействием «углекислотной волны» происходило образование бедного оруденения (стадия 1), растворение рудного вещества (стадии 2, 4) и образование богатого оруденения (стадии 3, 5).
- Обратимость минералообразования объясняется неоднократной кристаллизацией и перекристаллизацией минералов в ходе флюидного процесса (стадии 1, 3, 5).
- Скачкообразность минералообразования определяется кристаллизацией минералов на стадиях 1, 3, 5, разделенных «безрудными» стадиями 2 и 4.
- Отсутствие богатых месторождений в крупных разломах объясняется тем, что в них из флюидной системы уходит CO_2 и, в связи с этим, отсутствуют условия для прохождения «углекислотной волны» и связанного с ней богатого оруденения.
- Причина кислотно-щелочной эволюции постмагматических растворов заключается в том, что из-за сильного влияния CO_2 на их кислотность (она повышается на 2 – 4 единицы pH [1]), график «углекислотной волны» можно рассматривать как график кислотности раствора. Тогда ранняя щелочная стадия Д.С. Коржинского соответствует существенно водной стадии 1 «углекислотной волны»; кислотная стадия - стадии 2 «углекислотной волны» с высокой концентрацией CO_2, а поздняя щелочная стадия соотносится с 3-ей стадией «углекислотной волны».
- Рост крупных кристаллов возможен только в закрытых рудно-флюидных системах, где «углекислотная волна» определяла формирование сначала мелких кристаллов (стадия 1), их растворение (стадии 2, 4) и их перекристаллизацию (стадии 3, 5).

Использование «углекислотной волны» для поисково-оценочных работ. На основе «углекислотной волны» разработаны новые поисково-оценочные критерии рудоносности. Эти критерии вошли важной составной частью в новую систему количественного локального прогноза рудных тел [5]. Новая система позволяет уже после геолого-картировочных работ и специальных исследований давать количественный прогноз основным промышленным параметрам: размерам и запасам рудных тел, содержанию и качеству сырья. Также определяется достоверность прогноза путем расчета вероятности обнаружения рудного тела в данном месте. С использованием этой системы высокоточного локального прогноза открыты 76 рудных тел 18-ми полезных ископаемых со стоимостью сырья 17 млрд. долларов, и добыто сырья на 0.7 млрд. долларов. И в этой системе количественного прогноза, базирующейся на формально-однозначном геологическом картировании, существенную роль играют критерии, разработанные на основе «углекислотной волны».

Прогнозирование местоположения и размеров рудного тела. Для прогнозирования разработан «поисковый декрептометрический коэффициент» $К_д$ = С 300° / С 800° х 100%, где С 300° и С 800° – суммарные

количества микровзрывов газово-жидких включений при нагреве проб в интервалах температур 100-300° и 100-800°. На рис. 2 приведена карта декрептометрических аномалий на месторождении комплексных редкометальных пегматитов (литий, рубидий, цезий, тантал, ниобий, бериллий) Васин-Мыльк на Кольском полуострове. На этой карте видно четкое соответствие контуров декрептометрических аномалий и залегающего на глубине промышленного редкометального месторождения. Севернее промышленного тела пегматитов зафиксирована еще одна аномалия коэффициента $К_д$. В этой аномалии, по нашей рекомендации, была обнаружена новая жила редкометальных пегматитов.

Прогнозирование содержаний полезного ископаемого.

Для многих полезных ископаемых установлена четкая корреляция между содержаниями полезного ископаемого и концентрациями CO_2 в газово-жидких включениях [2,5,6]. При этом, как оказалось, определение содержаний крупнокристаллических слюд (мусковита и флогопита) по керну скважин возможно только по термобарогеохимическим критериям [2,5], так как обычное весовое определение содержаний слюды по керну скважин дает ошибки до 10-ти раз.

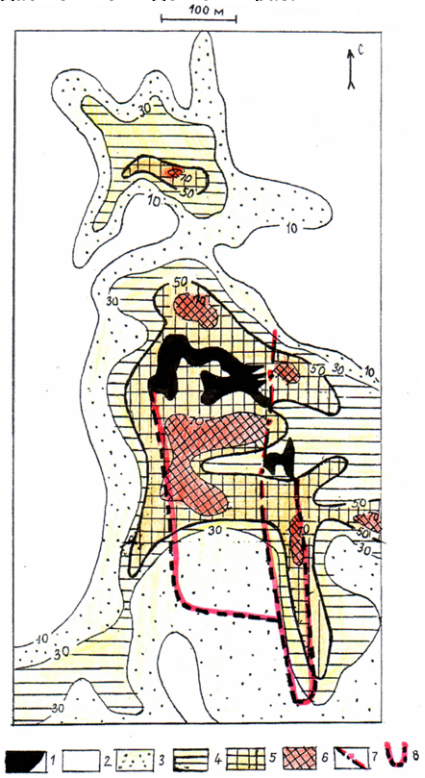


Рис. 2. Схема декрептометрических аномалий на месторождении комплексных редкометальных пегматитов Васин-Мыльк в Вороньетундровском рудном поле.

1 – жила комплексных редкометальных пегматитов Васин-Мыльк; 2-6 – зоны со значениями «поискового декрептометрического коэффициента»: 2 – 0-10 %; 3 – 10-30 %; 4 – 30-50 %; 5 – 50-70 %; 6 – более 70%; 7 – тектонические нарушения, 8 – проекция пегматитовой жилы на дневную поверхность.

Прогнозирование запасов рудных тел производится по величинам их прогнозных размеров и содержаний полезного ископаемого.

Прогнозирование качества минерального сырья. Для ряда полезных ископаемых установлена закономерная связь между качеством сырья и термобарогеохимическими параметрами. Так, наиболее высокосортное кварцевое сырье характеризуется газонасыщенностью менее 150 х 10^{-3} г/кг и концентрацией CO_2 выше 2.5 моль/кг H_2O [5,6].

Обеспечение высокой достоверности прогноза. Для установления достоверности прогноза, по специальной методике [5] рассчитывается вероятность обнаружения рудного тела в данном месте. При комплексировании геологического формально-однозначного картирования и разработанных термобарогеохимических критериев удалось довести достоверность прогноза до уровня более 80%, то есть в 4-8 раз выше, чем при обычном прогнозе.

Новая методика выращивания крупных кристаллов. Как показано выше, рост крупных кристаллов в природных условиях обеспечивается прохождением «углекислотной волны». Рационально использовать «углекислотную волну» для синтеза крупных кристаллов.

Разработка новой теории флюидного рудообразования под воздействием «углекислотной волны» позволила впервые решить ряд важнейших проблем: условия богатого оруденения, условия роста крупных кристаллов и др. Новая теория позволила разработать ряд поисковых и оценочных критериев для прогноза промышленных параметров рудных тел: их местоположения, размеров и запасов, а также – содержаний и качества полезного ископаемого. Апробация новой методики прогноза привела к открытию значительного числа промышленных рудных тел разных полезных ископаемых, что подтвердило высокую эффективность поисково-оценочных методов, основанных на новой теории флюидного рудообразования. Представляется перспективной дальнейшая разработка теории флюидного рудообразования на основе «углекислотной волны» на месторождениях разных полезных ископаемых. Представляется также перспективным дальнейшее использование основанных на «углекислотной волне» новых методов прогнозирования промышленных месторождений различных полезных ископаемых.

Список литературы

1. Белевцев Я.Н. Метаморфогенное рудообразование. М.: Наука, 1979. 275 с.

2. Громов А.В. и др. Содержание углекислоты в минералах пегматитов и возможности его использования для оценки слюдоносности // Термобарогеохимия и геохимия рудообразующих флюидов. Ч. 2. Тез. VII Всесоюзн. Совещ. Львов, 1985. С. 25.

3. Коржинский Д.С. Режим кислотности послемагматических растворов // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1957. № 12. С. 3-12.

4. Овчинников Л.Н. Образование рудных месторождений. М.: Недра, 1988. 255 с.

5. Ройзенман Ф.М. Условия образования и количественный локальный прогноз метаморфогенных месторождений. М.: Щит-М, 2004. 276 с.

6. Ройзенман Ф.М. Теория богатого флюидного рудообразования под воздействием «углекислотной волны». М.: Изд-во МЮИ, 2008. 84 с.

7. Такеноучи С., Кеннеди Дж. К. Растворимость углекислоты в растворах NaCl при высоких температурах и давлениях // Термодинамика постмагматических процессов. М.: Мир, 1968. С. 137-149.

ПЕТРОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ДИФФЕРЕНЦИАТОВ ПУДОЖГОРСКОГО ИНТРУЗИВА И ГЕНЕЗИС ТИТАНОМАГНЕТИТОВОГО ОРУДЕНЕНИЯ.

Н.Н.Трофимов
Институт геологии Кар НЦ РАН,
г. Петрозаводск, e-mail: trofimov@krc.karelia.ru

Пудожгорский интрузив является пологозалегающим контрастно дифференцированным пластовым телом. Протяженность его около 25 км, мощность 100-140 м. С учетом эндоконтактов в нем выделяется 8 слоев и горизонтов объединяемых в верхнюю диоритовую и нижнюю габбровую зоны [6]. Титаномагнетитовое оруденение образует пластовую залежь в 20-25 м от подошвы интрузива на всем его протяжении, прослеженную по падению до 1400 м без признаков выклинивания. Наиболее контрастная дифференциация, с присутствием всех выделяемых слоев и горизонтов, соответствует участкам полого – субгоризонтального (1-10°)залегания. Средневзвешенный состав интрузива (расплава в гипабиссальной камере) и его составляющих рассчитан по 236 химическим анализам, с определением мощностей слоёв на материалах Пудожгорского месторождения (51 геологический разрез) (табл. 1).

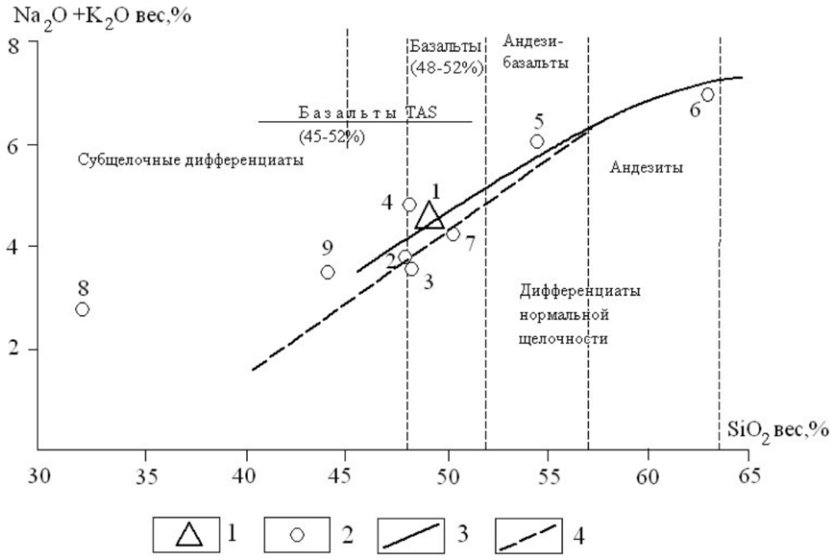


Рис. 1. Классификационная диаграмма (Na_2O+K_2O)-SiO_2 для магматических пород [1, 2]: 1 – средневзвешенный состав интрузива (расплава); 2 – средневзвешенные составы и номера точек его дифференциатов (слои: 2, 3 – эндоконтакты, 4 – верхние долериты; горизонты: 5 такситовый, 6 - гранофировый, 7 –надрудный, 8 – рудный, 9 - подрудный); 3, 4 – дискриминантная функция (3 – [1]; 4 – [4]).

Все разновидности пород дифференцированного Пудожгорского интрузива на диаграмме AFM относятся к толеитовой серии. Средний состав расплава и часть дифференциатов на классификационной диаграмме соответствуют субщелочной серии, остальные размещаются на границе раздела ее с серией нормальной щелочности (рис. 1) и относятся к умеренно – высококалиевым типам. Породы надрудного горизонта, эндоконтактов и верхних долеритов, с минеральным парагенезисом лабрадор-андезит+авгит±амфибол+титаномагнетит, располагаются в поле базальтов (долеритов) с SiO_2 45-52% на диаграмме TAS [2]. Породы подрудного горизонта с содержанием SiO_2 44%, за счет повышенного содержания tmt (15%), имея тот же минеральный парагенезис, находятся за границами этого поля (точка 9, рис. 1). Гранофировый горизонт относится к умеренноглиноземистому типу (al´ 0,96), остальные – к низкоглиноземистому (табл. 1). Коэффициент фракционирования пород в основном более 80, что соответствует ферродолеритам.

Породы, слагающие рудный и гранофировый горизонты, занимают крайние позиции на бинарной классификационной диаграмме (рис. 1), что предполагает наличие двух ветвей дифференциации расплавов. Смена минерального парагенезиса при кристаллизации расплава, согласно реакционных серий Боуэна, подтверждает положение гранофирового горизонта как крайнего и наиболее низкотемпературного дифференциата (рис. 2), расположенного в центре диоритовой зоны в поле андезитов (точка 6, рис. 1).

Состав клинопироксена в разрезе интрузива достаточно ровный и соответствует авгиту. Продукты наиболее ранней кристаллизации – подрудный горизонт и нижний эндоконтакт – содержат максимальные величины энстатитового минала - 41,2% и 44,2% соответственно. Кровля подрудного и рудного горизонтов, а также верхний эндоконтакт и надрудный горизонт имеют близкие и более низкие значения (En – 38,6-40,6) (табл. 2).

Положение рудного горизонта в температурной последовательности реакционных серий неоднозначно, хотя и хорошо увязывается со сменой минерального состава. Сквозным рудным минералом в составе первичного парагенезиса интрузива является tmt. Титаномагнетит рудного горизонта обладает наиболее тонкой (субмикроскопической) структурой распада твердого раствора ilm в mt,, что указывает на очень низкую температуру кристаллизации, близкую к температуре распада твердых растворов. Кристаллы tmt в рудном горизонте меньше всего затронуты процессами лейкоксенизации, за исключением его подошвы и кровли. Рудный горизонт характеризуется минимальными значениями общей щелочности и алюмо-титанового модуля, а гранофировый горизонт – их максимальными величинами (табл. 1). Коэффициенты фракционирования, железистости (f) и магнезиальности для обоих горизонтов близки и максимальны для интрузива. Анализ химического состава,

Таблица 1. Средневзвешенные составы интрузива и его дифференциатов.

Наименование горизонта, слоя	Мощность м	Кол-во анализов	Содержание компонентов, мас.%														
			SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	FeO	MnO	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	P_2O_5	V_2O_5	S	$K_ф$	al′
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Интрузив (исходный расплав)	134	236	48,85	3,13	11,89	5,98	13,76	0,21	3,00	5,87	3,32	1,16	0,35	0,104	0,105	86,8	0,52
Эндоконтакт верхний	4	6	48,31	2,39	12,23	4,52	13,23	0,24	4,72	8,22	2,48	1,13	0,25	0,07	0,09	78,9	0,54
нижний	4	10	48,1	2,15	12,68	4,39	12,84	0,23	4,9	8,12	2,75	0,88	0,34	0,065	0,075	77,9	0,57
Верхние долериты	7	4	47,86	2,66	11,95	4,06	14,41	0,31	4,12	7,18	2,74	2,00	0,26	0,05	0,217	81,8	0,53
Такситовый горизонт	7	6	54,24	1,73	12,04	4,89	11,02	0,28	2,05	5,19	4,83	1,22	0,59	0,026	0,114	88,6	0,67
Гранофировый горизонт	25	34	63,12	0,87	12,10	5,85	5,80	0,10	0,94	2,77	5,82	1,13	0,22	0,005	0,170	92,5	0,96
Надрудный горизонт	47	29	49,72	3,03	11,51	3,68	14,97	0,225	3,23	6,46	2,96	1,24	0,49	0,046	0,083	85,3	0,53
Рудный горизонт	18,7	102	31,83	7,84	10,02	13,75	22,31	0,26	2,98	5,13	1,74	1,00	0,27	0,391	0,105	92,4	0,26
Подрудный горизонт	21,3	38	43,98	2,79	13,85	5,95	13,95	0,20	4,15	7,81	2,55	0,92	0,26	0,150	0,049	82,7	0,58
Расплав на момент ликвации	104,7		49,89	3,26	11,45	6,10	13,78	0,21	2,63	5,30	3,53	1,22	0,37	0,098	0,118	88,3	0,51
Андезитовый ликват	86		53,83	2,27	11,76	4,44	11,94	0,20	2,54	5,34	3,93	1,27	0,40	0,033	0,122	86,6	0,62

Таблица 2. Состав клинопироксена по разрезу интрузива.

Наименование дифференцированных подразделений	Количество анализов	Средний состав авгита		
		Wo	En	Fs
Верхний эндоконтакт	13	37.3	38.3	24.5
Верхние долериты	7	44.3	33.7	22.0
Надрудный горизонт	7	36.2	40.6	23.3
Рудный горизонт	32	38.0	39.8	22.2
Подошва рудного – кровля подрудного горизонтов	22	37.8	39.6	22.6
Подрудный горизонт	70	36.3	41.2	22.4
Нижний эндоконтакт	6	38.4	44.2	17.3
Нижний закалочный слой	6	34.7	43.1	22.2

структурно-текстурные особенности и петрохимические характеристики пород подтверждают высказанную ранее [5] идею о ликвационном генезисе рудного горизонта, обособление которого произошло после кристаллизации эндоконтактов и большей части подрудного горизонта.

Состав исходного расплава, по номенклатуре TAS, попадает в поле трахибазальтов [2]. Он имел высокое содержание оксидов Fe (FeO´ - 19 %) и Ti (3,13 %), пониженное Mg, Ca и глинозема при коэффициенте фракционирования 84,8 (табл. 1), что предполагает наличие предшествующего феннеровского типа дифференциации магмы во внутрикоровой камере с последующим его отщеплением. Внедрившаяся в гипабиссальную камеру магма такого состава, обогащенная щелочами, фосфором, галогенидами и водой, является при охлаждении нестабильной [3] и после кристаллизации подрудного горизонта расщепляется, с образованием рудно–силикатного ликвата (титаномагнетитовый горизонт), способного концентрировать в себе высокие содержания летучих. Расплав к моменту ликвации наращивает концентрацию SiO_2, TiO_2, Fe_2O_3, щелочей, фосфора, серы и воды (табл. 1).

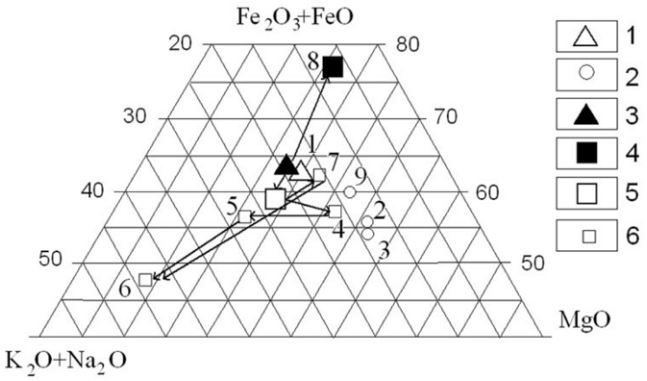


Рис. 3. Тренд дифференциации Пудожгорского интрузива: 1 – расплав, внедрившийся в гипабиссальную камеру; 2 – ранние дифференциаты (точки 2, 3 – эндоконтактовые слои, точка 4 – подрудный горизонт); 3 – расплав на момент ликвации; 4 – мафический рудно-силикатный ликват (точка 8 – tmt горизонт); 5 – фельзический андезитовый ликват и 6 – его дифференциаты (точка 4 – слой верхних долеритов, точки 5-7 горизонты: такситовый – 5, гранофировый – 6, надрудный – 7).

Разделившиеся - основной (рудно-силикатный) и более кислый - андезитовый расплавы, кристаллизовались самостоятельно (рис. 3). Кристаллизация пород диоритовой зоны происходила «вовнутрь» в последовательности: надрудный горизонт (низы) + верхние долериты → надрудный горизонт (верхний слой) + такситовый → гранофировый горизонт. Гранофировый горизонт занимает центральную часть зоны, характеризуется максимальной концентрацией щелочей (6,95%) и кремнезема (63,12%) (табл. 1). Для границы такситового и гранофирового горизонтов характерно максимальное содержание апатита – 2-3% (фторапатит – 5-6% F) и хлора до 2,5% в амфиболах поздней генерации.

Величина фельзического индекса в процессе кристаллизации расплава нарастает: исходный состав – 43,3; на момент ликвации – 47,3; андезитовый ликват – 49,3; крайний дифференциат (гранофировый горизонт) – 71,5.

Работа выполнена при финансовой поддержке Программы 14 Президиума РАН «Научные основы эффективного природопользования, развития минеральных ресурсов, освоения новых источников природного и технического сырья».

Список литературы

1. Интерпретация геохимических данных. Учебное пособие. Скляров Е.В. и др. М.: Интермет инженеринг, 2001. 288с.

2. Классификация магматических (изверженных) пород и словарь терминов. Рекомендации Подкомиссии по систематике изверженных пород Международного союза геологических наук. М.: Недра, 1997. 347с.

3. Маракушев А.А.. Петрогенезис и рудообразование. М.: Наука, 1979. 261 с.

4. Магматические горные породы. Классификация. Номенклатура. Петрография. Ч. 1. Т. 1. М.: Наука, 1983. 367 с.

5. Трофимов Н.Н., Голубев А.И., Смирнова Н.К.. Специфичность исходного расплава и состав железо-титановых окисных минералов Пудожгорской интрузии // Геология и полезные ископаемые Карелии. Вып.1. Петрозаводск: Изд-во КарНЦ РАН, 1998. С. 35-42.

6. Трофимов Н.Н., Голубев А.И.. Пудожгорское благороднометалльное титаномагнетитовое месторождение. Петрозаводск, Изд-во КарНЦ РАН, 2008. 123 с.

КОНТАКТОВЫЙ МЕТАМОРФИЗМ ШУНГИТОНОСНЫХ ПОРОД МАКСОВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (КАРЕЛИЯ)

М.М. Филиппов, Н.С. Бискэ, А.В. Первунина
Институт геологии КарНЦ РАН, г. Петрозаводск, e-mail: filipov@krc.karelia.ru

Максовское месторождение приурочено к шестому горизонту шунгитоносных пород второй продуктивной пачки верхней заонежской подсвиты людиковийского надгоризонта нижнего протерозоя. В разрезах подсвиты выявлены [1] пирокластические и лавовые образования, а также силлы долеритов мощностью от 20 до 80 м. Такая насыщенность разрезов интрузиями не могла не оказать влияние на процессы формирования месторождений максовитов[1]. Фактические данные свидетельствуют о массовом проявлении контактовых преобразований шунгитоносных пород. При ведении разведочных работ на Максовском месторождении отмечались многочисленные признаки контактового влияния на состав и свойства максовитов, однако, предполагалось, что изменение пород в области контактов с интрузивными телами основного состава не существенны и не влияют на технологические свойства сырья. В 2002 г. выполнены детальные исследования контактовых изменений максовитов и долеритов [2] в основном по керну скважины, пересекшей седьмой шунгитоносный горизонт и силл, обрамляющий западное крыло месторождения. Показано, что: а) на контакте с основными породами максовиты преобразованы в кокс, содержание шунгитового вещества в них существенно уменьшается, увеличивается содержание кварца, серицита, эпигенетичного пирита и кальцита, появляется пирротин, изотопный состав углерода и азота становится более тяжелым, молекулярная и надмолекулярная структура шунгитового вещества становится более упорядоченной, подвижные элементы мигрируют из зоны контакта на некоторое расстояние совместно с органическим веществом, миграционные формы шунгитового вещества представлены антраксолитами, в том числе их сажистыми разновидностями; б) плотность долеритов на контакте с шунгитоносными породами заметно снижается, уменьшается их электрическое сопротивление, магнитная восприимчивость и прочность, увеличивается радиоактивность и водопоглощение, непосредственно на контакте, как правило, резко возрастает содержание пирита, структура становится тонкозернистой, текстура миндалекаменной, появляется шунгитовое вещество по трещинам, в миндалинах и между зернами, причем не только в зонах контактов, но и на значительном удалении от них; в) мощность измененных максовитов для приведенных выше признаков от 2 до 5 м, долеритов – до 8 м. Активная деструкция органического вещества в условиях повышенных температур приводила к образованию газообразных и жидких углеводородов, склонных к полимеризации, то есть не способных к дальней миграции. По этой причине в составе максовитов всегда присутствует антраксолит. Было установлено, что углеродистое вещество в долеритах является либо ассимилированным из ксенолитов осадочных пород, либо миграционным, образованным при катагенезе первично-осадочного органического вещества.

В 2008 г. на месторождении вскрыт внутрикупольный силл долеритов с подводящим каналом. Большая площадь силла и выраженные изменения максовитов по всей поверхности верхнего и нижнего контакта позволяют определить время внедрения силла по отношению к формированию купольного тела, установить степень преобразования органического вещества осадочных пород до этого события, выявить новые данные о глубине и масштабе контактового преобразования сапропелитов. В докладе приведены материалы по контактовому метаморфизму максовитов под влиянием этого силла.

Подводящий канал силла в центре сложен мелко-среднезернистыми, на контакте с вмещающими максовитами – тонкозернистыми разновидностями. По данным визуального осмотра керна скважин долериты разбиты многочисленными трещинами, которые заполнены максовитами с мелкими обособлениями антраксолита и в ряде мест сохранившими следы течения. Вероятно, этот материал заполнял трещины в результате снижения вязкости максовитов под влиянием сильного их прогревания внедряющейся магмой и локального повышенного давления, возникающего за счет быстрого катагенеза органического вещества. Максовит в трещинах не имеет признаков типичного коксования. Он состоит преимущественно из слабо раскристаллизованного кремнезема и шунгитового вещества, как входящего в состав кремнезема, так и обособленного, заполняющего межзерновое пространство. Очевидно также, что катагенетическое преобразование органокремнистого вещества шло после поступления его в трещины.

На основании визуальных наблюдений экзоконтакта выделена зона коксования максовитов мощностью до 1,5 м, состоящая из двух подзон. Первая - непосредственно на контакте, представлена обычно рыхлой пачкающей черной породой с кавернозной текстурой. Мощность подзоны 2-8 см. В некоторых местах она отсутствует. Непосредственно в контакте наблюдаются также брекчированные максовиты, трещины в которых заполнены антраксолитом. Порода разбита, рассланцована, имеет зеркала скольжения, по которым развиваются пленки шунгитового вещества. Во второй подзоне максовиты имеют характерную столбчатую отдельность в виде удлиненных призм с размером 4х10 см, ориентированных перпендикулярно контакту. Призмы в сечении имеют вид неправильных

---

[1] Максовит - порода с высоким содержанием шунгитового вещества ($C_{орг.}$>20%), ее структура пелитоморфная или микрозернистая, текстура массивная или брекчиевидная. Генетически шунгитовое вещество частично является метасапропелевым, частично – миграционным органическим веществом.

многоугольников, отделенных друг от друга либо скрытыми, либо зияющими трещинами. По стенкам трещин развиваются пленки шунгитового вещества или пирита. Цвет максовитов стально-серый с матовым тусклым блеском. Подзона выдержана по всей площади кровли силла. В верхней части подводящего канала столбчатая отдельность максовитов развита в виде сноповидных изогнутых скоплений шестигранных призм длиной до 1 м, что свидетельствует о длительном движении расплава через эту область. Местами выше развития крупных призм встречаются мелкие призмы (1х3 см), которые иногда смяты и хаотично ориентированы относительно контакта. Выше зоны коксования сапропелитов со столбчатой отдельностью располагаются брекчированные максовиты, содержащие большое количество миндалин, выполненных кварцем и антраксолитом. Коксы по сапропелитам Максовского месторождения сходны с основными особенностями природных коксов, развивающихся в угольных пластах на контактах с интрузиями различного состава. Вскрышным котлованом на небольшом участке обнажен нижний контакт долеритов с максовитами. Он очень неровный, с тонким (1-3 см) слоем сажистого максовита. Залегание плоскости контакта на коротком интервале меняется от субгоризонтального до субвертикального.

Образцы для петрографического изучения были отобраны из стенок действующего карьера и керна разведочных скважин. Исследования проводились в проходящем и отраженном свете на оптическом микроскопе, а также на сканирующем электронном микроскопе VEGA II LSH. Для определения состава минералов использовался микроанализатор INCA Enerdgy 350 и фазовый рентгеноструктурный анализ.

Долериты претерпели интенсивные метасоматические преобразования и превращены в мелкозернистые слюдиты с переменным содержанием кварца, хлорита и альбита. Среди рудных преобладает магнетит, наблюдаются ильменит и титаномагнетит. В заметных количествах присутствуют новообразованные лейкоксен и рутил, постоянно отмечается фторапатит, спорадически – монацит. Состав аподолеритов приведен в таблице. Слюды представлены биотитом и мусковитом, в единичных образцах флогопитом. В составе изученных слюд зафиксирован дефицит межслоевых катионов калия. Предполагается, что слюды содержат группу аммония, присутствие которой в межслоевых позициях установлено ранее для месторождения [3]. Количественные соотношения мусковита и биотита весьма изменчивы. В слюдитах магмаподводящего канала и поблизости от него, особенно в приподошвенной части силла, преобладает биотит. Здесь значительно больше магнетита, лейкоксена и рутила. По направлению от подошвы к кровле силла и по мере удаления от подводящего канала биотит сменяется мусковитом, появляются хлоритовые и карбонатсодержащие слюдиты. В эндоконтактах с максовитами развиты темно-серые обуглероженные афанитовые породы с миндалинами и пустотами овальной или неправильной формы (рис. А-В). Содержание углерода в непосредственном контакте обычно не превышает нескольких процентов, но в узкой приконтактовой зонке может достигать 20%. Верхняя часть магмаподводящего канала целиком сложена обуглероженными аподолеритами с миндалекаменной текстурой. В нижнем эндоконтакте силла мощность обуглероженной зоны минимальна. Углерод выполняет межзерновые промежутки, трещины, поры и пустоты в ассоциации со слюдами, кварцем и пиритом, которые обнаруживают признаки более позднего развития. Антраксолитовые прожилки нередко рассечены сетью слюдистых микропрожилков, как бы «зарастают» слюдой (рис. В). Размеры и количество миндалин возрастают по мере приближения к контакту. В отдельных участках в кровле силла их количество достигает 40% объема породы, а диаметр – 5 мм. Преобладают кварцевые миндалины с каймой из слюд и сульфидов, главным образом, пирита. Миндалины, сложенные тонкозернистым слюдистым или кварцево-слюдистым агрегатом, едва различимы в основной массе породы, так же как и лейсты мусковитизированного плагиоклаза.

В центре подводящего канала и в приподошвенной части силла сохранились реликты долеритовой и микродолеритовой структуры. В верхнем эндоконтакте в сильно обуглероженных аподолеритах отчетливо проявляется порфировая структура с реликтовой интерсертальной структурой основной массы (рис. А). Фенокристаллы и микролиты плагиоклаза замещены тонкозернистым агрегатом мусковита и альбита. В эндоконтактах наблюдаются прожилково-вкрапленные выделения пирита совместно с халькопиритом, пентландитом, пирротином, сфалеритом. Определены также никелистый пирит, арсенид кобальта и клаусталит.

На участках, где силл выходит под четвертичные отложения, встречен слой элювия по долеритам мощностью от 0,5 до 3,5 м. В ряде мест элювий залегает под трещиноватыми максовитами мощностью от 30 см до 3,0 м. В слое элювия встречены ксенолиты максовита, размер которых варьирует от 0,2 до 0,6 м, со столбчатой отдельностью. В элювии местами наблюдаются реликты шаровой отдельности долерита, образующиеся в процессе гипергенеза долеритов. Шаровые обособления состоят из наружного слоя (скорлупы), иногда двух слоев, представленного материалом, отличающимся от типичного элювия большей плотностью и меньшей степенью выветривания. Центральная часть шаров представлена в виде округлых с шероховатой поверхностью останцов плотной породы размером от 5-10 см до 2-3 м в диаметре, центральная части которых сохраняет реликты миндалекаменной структуры. Миндалины заполнены кварцем и шунгитовым веществом. Размер полостей и миндалин колеблется от 0,2 см до 0,5 см. Скорлуповатые обособления являются переходной зоной к долеритам, не затронутым процессами выветривания, то есть элювий развивается не на полную мощность силла. Выветрелые долериты имеют тонкую трещиноватость, в них наблюдается обилие пустот (частично за счет выщелачивания миндалин) и открытых трещин, на стенках которых отлагаются ярозит и гидрооксиды железа. Состав корочки и ядра плотных фрагментов элювия отличаются соотношением закисного и окисного железа. Слюда в них представлена преимущественно биотитом, в то время как в глинистом элювии установлен гидробиотит.

Максовиты. Наиболее глубокие преобразования испытали максовиты в мелких (20 см в длину) ксенолитах.

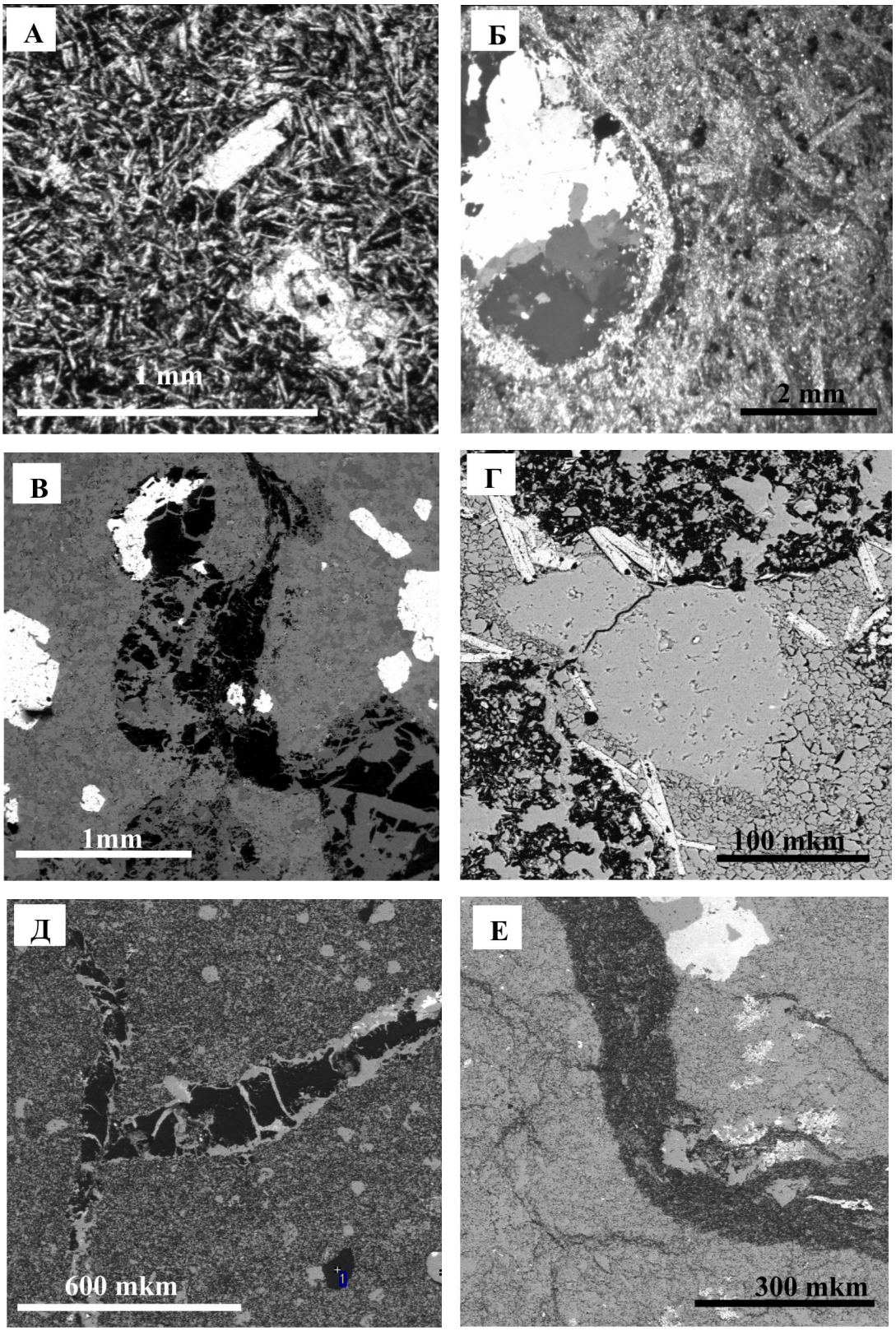


Рис. Контактово-измененные породы Максовского месторождения.

А-В – обуглероженные аподолериты закалочной зоны: А – с порфировой структурой; Б – с миндалекаменной текстурой и реликтами долеритовой структуры, В – антраксолит (черное) с пиритом (белое) в трещинах и порах; Г – жеода в максовите, выполненная метаколлоидным кварцем (серое) с пластинками биотита (белое) по периферии; Д – ококсованный максовит со столбчатой отдельностью, трещины и поры заполнены антраксолитом (черное), кварцем и мусковитом (серое) с примесью пирита (белое), плоскость аншлифа перпендикулярна отдельности; Е – характер развития антраксолитовых прожилков (черное) в максовите. А – шлиф, николи без анализатора, Б – шлиф, николи с анализатором, В-Е – микрозонд, детектор рассеянных электронов.

Содержание шунгитового вещества в них снижается до 10%, а слюды (преимущественно биотита) возрастает до 25%. Это тонкозернистые трещиноватые и рассланцованные породы с многочисленными мелкими пустотками и миндалинами размером до 0,5 мм, выполненными шунгитовым веществом, а также кварцем и биотитом. Присутствуют мелкие редкие струи сложной прихотливой формы. Судя по ориентировке удлиненных миндалин и мелких линзовидных обособлений, обогащенных шунгитовым веществом, максовиты имели флюидальную микротекстуру. Биотит в виде плохо окристаллизованных чешуек размером 1-3 мкм развит между зернами кварца в миндалинах или в виде пластин до 30 мкм в длину, обрамляет поры и слагает полосчатые и сетчатые агрегаты, пронизывающие всю породу. Часто присутствуют крупные зерна пирита, которые обрастают магнетит и биотит и содержат включения сульфидов меди и никеля. Пирит в свою очередь замещается ярозитом.

Максовит из прожилков, секущих зону закалки магмаподводящего канала, содержит в заметных количествах пирит, биотит, лейкоксен и фторапатит. В пирите зафиксированы включения пирротина. Антраксолит, заполняющий трещины в максовите и аподолерите, имеет мозаичное строение, напоминающее структуру нефтяного кокса.

В зоне непосредственного контакта с силлом в максовитах наблюдаются многочисленные зеркала скольжения с пленками антраксолита и хлоритоподобного минерала. В верхнем экзоконтакте породы трещиноваты, содержат многочисленные пустотки и каверны. Стенки полостей и открытых трещин выстланы ярозитом и гидроксидами железа. Структурно-текстурные особенности и состав максовитов в этой зоне широко варьируют. Нередко здесь развиты брекчированные максовиты. Структуры метаколлоидных кварцевых агрегатов, выполняющих в них секреции (рис. Г), позволяют предположить их быструю раскристаллизацию. Как в секрециях, так и в основной массе пород этой зоны наблюдаются биотит и антраксолит. Последний образует тонкие извилистые прожилки, огибающие кремнистые секреции. Выделения антраксолита переполнены мелкими минеральными включениями вмещающей породы, ориентированными вдоль прожилков.

Коксоподобные максовиты состоят из шунгитового вещества (15-50%), кварца и мусковита (до 25%), присутствуют биотит, хлориты, пирит, рутил, фторапатит и лейкоксен, иногда калишпат. Характерными особенностями, позволяющими относить их к природным коксам, являются: 1 – столбчатая полигональная отдельность, 2 – высокая пористость, 3 – флюидальная микротекстура. Трещины и поры коксов заполнены антраксолитом, кварцем и слюдами (рис. Д), в подчиненном количестве отмечаются магнезиально-железистый и железисто-магнезиальный хлориты. Обособления антраксолита имеют тонкозернистое мозаичное строение. Иногда в порах и выделениях присутствует глобулярный антраксолит. В отдельных участках наблюдаются крупные выделения пирита с примесью никеля и включениями сульфидов никеля и меди. Коксы по мере удаления от контакта сменяются максовитами, в которых признаки термального воздействия силла обнаруживаются лишь микроскопически на удалении до 30 м от контакта с силлом.

Время внедрения силла было более поздним по отношению к завершению формирования купольного тела. До его внедрения породы залежи были слабо литифицированы, до этого момента первичное органическое вещество еще не прошло стадию главной фазы образования нефти. Под влиянием тепла интрузии залежи приобретали дополнительную способность к вязкому течению и пластическим деформациям. За счет катагенетического преобразования органического вещества и низкой проницаемости пелитовых пород в локальных объемах создавалось высокое давление, инициирующее активное брекчирование максовитов, насыщение расплава газообразными углеводородами и снижение плотности. Присутствие в сапропелитах минералов, содержащих воду, а также высокая теплоемкость и низкая теплопроводность органоминеральных соединений, способствовали широкому проявлению гидротермальных и отчасти метасоматических процессов (ослюденение, хлоритизация, сульфидизация, окварцевание как долеритов, так и вмещающих пород). Наиболее интенсивно гидротермальные процессы проявились в ослабленных зонах, как в непосредственном контакте с силлом, так и на удалении от него.

Укажем вероятную причину внедрения долеритов в центр залежи. Корневая часть подводящего канала приурочена к антиклинальной складке, сложенной породами с относительно невысоким содержанием шунгитового вещества - алевролитами, туфоалевролитами и карбонатными породами, а на момент внедрения силла, по-видимому, уже гораздо более литифицированными по сравнению с органоминеральным веществом залежи. Формирование складки по породам, не обладающим высокой способностью к пластичным деформациям, могло сопровождаться развитием повышенной трещиноватости, что способствовало внедрению магмы. Дальнейшее направление развития подводящего канала, предположительно, определялось особенностями внутреннего строения купольной структуры: изменчивостью состава и разной степенью литификации пород залежи. Не исключено, что этому способствовало запечатывание подводящего канала коксующейся массой сапропелитов.

Список литературы

1. Органическое вещество шунгитоносных пород Карелии (генезис, эволюция, методы изучения). Ред. М.М. Филиппов и А.И. Голубев. Петрозаводск: Изд-во КарНЦ РАН, 1994. 207 с.

2. Филиппов М.М., Бискэ Н.С., Медведев П.В. и др. Контактовый метаморфизм на Максовском месторождении шунгитоносных пород. 1. Основные признаки // Геология и полезные ископаемые Карелии. Вып. 5. Петрозаводск: Изд-во КарНЦ РАН, 2002. С. 107-116.

3. Фирсова С.О., Ципурский С.И. Гюмбелит. Новые находки в шунгитосодержащих породах Карелии, проблемы диагностики, генезиса // Литология и полезные ископаемые. 1990. № 1. С. 93–94.

PRECAMBRIAN MAGMATIC ROCKS FORM THE CENTRAL INDIAN TECTONIC ZONE: GEOCHEMICAL AND ISOTOPIC CONSTRAINTS

T. Ahmad[1,*], T.V. Kaulina[2], N. Wanjari[1], M.K. Mishra[1], E.A. Nitkina[2]
[1]Department of Geology, Delh University of Delhi, Delhi-11 00 07
[2]Geological Institute of the Kola Science Centre, Russian Academy of Sciences, Apatity

The Central Indian Shield contain continental scale tectonic feature of Poterozoic age represented by the Central Indian Tectonic Zone (CITZ). CITZ divides Indian continental shield into two tectono-magmatic provinces, the northern crustal province comprise Bundelkhand-Aravalli craton and the southern crustal province comprise Bastar, eastern Singhbhum and Dharwar craton. The Amgaon Gneissic Complex (AGC) represents the basement rocks south of the CITZ and the Tirodi Gneissic Complex (TGC) is within the CITZ.

CITZ has excellent record of mafic magmatic rocks occurring as volcano sedimentary sequences and intrusive bodies in the form of dykes, sills and metamorphosed equivalents such as amphibolites and granulites. These individual suites exposed in different belts namely the, Sakoli (south of CITZ), Sausar, Betul and Mahakoshal belts separated by tectonic contacts from south to north.

The Sakoli mobile belt comprises bimodal volcanics that include - metabasalt, rhyolite, tuffs and epiclastic rocks with metapelites, minor quartzite, arkose, conglomerate and BIF. Both the basic and acidic volcanics have distinct geochemical trends (Fig. 1) but both types also some similarity in terms of enriched LREE-LILE characteristics with positive anomalies for U, Pb and Th and distinct negative anomalies for Nb, P, Ti (Fig. 2, Fig. 3). These characteristics are typical of continental rift volcanism. Both basic and acidic volcanic rocks depict strong negative Sr and Eu anomalies indicating fractionation of plagioclases and K-feldspars, respectively. The high Fe/Mg ratios for the basic rocks indicate their evolved nature.

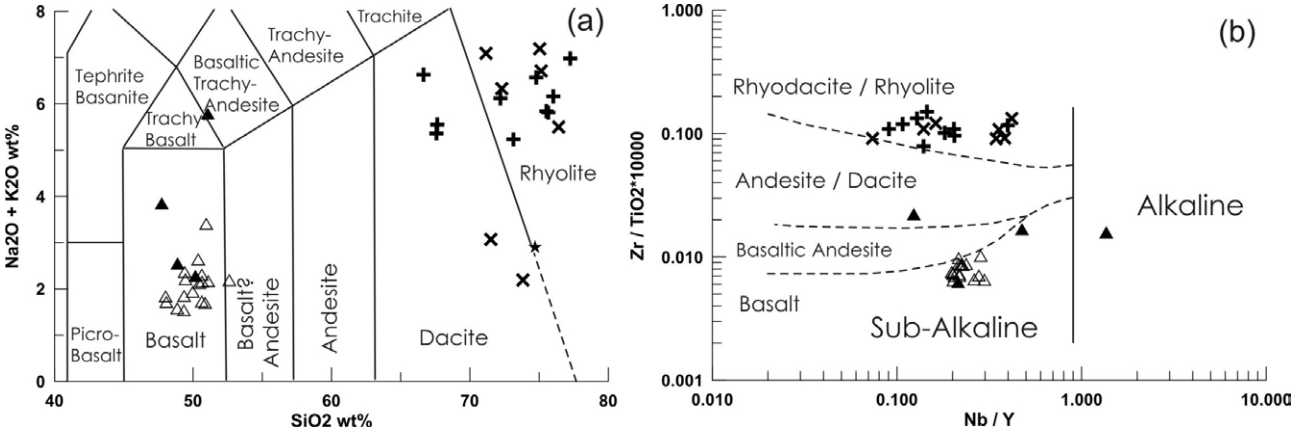


Fig. 1 (a) SiO2 *vs* Na2O + K2O (TAS diagram, Le Bas *et al.* 1986), and(b) Nb/Y *vs* Zr/TiO2 ¥ 10 000 (Winchester & Floyd 1977) for the Sakoli bimodal volcanic rocks. Dhabetekri and Bhiwapur basic volcanic rocks show subalkaline basaltic composition and the acidic volcanic rocks show subalkaline rhyolite composition.

Sausar-Chindwada complex has mafic magmatic of Basalts, Amphibolites and pyroxinites dykes with distinct entities These dykes are alkaline to sub alkaline, ranging in composition from basalt through basaltic-andesite (Fig. 4). These rocks have enriched incompatible trace element patterns with depleted high field strength elements (HFSE). In terms of tectonic setting they appear to have been emplaced in intra-plate continental rift setting.

The Betul belt is characterized by a litho-package of plutonic magmatic rocks, volcano-sedimentary rocks, bimodal volcanics and associated base metal sulphide mineralization. The eruption of the bimodal volcanic rocks in a submarine environment is evident from relict pillow structures in the basalts. The bimodal basalt-rhyolite package is spatially associated with pyroxenite, gabbro and dolerite bodies.

It is of interest to see if the two basement rocks are having any relationship or they represent two discrete terrains sutured along the Central Indian Suture (CIS). Lithologically AGC and TGC consists of granite-gneiss-migmatite assemblages, with vestiges of TTG suite ranges from trondhjemitic to granitic composition, the minor components includes the metabasalt, amphibolite, rare granulite, quartzite, BIF, kyanite-sillimanite and garnet-staurolite schists. TGC has an additional unit represented by the pink granitoids, similar to the Dongargarh granitoid.

The AGC granitoids are classified into three groups (Fig. 5)based europium (Eu) anomalies, these are: Group-I, samples with no Eu anomaly; Group-II, samples with distinct negative Eu anomaly and Group-III, samples with distinct positive Eu anomalies.

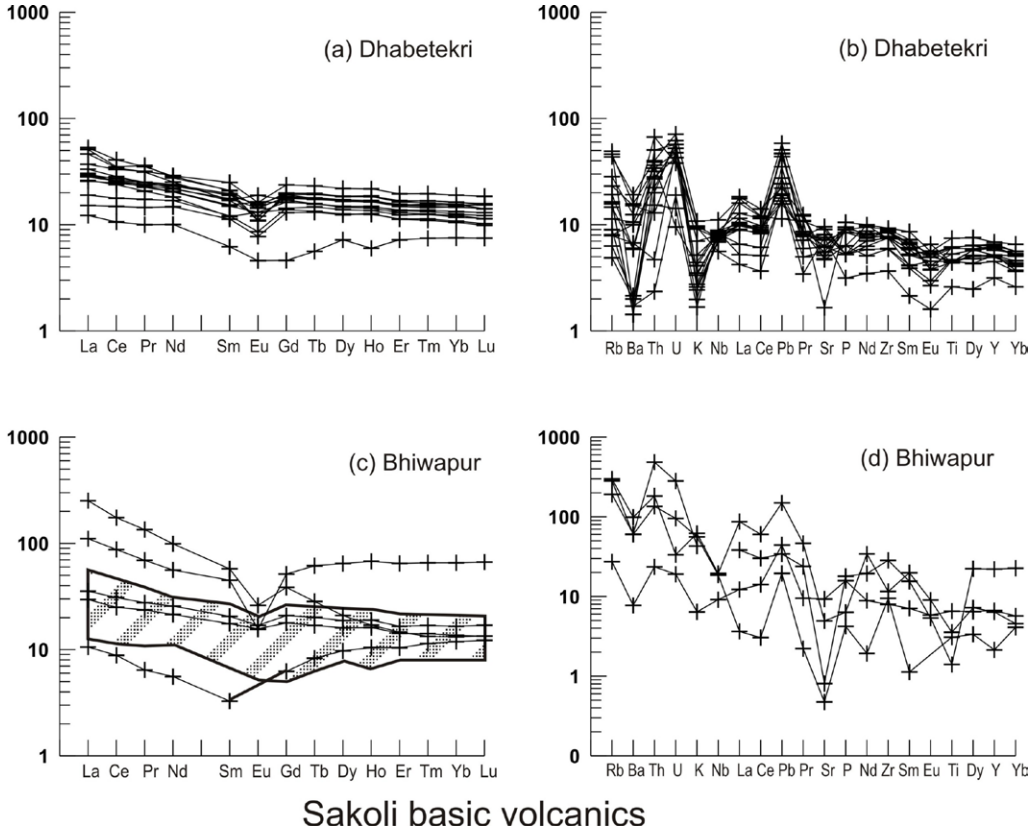


Fig. 2. C1 chondrite-normalized rare earth elements (REEs) and primitive mantle-normalized multi-element patterns showing enriched nature of the basaltic components from (a,b) Dhabetekri Formation, and (c,d) Bhiwapur Formation of the Sakoli Fold Belt. (c) Shows outline of REE variation for the Dhabetekri Formation. Normalizing values from Sun and Mcdonough (1989).

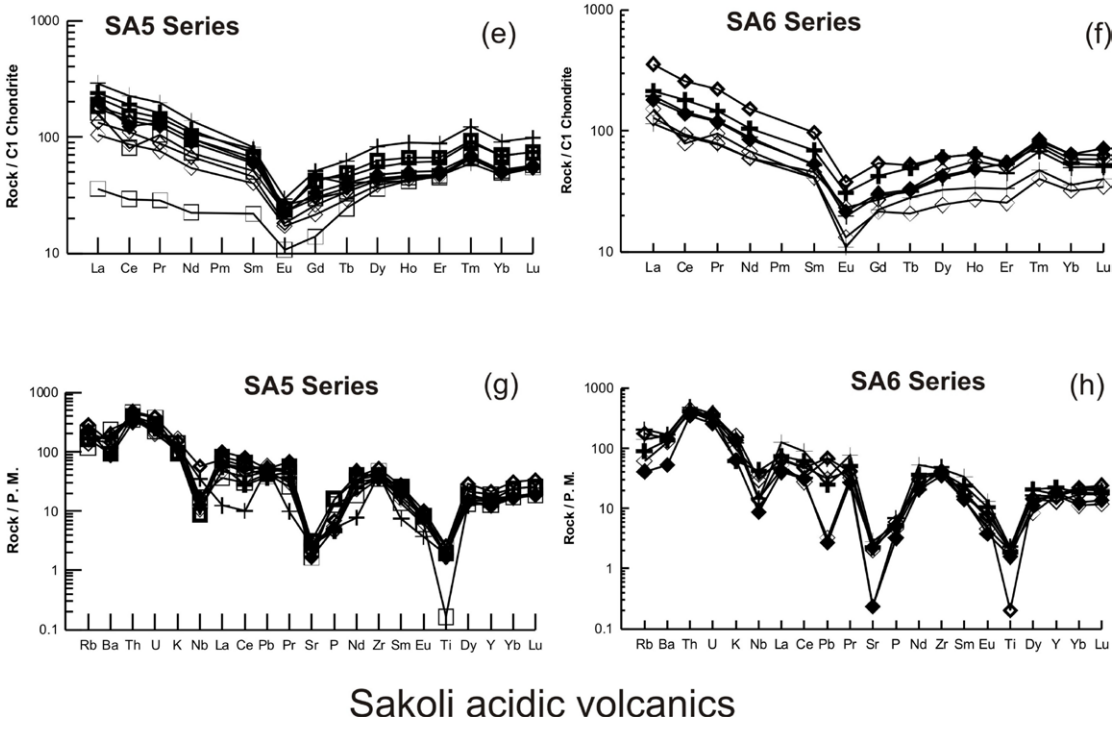


Fig. 3. C1 chondrite-normalized rare earth elements (REEs) and primitive mantle-normalized multi-element patterns of the Sakoli rhyolites. (e,f) SA-5 series, and (g,h) SA-6 series, showing their enriched characteristics. Normalizing values from Sun and Mcdonough (1989).

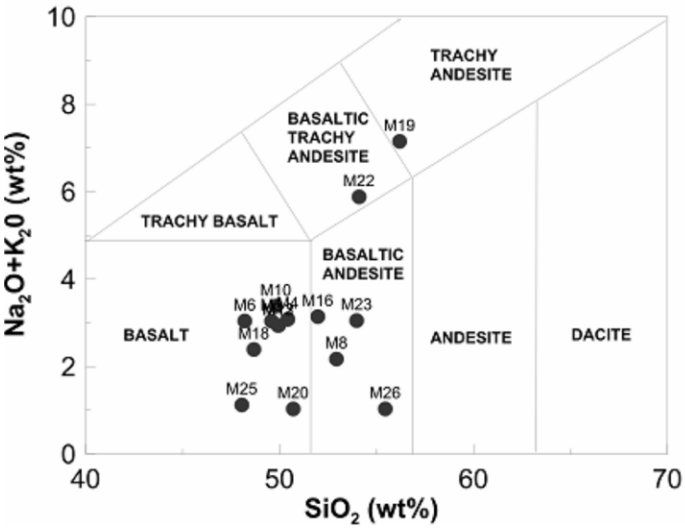


Fig. 4. SiO_2 *vs* $Na_2O + K_2O$ (TAS diagram, Le Bas *et al.* 1986) for Sausar volcanics.

Group-I sample AG-01 has youngest model ages as it has T_{DM} model ages of 2549 Ma. Group-II samples clocks the model oldest ages represented by AG-02 with T_{DM} (3396 Ma). Other two samples GS-17 and GS-32 have T_{DM} model ages of 3106 Ma and 3072 Ma respectively. In Group-III sample GS-45 shows the oldest model ages for this group with T_{DM} age of 2974 Ma, whereas another sample KP-01 from same locality shows a difference of ~200 Ma, as it has T_{DM} age of 2709 Ma, thus it becomes the youngest representative of the group. Sample no GS-6 which has an extreme negative ε_{Nd} value of -39.35 shows a relatively young model age of 2862 Ma for T_{DM}.

T_{DM} model ages for the Tirodi Gneissic Complex (TGC) samples show a range from 2106 Ma, 2325 Ma, 2383 Ma and 2494 Ma. These model ages are much younger than those of the AGC. The evolution curves of AGC and TGC samples with respect to those of CHUR and DM indicate that these rocks were derived from an enriched source which had lower Sm/Nd and lower $^{143}Nd/^{144}Nd$ ratio.

Sm-Nd isotopic data indicate that the crust in the Central Indian shield had started forming from Archean period (~3100 Ma). Samples of Groups-I and Group-III of the AGC evolved slightly earlier and the precursors were dominantly mafic with garnet and amphiboles. Group II samples of ACG and all samples of the TGC appear to have formed when the crust had already differentiated in Femic and Sialic components i.e. the crust had thickened considerably to allow the shallower protoliths to have feldspars as stable phase to cause the observed negative Eu anomaly in these rocks.

In sample AG-01 (Group I of AGC) there are three zircon generations (Fig. 6c) i. short prismatic rounded colorless grains with lower U contents (250-400 ppm), which have an age of 2403±5 Ma; ii. large brown long-prismatic better

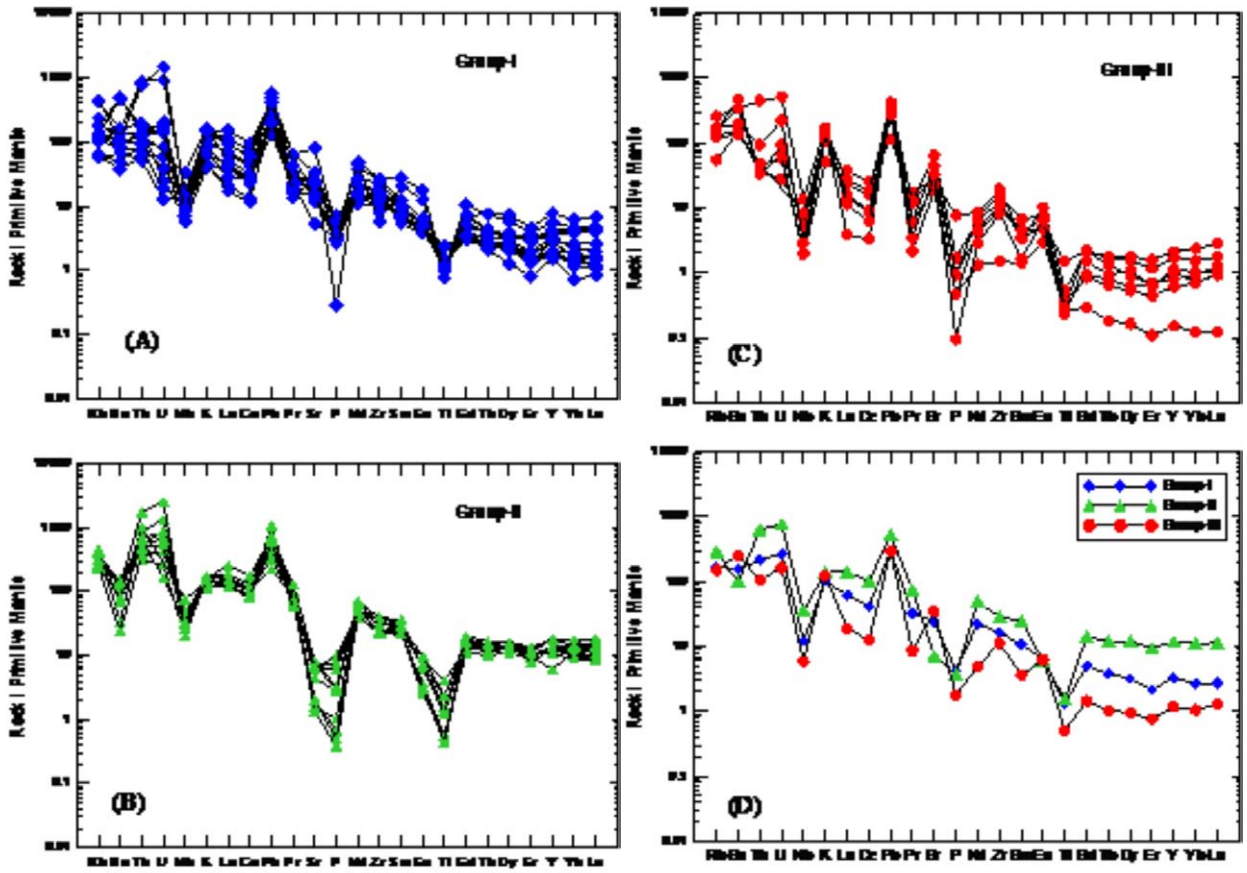


Fig. 5. P-Mantle normalized trace element diagrams. (A) Group-I; (B) Group-II; (C) Group-III; (D) Normalized average values for all the three groups. P mantle values after Sun and McDonough (1989).

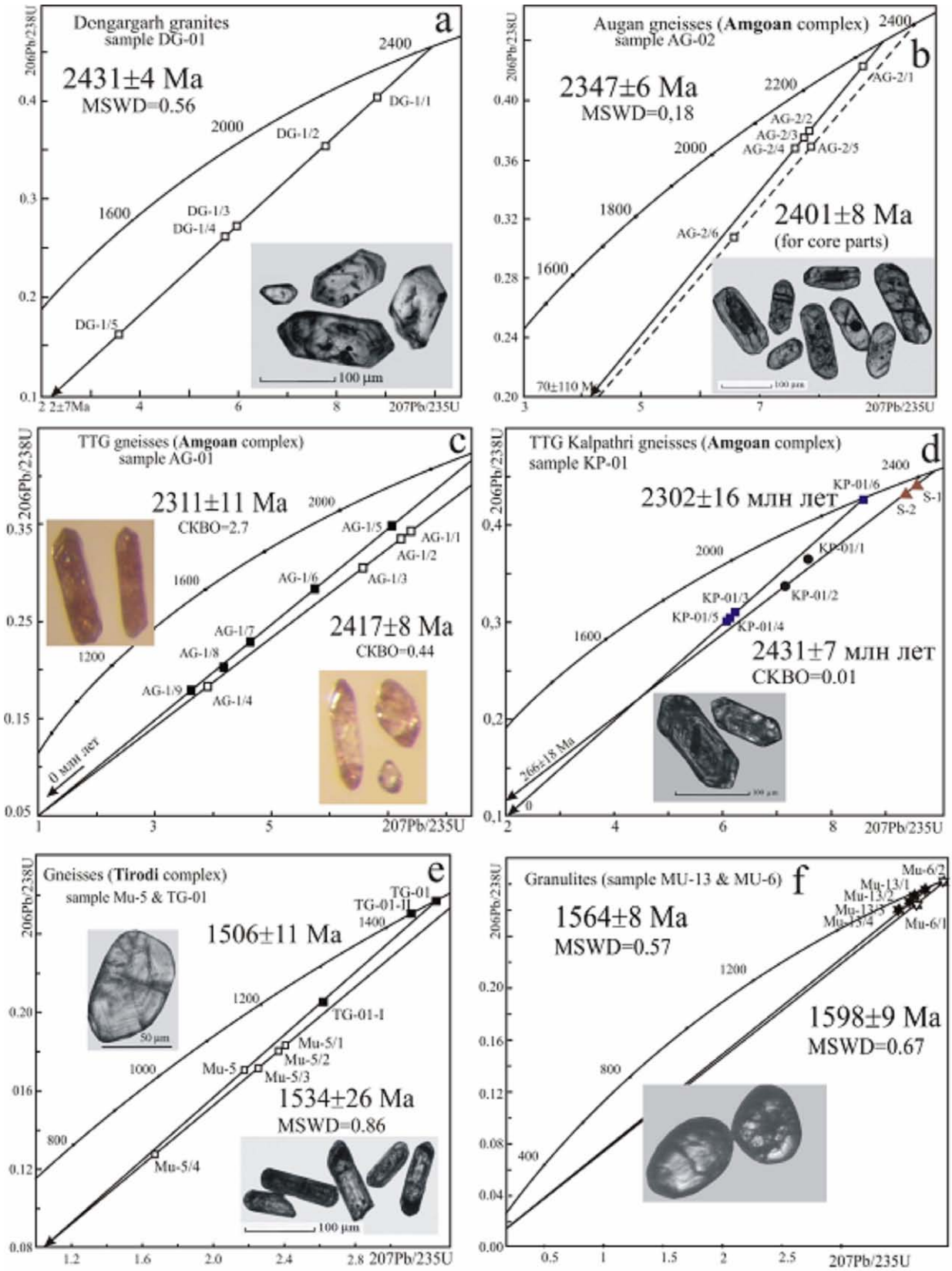


Fig. 6 (a-f) U-Pb concordia for zircon from granites and gneisses of the southern part of the Central Indian shear zone.

preserved grains with higher U contents (1100-1300 ppm) and U-Pb age of 2378±17; iii. prominent metamorphic rims on grains of the second generation. Zircons of the first generation with lower U content are typical for magmatic zircon from tonalities, while brown zircons of the second generation are probable the result of fluid influence from young granitic intrusion.

In sample AG-02 (Group II of AGC) Zircons are represented by brown transparent short to long prismatic grains up to 300 mμ in size (Fig 6b) . Half of grains from the coarse fractions have inherited cores. These zircons have been studied in alcohol and grains with visible cores have been separated and subsequently air abraded. Another fraction was subjected to two-step chemical dissolution. The main generation of zircons has U-Pb age of 2343±17 Ma, which reflects an age of magmatic crystallization of initial granites, while cores have preliminary U-Pb age of 2402±15 Ma, but probably they are older, since there is a certain input of rim age.

Zircons in the sample KP-01 (Group III of AGC) are represented by prismatic yellowish translucent crystals exhibiting magmatic zoning and fracture patterns and often with metamorphic rims (Fig. 6d). The grain sizes vary from 75 to 500 μm. Zircons are rich in U (to 4000 ppm), which is characteristic for zircons from K-granites. The sample also contains brown titanite. The age of the rock is defined as 2432±5 Ma, according to upper intercept of the discordia line, constructed for two titanite and five zircon points.

In sample MU-5 Grey Tirodi Gneiss zircon crystals are represented by light-brown transparent and half-transparent long-prismatic small (70-125 mμ) grains (Fig. 6e). Four fractions yield a U-Pb discordant age of 1534±13 Ma, which is interpreted as an age of magmatic crystallization. Though we have not seen rims in immersion liquids, one fraction gave an age of 1454±5 Ma, which means an influence of younger event.

Two granulite samples from Ramtek area have given U-Pb zircon age of 1577±89 Ma, 1569±15 Ma and 1553±19 Ma (Fig. 6f). These ages are closer to the age shown by the Triddi Gneiss. It appears that the ages of the granulite samples either represent peak metamorphic ages and / or these rocks inherited zircon crystals during the generation of the TGC.

Collectively the Sm-Nd and U-Pb zircon age data from the AGC and TGC indicate that extraction of the crust from mantle started during Archean (~3100 Ma) and the first granitic melt were generated during early Proterozoic (~2400Ma). Probably during this same period more mantle extraction occurred giving rise to protoliths for the future TGC. During early Meso-proterozoic (~1550 Ma) subduction related metamorphic event gave rise to granulite facies rocks as well as extensive crustal remobilization gave rise to the generation of the TGC. Thus, the ACG and TGC appear to represent two independent crustal formation event in the Central Indian shield.

This is part of the contribution under ILTP Project No. INT/ILTP/B-2.58 to TA and TVK and RFBR Grant No. 07-05-00759 to TVK

GEOCHEMICAL, CHARACTERIZATION OF TIRODI BASEMENT GNEISSES, NORTH OF CENTRAL INDIAN SHEAR (CIS) FROM THE CENTRAL INDIAN TECTONIC ZONES (CITZ)

M.K. Mishra[1], T. Ahmad[1], T.V. Kaulina[2]
[1]Department of Geology, University of Delhi, Delhi-11 00 07, India
[2]Geological Institute of the Kola Science Centre, Russian Academy of Sciences, Apatity

The ENE-WSW trending Central Indian Tectonic Zone (CITZ) is an important Proterozoic collisional zone between Son-Narmada North Fault (SNNF) in the north and Central Indian Shear (CIS) in the south. Gavilgarh-Tan Shear lies between SNNF and CIS. Mahakoshal in the north, Sausar in the south and Betul belt in between the two are three important supracrustal belts of CITZ. CIS divides the basement gneissic complexes of the Central Indian Shield in two parts: Tirodi Gneisses in the north and Amgaon Gneisses in the south. Tirodi gneiss constitutes the basement for the Sausar Group sediments and comprises of two distinctly colored granitoids namely grey and pink granitoids. Pink granitoids are relatively younger than grey ones as the Pink granitoids cut the foliation in grey gneisses (Fig. 1a).

They are extensively traversed by aplites and pegmatites which are dominated by k-feldspar. The colour variations of these gneisses are due to enrichments of plagioclase feldspar and biotite in grey gneisses and microcline in pink gneisses. Quartz, microcline feldspar, plagioclase feldspar and mica (biotite and muscovite) are essential mineral compositions of these gneisses. The rock shows well developed gneissic band (Fig. 1b) with strong foliation and lineation.

Tirodi Gneisses are metaluminous to peraluminous in nature (Fig. 2a), calc-alkaline (Fig. 2b) and alkali feldspar-granite to granite in composition (Fig. 2c). Major element geochemistry show 56.17 to 78.12 wt% of SiO_2, 10.37 to 15.06 wt% of Al_2O_3, 0.32 to 7.53 wt% of K_2O and 1.07 to 3.86wt% Na_2O. These gneisses are low in MgO (av. 1.86 wt %) but high in Fe_2O_3 (av. 3.84 wt %).

Based on REE data the samples are classified into three groups (Fig. 3), viz. Group-1, with enriched LREE [$(La/Sm)_N$ ratio ~ 4.68] pattern indicating their derivation from enriched sources and the absence of negative Eu-anomaly

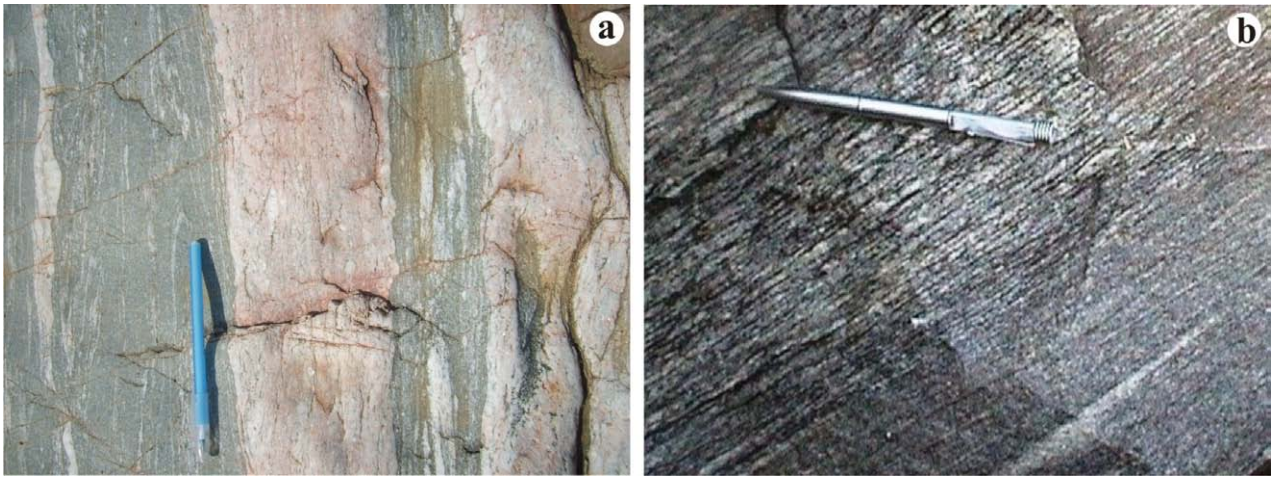


Fig. 1. (a) Photograph showing intrusion of pink gneiss into grey gneiss, (b) photograph showing well developed gneissic bands.

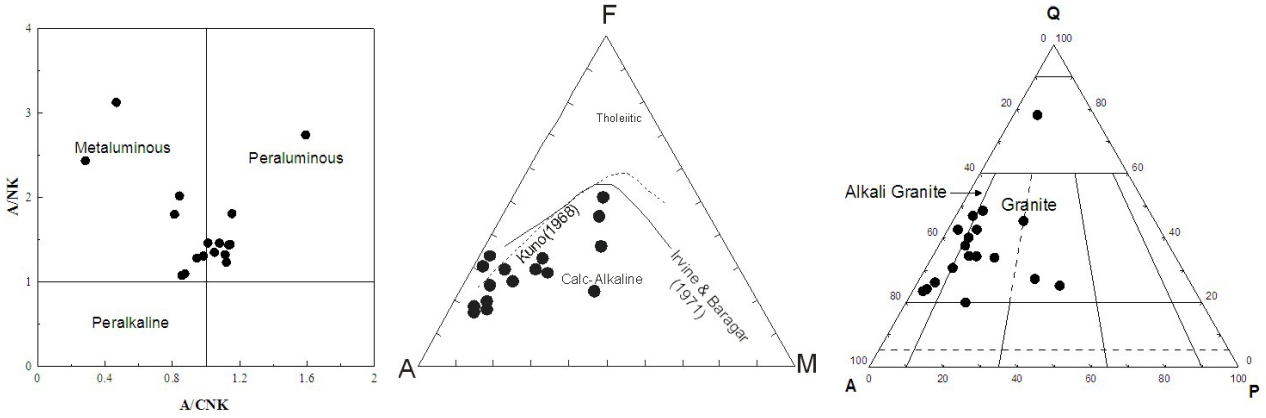


Fig. 2. (a) A/CNK-A/NK (Fields after Maniar and Piccoli, 1989), (b) A-F-M plot (trends from Irivne and Baragar, 1971 and Kuno, 1968, (c) Q-A-P plot (Fields by Le Maitre et al., 1989).

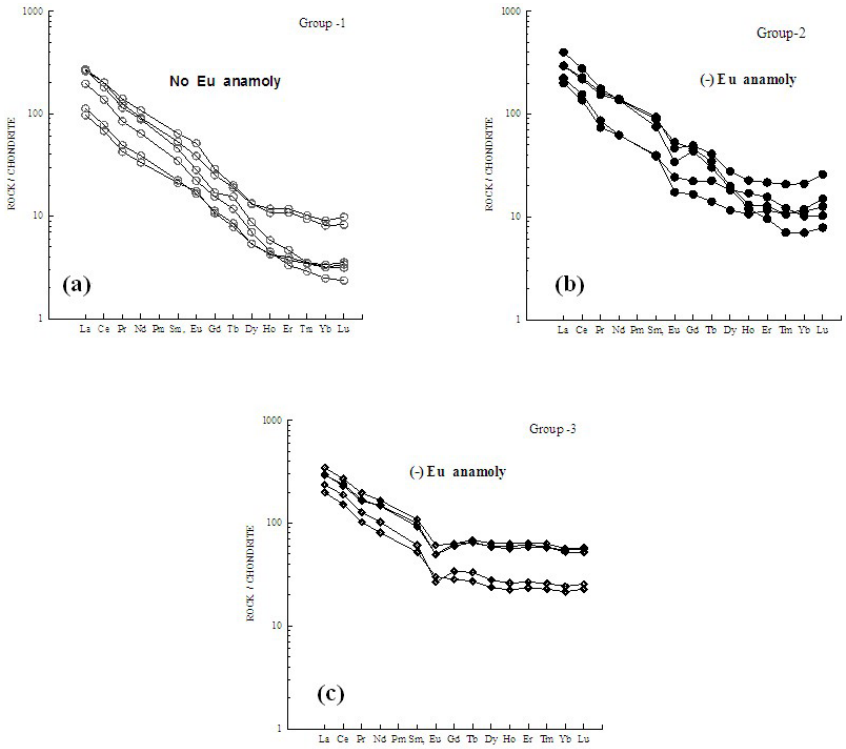


Fig. 3. Chondrite normalized REE diagrams of Tirodi gneisses (a) Group-I, (b) Group-II, (c) Group-III. Chondrite values after McDonough and Sun (1995).

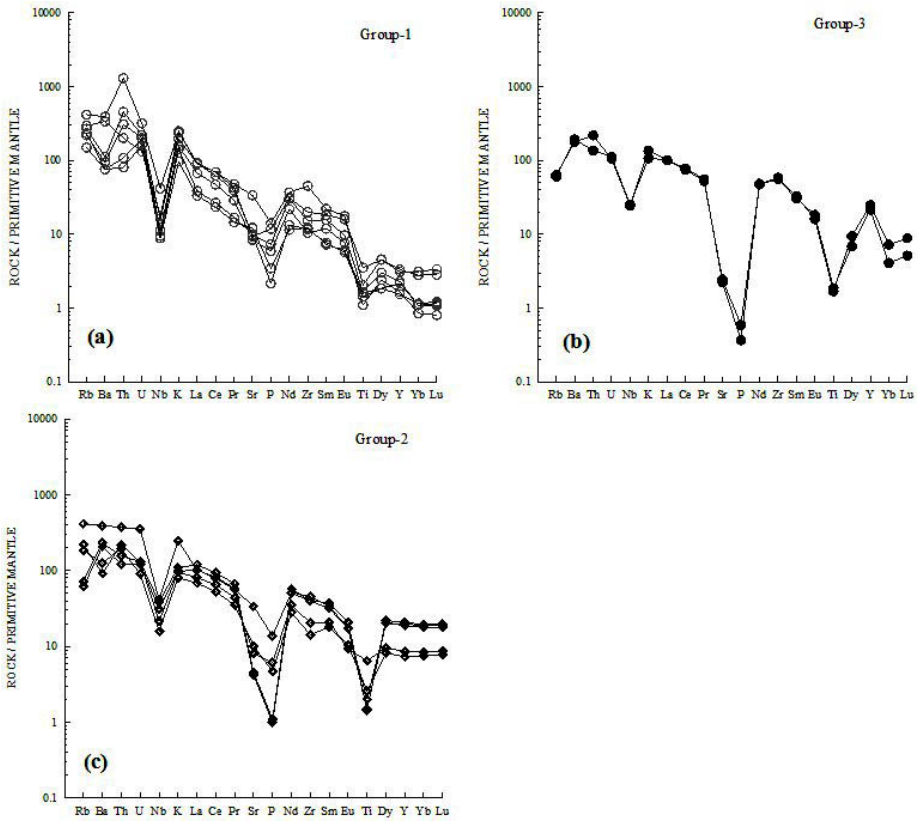


Fig. 4. P-Mantle normalized trace element diagrams of Tirodo gneisses (a) Group-I; (b) Group-II; (c) Group-III; Primitive mantle Value after McDonough and Sun (1995).

indicate absence of feldspar fractional crystallization in their genesis(Fig. 3a). Group-2 with enriched LREE [$(La/Sm)_N$ ratio ~ 4.90] pattern, highly depleted HREE [$(Gd/Yb)_N$ ratio 3.50] and negative Eu-anomaly. Negative Eu-anomaly probably indicates fractionation of feldspars and highly depleted HREE pattern indicates presence of garnet in the residual source (Fig. 3b). Group-3 has enriched LREE with negative Eu-anomaly and less depleted HREE [$(Gd/Yb)_N$ ratio 1.17], which probably indicates garnet free source (Fig. 3c).

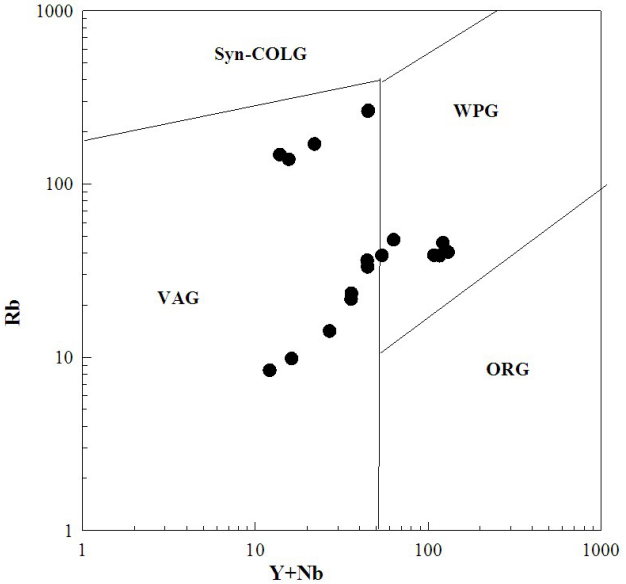


Fig. 5. Tectonic discrimination diagram Nb+Y vs. Rb (ppm) plot Fields after Pearce et al., 1984 of Tirodi gneisses.

In the spider diagram most of the samples are show negative Nb and Ti anomalies. U and Th show a slightly positive anomaly which indicates crustal involvement in the formation of these rocks (Fig. 4).

Rb vs. Y+Nb relationship shows Within Plate Granite (WPG) to Volcanic Arc Granites (VAG) character of these gneisses (Fig. 5).

From the other classification diagrams for A-type granites (10000*Ga/Al vs. Nb, Ce, Zr, Y and Zr + Nb + Ce + Y vs.10000*Ga/Al most of the samples plot in the A-type granite field and a few samples plot at the boundary between A-type and I and S-type granites.

The epsilon Ndt for granitoids from Ramtek-Betul sections were derived from enriched sources and they had long crustal residence period prior to the generation of these gneissic rocks. The T_{DM} ages indicate extraction of the protoliths for these granitoids from the mantle sources during 2503 to 2118 Ma.

This is part of the contribution under ILTP Project No. INT/ILTP/B-2.58 to TA and TVK and RFBR Grant No. 07-05-00759 to TVK.

Месторождения полезных ископаемых и методы их изучения

ПУТИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ РАЗРАБОТКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ РЕГИОНА В ЗАПОЛЯРЬЕ

Г.М. Еремин
Горный институт КНЦ РАН, г. Апатиты, e-mail: bugasha@goi.kolasc.net.ru

На Кольском полуострове разрабатывается ряд месторождений полезных ископаемых, которые являлись и являются поставщиками основного сырья для черной, цветной и химической промышленности, а также редкометального сырья. Интенсивная разработка этих месторождений в 60-80 гг. прошлого века привела к тому, что большая часть их запасов, отрабатываемых в основном открытым способом при небольшой глубине карьеров, отработана и в настоящее время разработка ведется на больших глубинах при ухудшающихся горногеологических и горнотехнических условиях, а доля открытого способа значительно уменьшилась. Базовые карьеры вступили в стадию средних и глубоких, их работа ведется в условиях снижающегося спроса на продукцию, особенно в черной и химической промышленности.

Эффективность разработки месторождений снизилась в связи с тем, что повысилась доля подземного способа, которому свойственны большая себестоимость добычи 1 т руды и повышенные потери, достигающие 15-20% при блоковых системах и даже при системах с подэтажной отработкой. Другим усугубляющим фактором снижения эффективности разработки месторождений комплексных руд не только в регионе, но и республиках СНГ (Украина – железные руды) является ориентация на продажу концентратов за рубеж. Дело не только в том, что в концентратах кроме основного компонента могут быть и другие ценные компоненты, но и в том, что механизм рыночной торговли постоянно влияет на снижение цены товара. В результате цены на сырье (товары) имеют тенденцию к снижению или замораживанию, что подтверждают периодически происходящие экономические катаклизмы (создание запаса сырья и искусственное снижение спроса).

В этих условиях целесообразно повышать эффективность разработки месторождений полезных ископаемых, ориентируясь на применение производительных технологий добычи и переработки комплексных руд, и совершенствование регулирования рыночных методов при реализации продукта. Первоочередным шагом в этом направлении является резкое снижение потерь руды при добыче.

Автором выполнено обоснование новой методики определения потерь и разубоживания руды. Показаны пути их снижения и повышения эффективности отработки месторождения карьером. Применительно к Коашвинскому сложноструктурному месторождению апатито-нефелиновых руд проведено изучение источников потерь и разубоживания руды и способов их снижения. Установлено, что источниками потерь и разубоживания руды при отработке карьером являются:

1. Участки приконтактных зон со стороны лежачего и висячего боков залежи.
2. Участки приконтактных зон при отработке оконтуренных рудных тел с извилистой конфигурацией.
3. Выклинивание маломощных рудных тел и пропластков породы ($m_р$=5-10 м и $m_п$=3-10 м).

При этом общие потери П и разубоживание R руды составят:

$$П = П_к + П_б, \%$$
$$R = R_к + R_б, \%$$

где $П_к$, $R_к$ и $П_б$, $R_б$ – соответственно потери и разубоживание руды при отработке контактов и блоков по горизонтам.

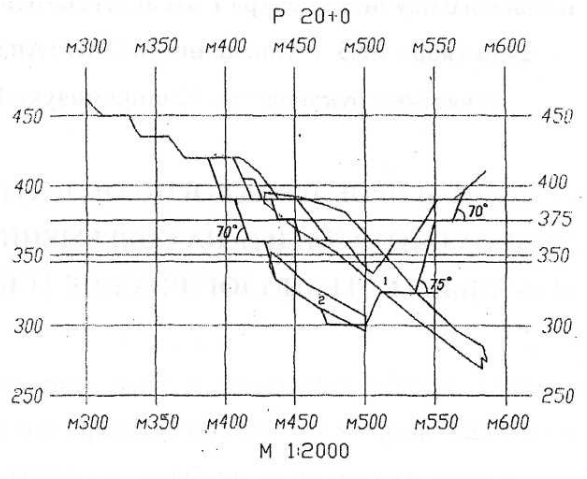


Рис. 1. Поперечный разрез месторождения «Олений Ручей»: 1, 2 – рудные тела.

Применительно к геологическим данным (карта, составленная геологами МГРЭ на 2000 г. с выходами рудных тел) определены потери и разубоживание руды при отработке приконтактных зон со стороны лежачего и висячего боков залежи и в плане (по блокам). Эти показатели для зон контакта с вмещающими породами составили 5-6 и 8-10%, а по блокам (по горизонтам) между разрезами 18-20 и 26-28, средние значения равны: потери $П_б$=6,9% и разубоживание $R_б$=11,8%. Таким образом, общие потери и разубоживание руды на этот период составили П=12,4% и R=20,8%, что превышает потери и разубоживание руды по проекту в 1,5–2,5 раза. Снижения потерь и разубоживания руды можно достичь применением селективных методов при отработке сложноструктурных рудных контактов (делением на подуступы) и более точным оконтуриванием блоков при снижении их длины (короткие блоки). Применение этих методов может помочь снизить потери руды и разубоживание в 1,5–2 раза.

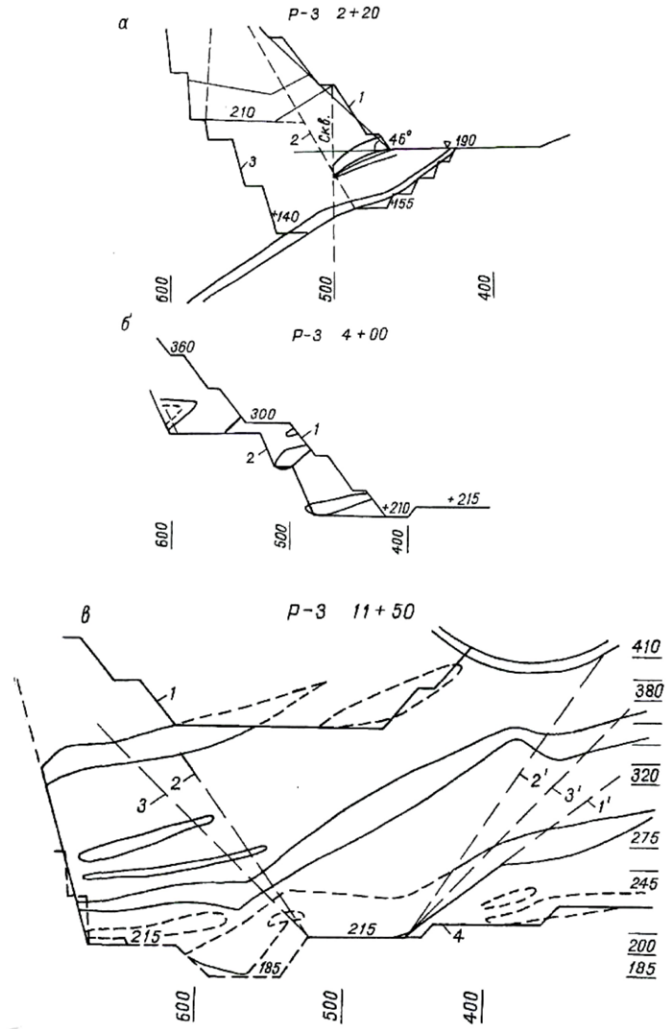


Рис. 2. Доработка маломощных рудных тел открытым способом (Ньоркпахкский карьер): а, б, в (разрезы 2+20, 4+00, 11+50) - 1 – по проекту; 2, 3, 4 – возможные и предлагаемые варианты разработки рудных тел.

Для месторождения «Олений Ручей» определены потери и разубоживание руды при высоте уступа 15 м. Рудные тела с изменяющейся мощностью и углом падения рассматривались как пластовые (без учета брекчированности по восстанию и выклинивания с переслаиванием породными прослойками). Средние потери и разубоживание руды по всем участкам составили 8-10 и 12-15%, по сравнению с проектными 4,5 и 7% (рис. 1). Снижение потерь и разубоживания руды до этих величин может быть достигнуто уменьшением высоты уступа до 10 и 5 м (деление уступа на два подуступа) (табл. 1).

Для Ньоркпахкского карьера Восточного рудника ОАО «Апатит» предложен способ доработки группы выклинивающихся рудных тел рис. 2). На основе анализа структуры рудных тел со снижающейся мощностью до небольших значений (3-5 м и меньше) предложена их отработка открытым способом на участке, где они отнесены в потери. За счет повышения крутизны уступов до 60-65°. При дополнительно могут быть отработаны десятки тысяч тонн апатитовой руды с коэффициентом вскрыши 0,5-1 м^3/т.

Целесообразно также на отдельных участках отработать группы линзовидных рудных тел карьером с эксплуатационным коэффициентом вскрыши, близким к граничному (рис. 2 в).

На примере рудного тела месторождения «Плато Расвумчорр» и бокового рудного тела мощностью m=84 м с углом падения β=35-45° выполнена оценка эффективности применения подуступной отработки рудных контактов с целью снижения потерь и разубоживания руды. В отличие от традиционного способа отработки контактных зон с совместным взрыванием руды и породы, рассмотрен вариант бурения скважин на высоту подуступа со стороны лежачего и висячего бока рудной залежи, обеспечивающий получение минимальных площадей теряемой руды и примешиваемой породы. В пределах рудного тела отработка слоя осуществляется на всю высоту уступа.

Таблица 1. Показатели потерь и разубоживания руды по слоям при различной высоте уступа.

Рудное тело	Усредненные показатели мощности и угла падения		Высота уступа, м					
	$M_{ср.}$, м	$\alpha_{ср.}$, град.	15		10		5	
			П, %	R, %	П, %	R, %	П, %	R, %
Центральный рудник								
1	200	30	3*	5-6	-	-	-	-
2	85		8,2	11,8	-	-	-	-
Месторождение «Олений Ручей»								
1	44,7	30	11,1	13	7,4	9	-	-
2	39,2	34,8	9,4	11	8,1	10	-	-
3	19	38	19,8	21	11,7	13	5,9	8

Примечание: * - фактические данные

При выявленной закономерности уменьшения потерь и разубоживания руды с увеличением угла наклона рудной залежи достичь снижения потерь и разубоживания можно переходом к отработке рудного контакта, как со стороны лежачего, так и висячего боков залежи на высоту подуступа – 7,5 м. Особенно существенно снижение по-

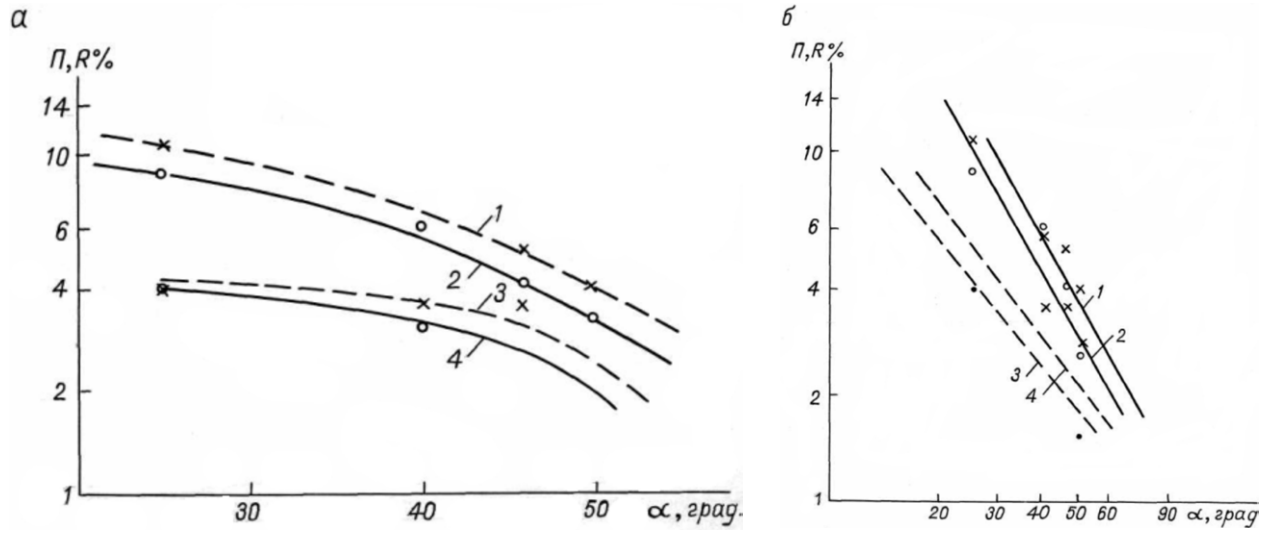


Рис. 3 а, б. Изменение потерь и разубоживания руды с изменением угла наклона рудной залежи при делении на подуступы и традиционной технологии:

а, б - в обычных и логарифмических координатах. 1, 2, 3, 4 - потери руды и разубоживание при традиционной и предлагаемой технологии работ.

терь и разубоживания руды при отработке рудного контакта со стороны висячего бока (в 2-3 раза). Оценка затрат на дополнительное бурение скважин со стороны лежачего и висячего боков залежи при снижении потерь руды и примешивания породы в 2 раза (6% до 3%) показала, что экономический эффект может составить 1,25 млн. долл. в год.

При добыче руд открытым и подземным способом, следует учитывать, что их запасы снижаются. Если цены на сырьё не смогут компенсировать затраты на разработку руды и её переработку с непрерывной модернизацией производства, то посёлки и города региона хорошей перспективы иметь не могут. В ценообразовании кроме фирм должны принимать участие научно-исследовательские организации и государственные службы.

В этом плане возникает ряд вопросов с особенностью разработки апатитового месторождения «Олений Ручей» Северо-Западной фосфорной Компанией по сравнению с разработкой других месторождений ОАО «Апатит». Две конкурирующие фирмы могут способствовать снижению цены на апатитовый концентрат. Немаловажным является, то, что разрабатываемые на Кольском полуострове месторождения включают не только фосфорную, но азотистую и магниевую компоненты, а также микродобавки, обеспечивающие засухоустойчивость и повышение урожайности зерновых. Такие комплексные удобрения, как один из видов конечной продукции могут бы быть разработаны и апробированы на базе КНЦ РАН и сельскохозяйственного предприятия «Индустрия».

ИЗУЧЕННОСТЬ ХИБИНСКОГО МАССИВА ГЕОФИЗИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ

А.М. Жирова
Геологический институт КНЦ РАН, г. Апатиты, e-mail: anzhelaz@geoksc.apatity.ru

Геофизические исследования на территории Хибинского массива проводились в связи с тем, что в нем сосредоточены основные месторождения апатитовых руд Кольского региона. Известно, что на территории Хибинского массива первые геофизические работы начаты еще в 1930-е годы, которые получили свое планомерное развитие в конце 50-х годов усилиями различных исследователей, таких как Г.Н. Шаблинский, Н.А. Каверзнева; В.И. Богданов, И.И. Сорокина; А.В. Роллер, А.Л. Ронин; В.А. Тюремнов; О.Л. Сняткова, Н.И. Пронягин; В.И. Павловский, Г.А. Иванов и многих других.

С 1959 г. изучение Хибинского массива геофизическими методами начато с целью картирования коренных пород; выделения наиболее перспективных рудных участков и зон, обогащенных апатитовыми и сфен - апатитовыми породами. С помощью геофизических методов исследовалась глубинная структура Хибинского массива и в первую очередь строение ультраосновных фоидолитов, с которыми связаны апатитовые тела. Ведущее место в исследованиях принадлежало методам структурной геофизики - сейсморазведке, гравиразведке, аэромагнитной съемке [1].

Первый этап геофизического исследования массива связан с поисками рудных объектов, выходящих на поверхность кристаллических пород, но перекрытых наносами четвертичных отложений. При картировании и

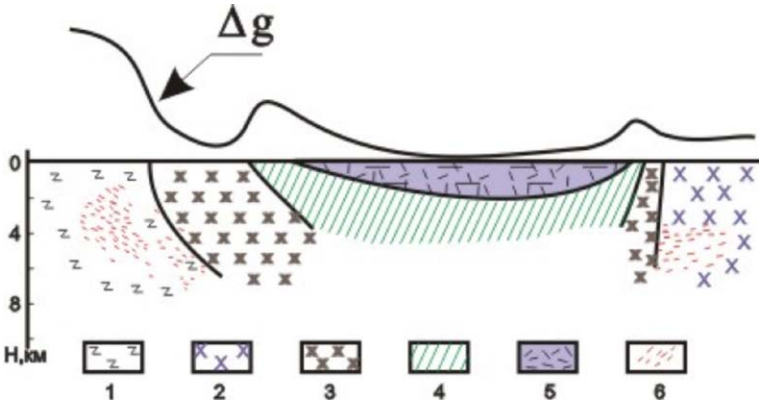


Рис. 1. Схематический разрез Хибинского массива по геофизическим данным [2].

1 – эффузивно-осадочные породы; 2 - гнейсы; 3 - хибиниты; 4 - ультраосновные фоидолиты (ийолит-уртиты); 5 - фойяиты, рисчорриты; 6 - отражающие площадки по данным метода отраженных волн в гнейсах и эффузивно-осадочной толще.

оконтуривании приповерхностных апатитовых тел магниторазведка с высокоточной гравиметрии давали надежные результаты. Однако для поисков и разведки глубокозалегающих рудных тел исследовали строение горных пород с целью поисков структур, с которыми может быть связано оруденение. Так как месторождения хибинских апатитов приурочены к интрузии ультраосновных фоидолитов, то исследование ее тектоники стало одной из важнейших задач геофизических методов разведки этого периода [2].

В целом изучение структуры Хибинского массива продвигалось по двум основным направлениям: изучение контактов массива и структуры ийолит-уртитовой толщи. В результате исследований, проведенных в Хибинском массиве, получен его схематический разрез и, прежде всего новые сведения о тектонике фоидолитов [2] (рис. 1). В частности, до проведения геофизических исследований в 1960-62 г.г. считалось, что ийолит-уртитовая интрузия имеет коническую форму [3], центральная часть которой выполнена мощной толщей фойяитов, среднезернистых нефелиновых сиенитов и рисчорритов. Однако количественные расчеты, проведенные по аэромагнитным данным и результатам отдельных гравиметровых маршрутов, показали, что висячий бок интрузии по направлению к центру интрузии быстро выполаживается и его углы падения уменьшаются до 0-10 º (рис. 1). В центре массива верхнюю границу фоидолитов можно встретить на глубине 3÷4 км. Таким образом, в результате геофизических работ установлено, что интрузия имеет не конусообразную форму, а форму лакколита.

Для изучения структуры ийолит-уртитового комплекса в связи с поисками апатит-нефелиновых руд применялась сейсморазведка МОВ в более поздние годы [4], в результате построены многочисленные детальные разрезы.

Глубинная тектоника и структура Хибинского массива изучалась сейсморазведкой, гравиразведкой и аэромагниторазведкой [5]. При исследовании контакта Хибинского массива с породами свиты Имандра - Варзуга ведущим методом была гравиразведка, с помощью которой над контактом пород выявлена исключительно четкая аномалия силы тяжести. Авторам удалось составить серию разрезов через южный и западный контакты массива до глубины 4-6 км. Для проверки гравитационных данных, а также исследования северного контакта использовалась сейсморазведка методом отраженных волн. В результате сделан вывод о том, что наблюдаемые волны отражены от границ, находящихся в кристаллических породах, а на площади Хибинского и Ловозерского массивов не удалось найти ни одного участка, где были бы зарегистрированы вступления отраженных волн, идущих из толщи щелочных изверженных пород. Глубинная граница плутона отмечалась как граница между областью многочисленных отражающих площадок и областью их полного отсутствия (см. рис. 1.).

На основании данных геофизических работ Г.Н. Шаблинским [5] сделаны следующие выводы о глубинном строении Хибинского плутона. На севере его контакт с вмещающими гнейсами прослеживается на глубину до 6-7 км, причем на всем интервале отмечается крутое падение контакта под углом 81° в сторону массива. Западный контакт плутона также падает под массив, но несколько более полого. До глубины 5-6 км здесь отмечаются углы падения порядка 70°, затем наблюдается тенденция к выполаживанию контакта, который на глубине 6-7 км характеризуется углами падения 40-50°. Поведение южного контакта Хибинского плутона подобно тому, которое наблюдается на западных участках. До глубины 2-3 км контакт нефелиновых сиенитов падает в сторону массива под углом 80°, далее угол падения уменьшается до 40-50° и на глубине 6-7 км геофизические методы перестают его прослеживать. Дальнейшее поведение контакта на глубинах свыше 7 км осталось невыясненным. Таким образом, южные и юго-западные районы Хибинского плутона по геофизическим данным имеют лополитообразную форму.

Позднее результаты исследований методом МОВ [6] были пересмотрены [7] в свете развития методов рудной сейсморазведки. Начиная с 1970 г., проводились комплексные наблюдения на наземных профилях методом отраженных волн и во внутренних точках среды методом вертикального сейсмопрофилирования [7]. Важным результатом является доказательство наличия устойчивых и протяженных групп отражений, связанных с Хибинским и Ловозерским массивами (рис. 2). По мнению авторов [7], одним из основных факторов, создающих поле отраженных волн, является тонкослоистая структура, свойственная в разной степени всем комплексам щелочных пород массива. Установлено, что наиболее интенсивные отражения, связанные со щелочными породами массива, были отражения от стратиграфических контактов массивных и расслоенных интрузивных комплексов. В пределах Хибинского массива зарегистрированы отраженные волны, связанные с зонами тектонических нарушений. Выявлено, что Хибинский массив имеет форму асимметричного лополита с мощностью до 10 км. При

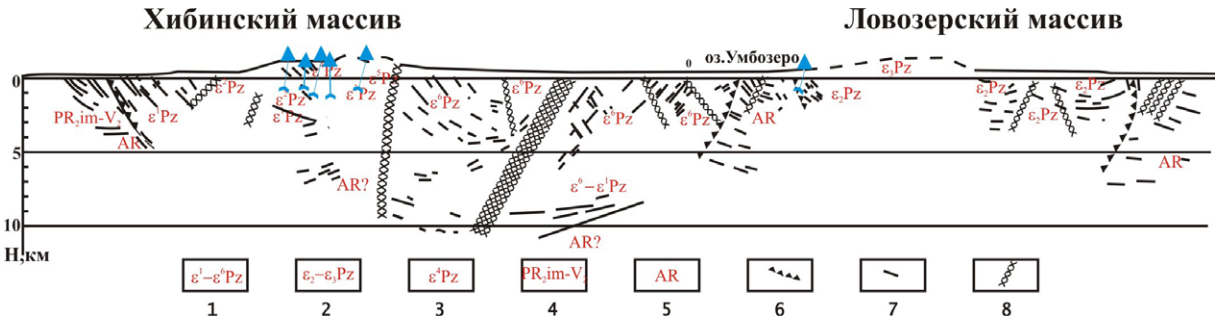


Рис. 2. Сводный сейсмогеологический разрез через Хибинский и Ловозерский массивы по данным [7].

1-2 – разновидности интрузий нефелиновых сиенитов; 3 – продуктивная интрузия ультраосновных фоидолитов (ийолит – уртитов) Хибинского массива, 4-5 – вмещающие породы, 6 – контакты массивов с вмещающими породами (по сейсмическим данным), 7 – отражающие площадки (горизонты), 8 – зоны тектонических нарушений, предполагаемые по сейсмическим данным.

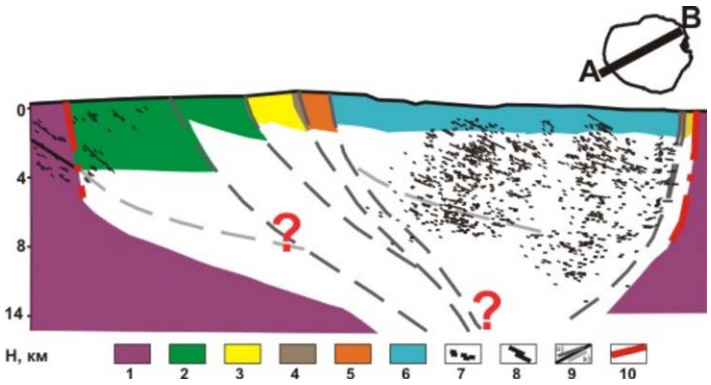


Рис. 3. Компиляционная схема глубинного строения Хибинского массива [8]

1 – архейские и протерозойские породы; 2 – хибиниты; 3 – рисчорриты; 4 – малиньиты; 5 – лявочорриты; 6 – фойяиты; 7 – отражающие площадки; 8 – условные сейсмические границы; 9 – контакты между интрузиями массива а), между субфазами одной интрузии б); 10 – контакты массива по геофизическим данным.

этом устанавливается закономерное выполаживание контактов отдельных интрузивных комплексов с глубиной.

Обобщенная схема глубинного строения массива на основе геофизических исследований представлена А.В. Галаховым (рис. 3). Основная масса отражающих площадок установлена в восточной и центральной части, а также в районе массивных хибинитов и их контактов с комплексом Имандра-Варзуга. На их основе проведены условные сейсмические границы. В целом, по разрезу А.В. Галахова (рис. 3) [8] можно отметить, что геологическое строение верхней части и контакты плутона изучены геолого-геофизическими методами достаточно хорошо, однако строение на глубине - условное и корневая часть массива практически не освещена. Вопросы внутренней структуры Хибинского массива поднимаются в работе [9], где в результате петроплотностного моделирования освещается конически-кольцевое строение Хибинского плутона до глубины 10 км (рис. 4).

Исследования, связанные с построением 3D- сейсмической модели Хибинского массива, предпринимались в рамках работ по изучению 3D- строения Лапландского гранулитового пояса и соседних структур, включая Хибинский массив [10].

В 2007 г. построена объемная комплексная модель верхней части коры в районе Хибинского и Ловозерского плутонов (рис. 5) [11]. Она базируется на всем накопленном в регионе сейсмическом и гравиметрическом материале и использовании современных вычислительных алгоритмов. Для Хибинского массива результаты комплексной интерпретации демонстрируют его сложное строение в средней части разреза, отличающееся от геологических представлений о его концентрически зональной конусообразной форме [4, 5]. Различия проявляются в характере юго-западного контакта плутона с окружающими породами и рельефе дна. Выполаживание юго-западного контакта с протерозойскими эффузивами происходит на уровне менее 4 км. Для донной части массива получена оценка глубины 11÷12 км. Спецификой глубинного строения массива, является наличие аномальных объектов на глубинах 2-5 км. Можно предположить, что они представляют фрагменты палеокальдеры Хибинского массива. Детальное выяснение геологической природы глубинных геофизических неоднородностей требует привлечения петрологических данных по щелочным породам региона.

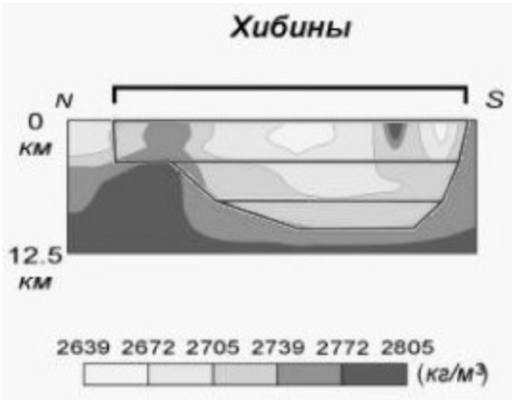


Рис. 4. Плотностной разрез Хибинского массива по результатам 3D- моделирования [9].

Исследования поддержаны грантом РФФИ № 07-05-13579- офи_ц.

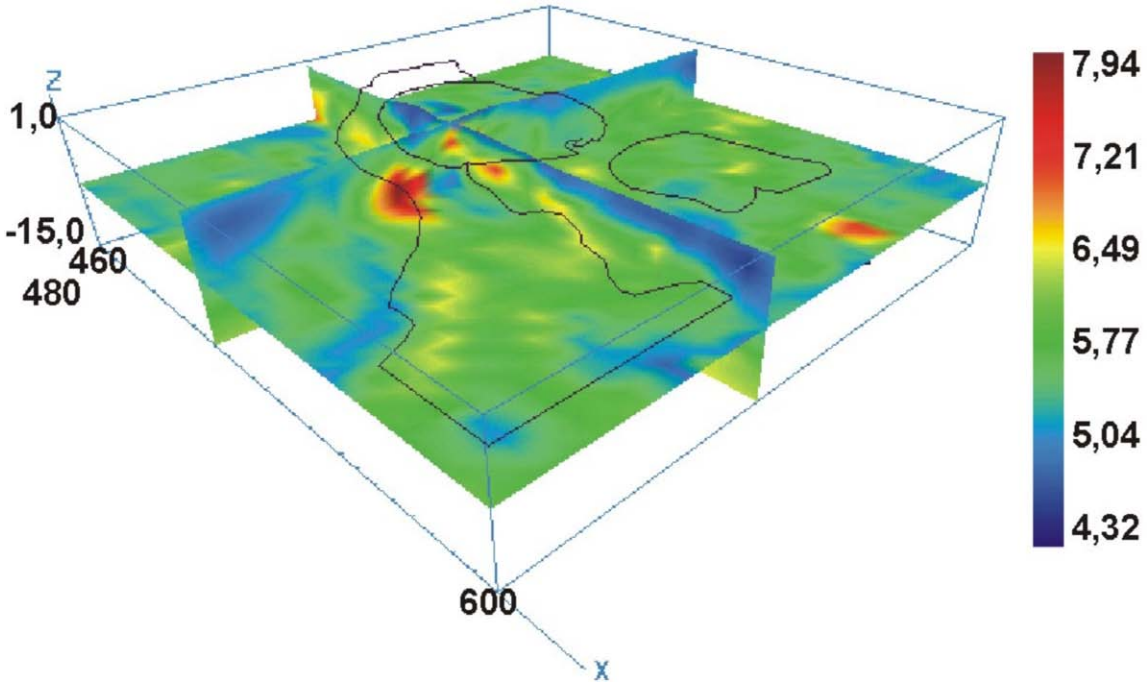


Рис. 5. 3D-комплексная модель строения земной коры в районе Хибинского и Ловозерского массивов в значениях скорости продольных волн (км/с) [11].

Список литературы

1. Шаблинский Г.Н., Каверзнева Н.А. О применении геофизических методов для поисков апатитовых руд // Разведка и охрана недр. 1965. № 9. С. 32-35.

2. Шаблинский Г.Н. Очередные задачи геофизических работ при поисках апатитовых руд на Кольском полуострове // Опыт применения радиоактивных и других физико-химических методов при поисках и разведке руд. Л: Недра, 1967. С. 107-112.

3. Елисеев Н.А., Ожинский И.С., Володин Е.Н. Геологическая карта Хибинских тундр // Тр. Ленингр. геол. упр-я. 1939. Вып. 19. 68 с.

4. Сняткова О.Л., Пронягин Н.И. Новые данные о структуре апатит-нефелиновых месторождений // Разведка и охрана недр. 1983. № 7. С. 10-14.

5. Шаблинский Г.Н. К вопросу о глубинном строении Хибинского и Ловозерского плутонов // Тр. Ленингр. об-ва естествоиспытателей. 1963. Т. 74. № 1. С. 41-43.

6. Шаблинский Г.Н. Метод отраженных волн при исследовании глубинного строения щелочных массивов Кольского п-ова // Зап. ЛГИ. 1963. Т. 46. № 2. С. 28-32.

7. Роллер А.В., Ронин А.Л., Пронягин Н.И. Применение метода отражений волн при изучении глубинного строения Хибинского массива // Методы разведочной геофизики. Рудная сейсморазведка. Л.: Недра, 1978. С. 96 - 102.

8. Галахов А.В. Петрология Хибинского щелочного массива. Л.: Наука, 1975. 256 с.

9. Арзамасцев А.А., Беа Ф., Беляцкий Б.В. и др. Палеозойские процессы плюм-литосферного взаимодействия в северо-восточной части Балтийского щита: длительность, объемы, условия магмогенерация // Геология и полезные ископаемые Кольского полуострова. Апатиты: Изд-во КФ АН СССР, 2002. С. 104-145.

10. Буянов А.Ф., Глазнев В.Н., Митрофанов Ф.П. и др. Трехмерное строение Лапландского гранулитового пояса и соседних структур Балтийского щита по геофизическим данным // Региональная геология и металлогения. 1996. № 5. С. 48-63.

11. Глазнев В., Жирова А., Раевский А. Сейсмоплотностная модель гигантских щелочных массивов Хибин и Ловозера (Кольский полуостров) // Матер. 34-й сессии Межд. семинара «Вопросы теории и практики интерпретации гравитационных, магнитных и электрических полей». М.: ИФЗ РАН, 2007. С. 78-81.

ЖИЗНЕННЫЕ ЦИКЛЫ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ХИБИНСКИХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Е.А. Каменев
Институт экономических проблем Кольского научного центра РАН, г. Апатиты
e-mail: kamenev@iep.kolasc.net.ru

Жизненный цикл месторождения - это модель функционирования рудного объекта, обеспечивающая достижение оптимального сочетания экономических интересов недропользователя, развития рудно-сырьевой базы, сохранения рудного потенциала для будущих поколений, обеспечения природоохранных требований. Продолжительность жизненного цикла рудного объекта определяется совокупным влиянием ряда факторов: 1) обеспеченностью рентабельными запасами и потребностью в минеральном сырье; 2) горно-геологическими условиями разработки, экономико-экологическими ограничениями.

Обеспеченность предприятия рудно-сырьевой базой является функцией масштабов и воспроизводством запасов месторождения в системе «прирост-добыча» и мощностью предприятия. Потребность в продукции минерально-сырьевого комплекса определяется уровнем развития производительных сил страны, геополитической обстановкой и, в конечном счёте, конъюнктурой мирового сырьевого рынка. Жизненный цикл охватывает период от подготовки рудной базы, эксплуатации до полной выработки запасов и ликвидации рудника.

Подготовительный период включает этапы: а) геологической разведки по подготовке рудной базы; б) проектирования и строительства рудника, обогатительного и обслуживающих производств, технологически связанных с добычей, переработкой и транспортировкой минерального сырья. Длительность подготовительного периода зависит от востребованности продуктов переработки сырья: чем она больше, тем короче отрезки времени от подготовки запасов до начала их разработки.

Период эксплуатации рудного объекта охватывает этапы: а) освоения и развития (от ввода рудника до достижения проектной мощности); б) стабилизации на уровне проектной производительности; в) интенсивного развития в результате реконструкции предприятия; г) спад объёмов добычи в связи с истощением запасов или по другим причинам.

Период ликвидации (консервации) предприятия включает этапы: а) доработки и списания остаточных запасов; б) рекультивации территории.

Для весьма крупных месторождений, к числу которых относятся Хибинские, приведенная последовательность жизненных циклов предстаёт в усложнённом виде: разведочные работы могут выполняться поэтапно и одновременно с эксплуатацией, стабильная добыча может неоднократно сменяться фазами роста и спада производства. Рудно-сырьевая база Хибин представлена шестью эксплуатируемыми и четырьмя резервными месторождениями, из которых одно месторождение находятся на стадии подготовки к освоению. Одновременная отработка ряда месторождений, различающихся масштабами запасов (от средних до уникальных), качеством руд и условиями добычи, при долгосрочной обеспеченности запасами создает благоприятные условия для устойчивого развития предприятия. В качестве критериев для выделения периодов и этапов жизненных циклов месторождений принимались фактические показатели добычи по отношению к проектной производительности. Для каждого этапа определены параметры: а) продолжительность периодов и этапов цикла (Т, годы) и годовая мощность (М, млн. т/год); б) объёмы добычи руды (Д, млн. т) открытым и подземным способами (О/П, %); в) качество добытой руды (содержание P_2O_5 - С, %). Для этапов стабилизации введён показатель превышения уровня среднегодовой добычи по отношению к проектной мощности (+М).

Освоение месторождения **Кукисвумчорр** предшествовало геологической разведке, что является беспрецедентным случаем в горно-геологической практике. Разведочные работы осуществлялись одновременно с развитием добычи: «промышленная разведка» по обеспечению запасами текущей добычи (1930-40), разведка верхних горизонтов (1946-50) и глубоких горизонтов (1968-72), и комплексная переоценка запасов месторождения по новым кондициям (1986-90). Начальные запасы руды на месторождении Кукисвумчорр составляли 840 млн. т со средним содержанием P_2O_5 17,8%, которые отработаны на 55%. Остаточные запасы для подземной отработки составляют 430 млн.т с содержанием P_2O_5 14,6%. Перспективы для наращивания запасов исчерпаны (рис. 1).

В ранний период освоения, прерванный войной, из карьера добывалась руда, не требующая обогащения (32-28% P_2O_5.). В 1931-34 г. введены в эксплуатацию две очереди АНОФ-1, подземный рудник. После достижения проектной мощности в 5 млн.т/год, рудник функционировал в режиме стабилизации (1956-70), сменившемся интенсивным развитием в связи с вводом в эксплуатацию Северного карьера (1971-76).

С 1990 г. действует Объединённый Кировский рудник мощностью 9,9 млн.т/год по разработке месторождений Кукисвумчорр и Юкспор, предусматривается увеличение объемов добычи руды до 12-14 млн. т. и поддержание на этом уровне до 2025 г.

Разведочные работы на месторождении **Юкспор** проводились в 1930-40 гг. («промышленная разведка», соответствующая стадии оценочных работ), предварительная и детальная разведка верхних (1950-54) и глубоких горизонтов (1978-83) (рис. 2). Дважды, в 1965 и 1983 гг., производилась переоценка запасов по эксплуатационным кондициям с учётом снижения бортовых содержаний P_2O_5 от 12 до 8-6-4%. Начальные запасы месторождения оценены в 813 млн. т. с содержанием 15,1% P_2O_5. Подземный рудник введён в эксплуатацию в 1954 г. С 1964 г.

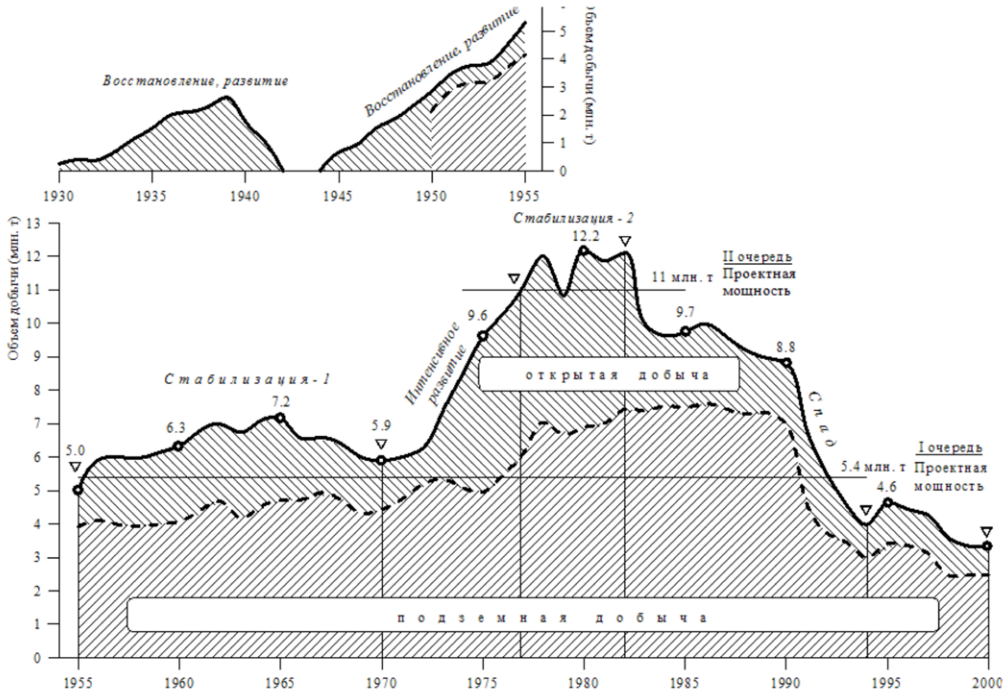


Рис. 1. Жизненный цикл месторождения Кукисвумчорр (Кировский рудник).

началась комбинированная отработка месторождения подземным и открытым способами с годовой мощностью по руде 4 млн. т. Этап стабильной работы рудника со средней производительностью 4,9 млн. т. продолжался до 1990 г. вплоть до объединения с Кировским рудником. За весь период отработано подземным способом 31% запасов. Остаток запасов в недрах (на начало 2009 г.) составляет 562 млн т с содержанием 14,6% P_2O_5.

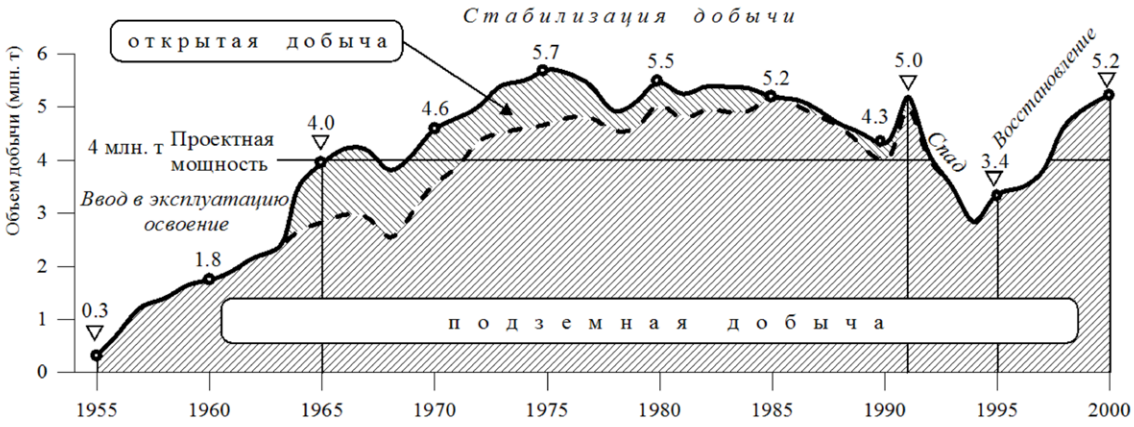


Рис. 2. Жизненный цикл Юкспорского месторождения.

До начала освоения в 1955 г. месторождения **Апатитовый Цирк** выполнены комплекс разведочных работ (1949-54), доразведка глубоких горизонтов и два этапа переоценки по эксплуатационным кондиция (1965 и 1983) (рис. 3). Начальные запасы месторождения (293 млн т с содержанием 15,9% P_2O_5) отработаны на 57%. Проектная мощность в 3,4 млн.т. достигнута за 9 лет от начала освоения; за этап стабилизации добыто 130 млн.т., из них открытым способом 26% и средней производительностью 4,5 млн.т. Остаток запасов на глубоких горизонтах обеспечивает работу рудника на длительную перспективу.

Высокогорный Центральный рудник в 1964 г. (абс. отм. +1050 м) приступил к разработке открытым способом месторождения **Плато Расвумчорр** после разведки, затронувшей только нагорную часть рудного тела. В дальнейшем добычные работы сопровождались эксплуатационной разведкой (рис. 4). Начальные запасы в контуре карьера составляют 680 млн.т. с содержанием 17% P_2O_5. За время эксплуатации объёмы добычи непрерывно увеличивались от 5 до 12, 18-22 млн т и достигли максимума в 27,7 млн.т./год. в 1985 г. Период интенсивного развития завершился стабилизацией добычи на уровне 26-28 млн.т.; который сменился резким (в 4 раза) падением объёмов добычи до 7 млн.т. к 1996 г. Остаток запасов в карьере будет погашен в 2013 г.

Месторождения **Коашва** и **Ньоркпахк** разведаны в 1960-86 и в 1972-75 гг.; освоение их открытым спосо-

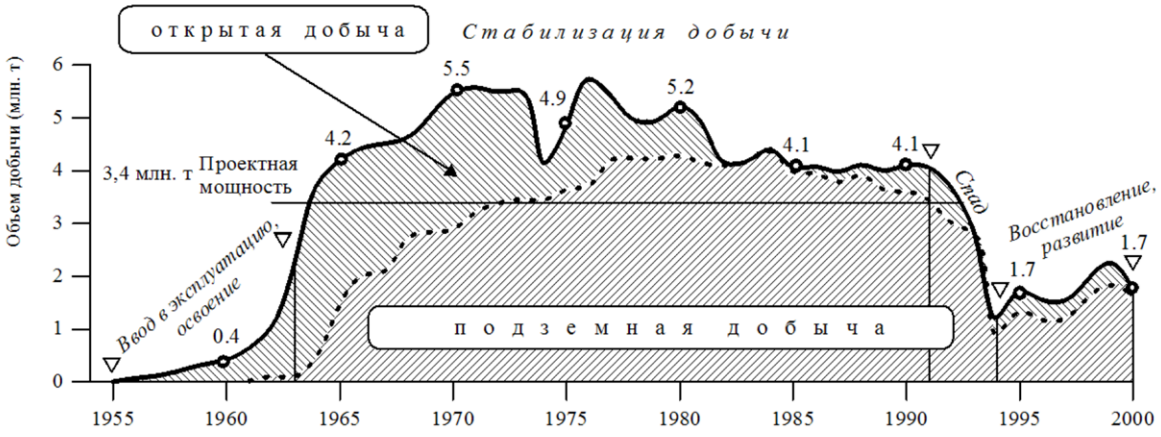


Рис. 3. Жизненный цикл месторождения Апатитовый Цирк.

бом началось в 1981 и в 1985 гг. Оба месторождения отличаются от ранее освоенных весьма сложными условиями разработки и геологическим строением: каждое из них представлено серией различных по размерам, форме апатитовых залежей с неравномерным распределением руд разного качества (рис. 5). Рудные залежи разобщены прослоями вмещающих пород. Запасы глубокозалегающих руд (500 млн т) могут быть добыты только подземным способом.

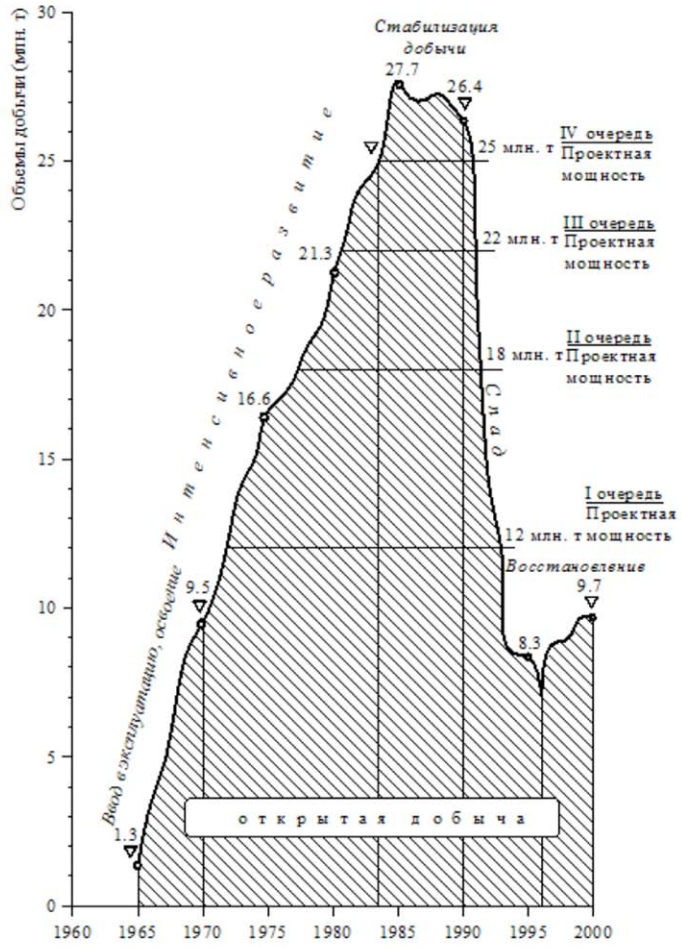


Рис. 4. Жизненный цикл Центрального рудника.

К настоящему времени из карьеров извлечено 185 млн. т руды. Запасы, подлежащие открытой отработке в Ньоркпахкском карьере, будут погашены к 2020 г. Для замены выбывающих мощностей необходимо ускорить ввод в эксплуатацию карьера на соседнем месторождении **Олений Ручей**, имеющем ещё более сложные горно-геологические условия, ограниченные запасы и сроки обеспеченности (до 20 лет).

Наложение жизненных циклов одновременно разрабатываемых месторождений формирует иной сценарий развития горнодобывающего предприятия в целом. В 80-летнем цикле функционирования ОАО «Апатит» отчётливо выделяются продолжительные периоды разработки Хибинских месторождений: освоения (1930-55), интенсивного развития (1956-90), этапы резкого спада производства (1991-95), восстановления (1996-2000) и стабилизации (с 2001 г. по настоящее время).

Освоение Хибин началось без подготовительного периода: прогнозные ресурсы открытых накануне апатитовых залежей были оценены только на поисковой стадии, не была создана социальная и производственная инфраструктура будущего предприятия. Добыча руды опережала рудничное, транспортное и гражданское строительство, геологическую разведку. Добыча руды для нужд фронта не прекращалась и в годы Великой отечественной войны.

На этапе восстановления и технического перевооружения (1945-55) добыча руды на Кировском руднике достигла проектной мощности. Одновременно проводилась разведка и освоение месторождений Кукисвумчорр, Юкспор, Апатитовый Цирк и Плато Расвумчорр. Разведанные запасы этих месторождений к 1960 г. достигли 1 млрд. т руды с содержанием P_2O_5 более 20%.

Таблица. Интегральный эффект жизненных циклов Хибинских месторождений.

Период эксплуатации	Объём добычи (млн т) всего, в том числе:		Среднегодовые (млн т)	
Этапы (годы), длительность этапа (лет)	открытым и подземным способами, (%)	Содержание P_2O_5 (%) в добытой руде	объёмы добычи	темпы роста (спада) добычи
Освоение, развитие 1930-41, 1945-1955 г. 20 лет	47,3 (36 64)	20,9	2,4	+0,50
Интенсивное развитие: 1956-1960 г. 5 лет	38,4 (30 / 70)	19,6	7,65	+0,65
1961-1965 г. 5 лет	65,3 (44 / 56)	18,3	13,1	+2,05
1966-1970 г. 5 лет	117,0 (57 / 43)	17,7	23,4	+1,55
1971-1975 г. 5 лет	164,7 (61 / 39)	17,4	32,9	+2,15
1976-1980 г. 5 лет	208,9 (63 / 37)	16,8	41,8	+1,65
1981-1985 г 5 лет	243,6 (66 / 34)	16,0	48,7	+1,50
1986-1990 г. 5 лет	277,1 (72 / 28)	15,1	55,4	+0,70
Спад производства 1991-1995 г. 5 лет	154,8 (69 / 31)	13,7	31,0	-6,95
Восстановление, стабилизация 1996-2008 г. 13 лет	270 (63 / 37)	14,0	20,8	+1,10

Период интенсивного развития (1956-90) характеризуется ускоренными темпами роста объёмов добычи за счёт ввода в эксплуатацию новых мощностей на Центральном, Восточном рудниках и строительства обогатительных фабрик АНОФ-II (1963 г.) и АНОФ-III (1984 г.). Геологоразведочные работы в этот период были ориентированы на поиски руд, подготовку новых месторождений, разведку глубоких горизонтов освоенных рудных объектов и их переоценку по эксплуатационным кондициям. За эти годы, несмотря на ускоренные темпы погашения запасов, обеспечено расширенное воспроизводство сырьевой базы (рис. 6). Запасы резервных месторождений со сложными условиями разработки и рудами низкого качества (7,5-16,2% P_2O_5) также увеличились до 1,6 млрд. т. Долгосрочная обеспеченность разведанными запасами и неудовлетворённость спроса на фосфатные удобрения на внутреннем рынке и поставок апатитового концентрата на экспорт вызвали необходимость увеличения производства апатитового концентрата до 20 млн. т, для чего потребовалось бы добывать до 60 млн. т руды в год.

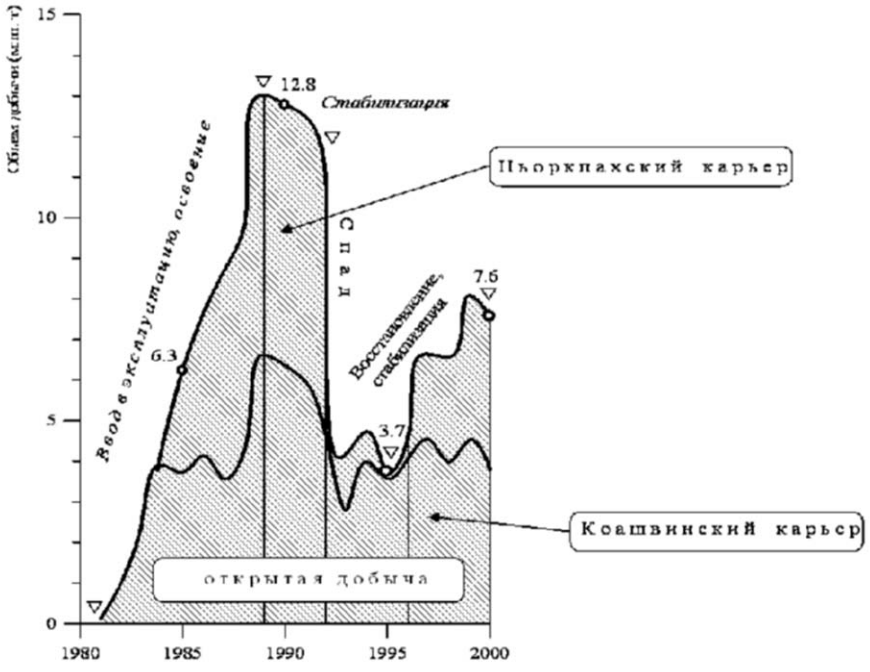


Рис. 5. Жизненный цикл Восточного рудника.

Годы экономического кризиса (1991-95) крайне негативно отразились на всех аспектах деятельности предприятия и, прежде всего, на сохранении рудно-сырьевой базы. Добыча руды и производство апатитового концентрата сократились в 3 раза, была приостановлена работа АНОФ-III и добыча на месторождении Ньоркпахк, законсервирована подготовка новых горизонтов на подземных рудниках. Экономическая ситуация в ОАО «Апатит» усугубилась необходимостью поддержания основных фондов, в три раза превышающих фактические объёмы производства, и объектов социально-бытового назначения.

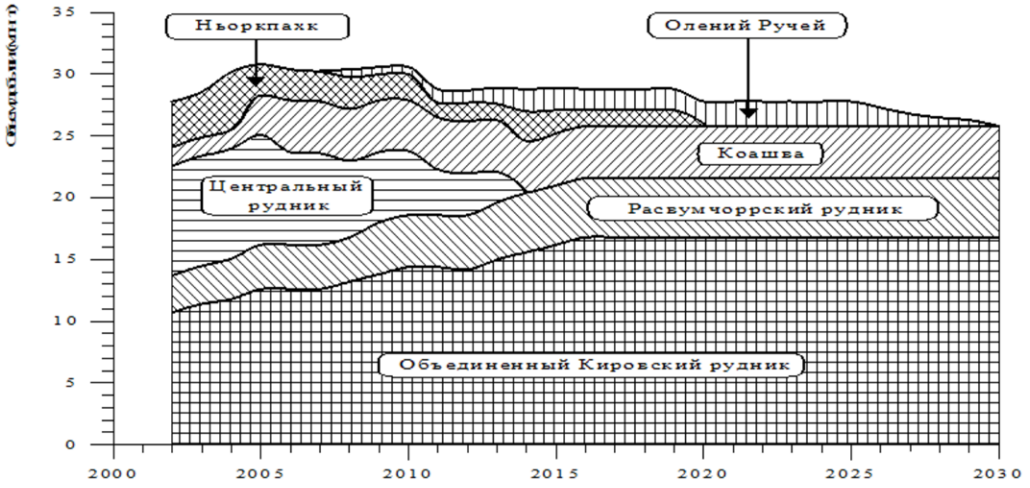


Рис. 6. Интегральный эффект жизненных циклов функционирования Хибинских месторождений.

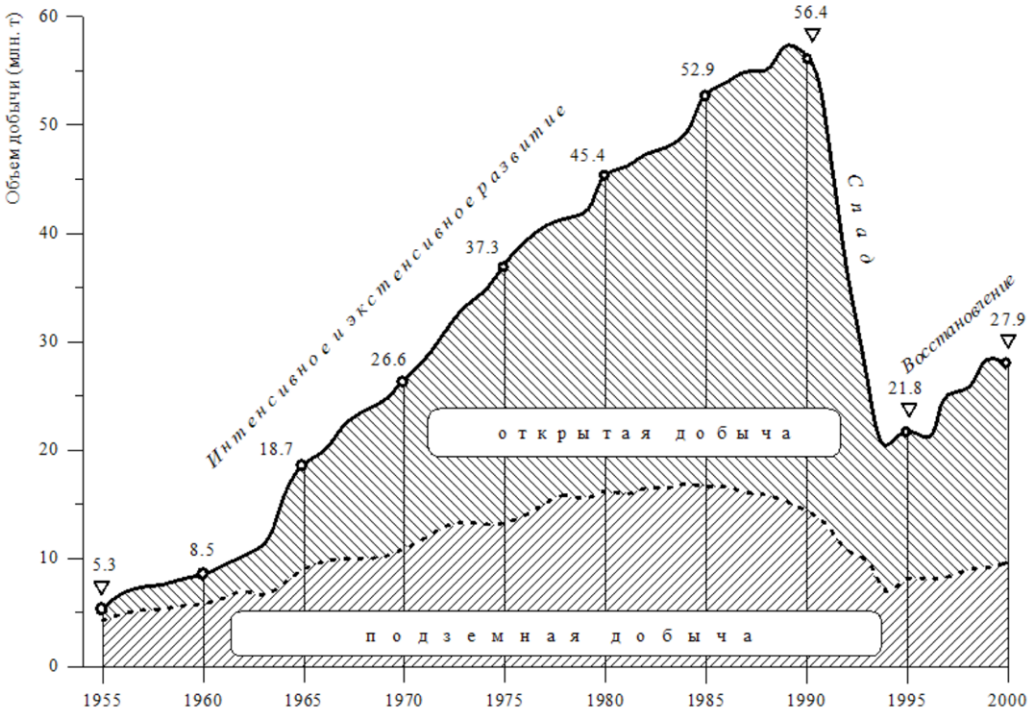


Рис. 7. Перспективное развитие рудников ОАО «Апатит» (прогноз)..

На этапе восстановления и реконструкции (1996-2002) производительность предприятия по добыче руды увеличилась на 33 %, по выпуску апатитового концентрата - на 38 %. Для продления стабильной работы рудников на достигнутом уровне необходимо вовлечение в отработку глубоких горизонтов действующих подземных рудников, освоение резервных месторождений. В настоящее время на предприятии реализуется концепция развития на основе долгосрочного стратегического планирования (рис. 7).

ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЙ МИНЕРАЛЬНОГО СОСТАВА, СТРУКТУРЫ НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И ДЕКОРАТИВНОСТЬ ВМЕЩАЮЩИХ ГАББРОНОРИТОВ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПЛАТИНОИДОВ (ИМАНДРА-ВАРЗУГСКИЙ УЧАСТОК)

В.В. Лащук[1], Д.В. Жиров[2], В.Н. Иванченко[3], А.А. Калинин[4], А.У. Корчагин[2, 5], Т.Т. Усачёва[1]
[1]ИХТРЭМС и [2] ГИ КНЦ РАН, [3]ООО «Печенгагеология», [4]ООО «КГГК», [5]ОАО «Пана»
г. Апатиты, e-mail: laschuk@chemy.kolasc.net.ru

В пределах и по границам раннепротерозойского зеленокаменного пояса Имандра-Варзуга располагается серия расслоенных интрузий базит-гипербазитов, которые содержат промышленную концентрацию минералов платиновой группы (МПГ) [10]. Это, прежде всего, Фёдорово-Панский, Мончегорский, Мончетундровский, Волчетундровский и Чунатундровский расслоенные массивы. В этих интрузивах в настоящее время геологоразведочные предприятия ООО «Печенгагеология», ОАО «Пана» и ООО «Кольская горно-геологическая компания (КГГК)» завершают ГРР с подсчётом запасов и осуществляют проектные работы по промышленному освоению следующих месторождений: Вуручуайвенч, Фёдорова Тундра, Малая Пана и Восточный Чуарвы [5, 12, 14]. В пределах этого участка находятся два проявления облицовочного камня (ОК) [3, 7]. Эти объекты и послужили для детальных исследований физико-механических свойств горных пород. В рудной зоне горные породы подвергаются процессам вторичных преобразований минерального состава и структуры, что существенно влияет на их внешний вид и прочность.

Цель настоящих исследований – установить степень изменчивости декоративности, физико-механических свойств и оценить возможность использования вскрышных пород месторождений МПГ в качестве попутно добываемого сырья для производства строительных материалов. Для достижения этой цели были изучены отобранные по вертикальному разрезу геологоразведочных скважин технологические пробы керна ø 58 и 42 мм, а также отобранные по площади проявлений ОК монолиты горных пород размером 40×30×30 см [2-4, 7-9]. В Отделе технологии строительных материалов (ОТСМ) ИХТРЭМС КНЦ РАН исследовались декоративность и физико-механические свойства горных пород месторождений МПГ и проявлений ОК. Изучение технологических проб показало, что месторождения МПГ и проявления ОК характеризуются определённой ассоциацией горных пород базит-гипербазитового состава (табл. 1).

Таблица 1. Ассоциации горных пород базит-гипербазитового состава на месторождениях МПГ и проявлениях ОК.

Месторождение МПГ (проявление ОК)	Виды горных пород
Вуручуайвенч	дайка ДИА – ГБН – ПЛЗ
Инчъявр	ГБН – ГБ
Фёдорова Тундра	ГАР – ПИР – НОР – ГБН – МГБН – МГБ – ЛГБ
Малая Пана	ПИР – НОР – ГБН – ГБ – ЛГБ
Восточный Киевей	ГБН – ГБ
Восточный Чуарвы	ГБН – ГБ

Примечание. Наименование горной породы приведено в соответствии со списками технологических проб, представленных исследователями месторождений МПГ [5, 12, 14]: гарцбургит (ГАР), пироксенит (ПИР), норит (НОР), диабаз (ДИА), меланогаббронорит (МГБН), габбронорит (ГБН), меланогаббро (МГБ), габбро (ГБ), лейкогаббро (ЛГБ), плагиоклазит (ПЛЗ).

Для всех объектов характерно наличие габброноритов. Они преобладают в переслаивающейся толще и являются вскрышными породами месторождений МПГ. Среди габброноритов выделяются меланократовые и лейкократовые разности, которые в различной степени метаморфизованы. Наибольшим видовым разнообразием отличаются горные породы месторождений Фёдорова Тундра и Малая Пана. Сравнительная характеристика минерального состава и структурных показателей габброноритов месторождения Вуручуайвенч (северо-запад И-ВУ) и проявления ОК Восточный Киевей (юго-восток И-ВУ) представлены в табл. 2.

Габбронориты Восточного Киевея отличаются от аналогичных пород Вуручуайвенча наличием оливина (среднее содержание – 2.1, доверительный интервал 1.8-2.2 об.%, коэффициент вариации 0.12), увеличением содержания пироксенов, низким содержанием второстепенных минералов (эпидота, кальцита), слоистых силикатов (биотит, хлорит) и кварца. Средние значения структурных примерно равны. Однако на месторождении Вуручуайвенч структура габброноритов неоднородна. Об этом свидетельствуют коэффициенты вариации, значения которых составляют 0.37-0.54.

В целом, руды месторождений МПГ относятся к малосульфидному типу. Об этом свидетельствуют результаты технологических исследований рудного концентрата. Суммарное количество рудных минералов составляет 1.3 %, из них 95% приходится на сульфиды [11]. Анализ химического состава габброноритов Восточного Киевея в

рудной зоне показывает, что в выборке, включающей 11 проб, среднее содержание SO_3 составляет 0.35 мас.%, доверительный интервал – 0.06-0.84 мас.%, а коэффициент вариации – 1.42 [6]. В габброноритах месторождения МПГ Вуручуайвенч, которые изучались как сырьё для производства строительного щебня, сульфидная минерализация практически отсутствует, и среднее содержание SO_3 составляет 0.1 мас.% [9]. То есть, габбронориты расслоенных интрузий Имандра-Варзугского участка являются перспективными в качестве тёмноцветного сырья для производства строительных материалов.

Таблица 2. Минеральный состав и структурные показатели габброноритов месторождения МПГ Вуручуайвенч и проявления ОК Восточный Киевей.

Месторождение (число проб)	Статистические показатели	Главные и второстепенные минералы, об.%					Минералы-примеси, об.%			Структурные показатели			
		Pl	Px	Hbl	Q	Etc	mc	Rm	asb	$D_{ср}$	Кф	Кнр	Кнф
Вуручуайвенч (11)	Среднее значение	47.4	12.3	14.7	4.0	11.9	6.6	2.1	1.0	0.34	2.02	5.24	4.41
	Доверительный интервал	33.6-61.2	3.0-21.6	7.2-22.2	1.9-6.1	1.0-14.0	3.7-9.5	1.0-3.2	0.5-1.5	0.24-0.44	1.58-2.48	3.98-6.52	3.01-5.81
	Коэф. вариации	0.49	1.26	0.86	0.92	1.43	0.90	0.92	0.90	0.51	0.37	0.41	0.54
Восточный Киевей (3)	Среднее значение	39.4	40.5	14.6	0.2	нет	1.6	0.7	нет	0.31	1.95	4.18	3.41
	Доверительный интервал	38.2-40.4	31.2-48.6	14.414.8	0.0-0.4		0.9-2.1	0.2-1.2		0.26-0.36	1.94-1.96	3.25-5.01	3.39-3.43
	Коэф. вариации	0.03	0.23	0.02	0.92		0.74	0.71		0.15	0.01	0.20	0,01

Примечания:

1. Минералы: Pl – плагиоклаз, Px – пироксены, Hbl – роговая обманка, Q – кварц, Etc – второстепенные минералы: эпидот, кальцит.

2. Минералы-примеси, вредные для заполнителей бетона по ГОСТ 8267-93: mc – слоистые силикаты: биотит, хлорит; Rm – рудные минералы: магнетит, сульфиды, минералы платиновой группы; asb – амфибол-асбест.

3. Структурные показатели: Dcp – средний размер зёрен в мм, Кф – коэффициент формы зёрен в породе, Кнр и Кнф – коэффициенты неоднородности горной породы по размеру и форме минеральных зёрен [13].

В пределах Имандра-Варзугского участка, от Восточного Киевея до Вуручуайвенча отмечается увеличение интенсивности метаморфических преобразований габброноритов [7-9]. Они осветляются, вследствие амфиболизации и хлоритизации приобретают зеленоватый оттенок, а цветовой тон меняется от насыщенной серо-чёрной до средней ступени светлоты. Декоративность габброноритов понижается от II класса до III класса. То есть, декоративные породы превращаются в мало декоративные. Средние значения физико-механических свойств габброноритов месторождений МПГ и проявлений ОК приведены в таб. 3.

Исследоване физико-механических свойств показывает, что габбронориты Фёдоровой Тундры и проявления ОК Инчъявра являются плотными ($\rho_{ист}$ > 3.00 г/см^3), а все остальные – менее плотными породами. Высокая прочность ($\sigma_{сж.сух}$ > 200 МПа) характерна для горных пород Фёдоровой Тундры и проявлений ОК Инчъявр и Восточный Киевей. Габбронориты Вуручуайвенча отличаются высокой прочностью при растяжении ($\sigma_{раст.сух}$ > 10 МПа). Наиболее изменчивыми являются показатели пористости и водопоглощения горных пород, приуроченных к месторождениям МПГ. Коэффициенты вариации их средних значений, как правило, превышают значение 0.5. Упругие свойства габброноритов в пределах месторождений МПГ и проявлений ОК выдержанны. Исключение составляют габбронориты Фёдоровой Тундры, у которых коэффициенты вариации среднего значения показателей динамических модулей упругости и сдвига достигают значения 0.20.

Горные породы месторождения МПГ Фёдоровая Тундра и проявления ОК Инчъявр отличаются меланократовым составом и имеют одинаковый характер распределения показателей средней плотности (рис. 1а и 1б). Это подтверждает представление о приуроченности проявления ОК Инчъявр к массиву Фёдоровой Тундры.

Максимальное водопоглощение характерно для габброноритов проявления ОК Инчъявр, что свидетельствует о выветрелом характере проб, отобранных на дневной поверхности (рис. 1в и 1г). Максимальная прочность и плавный характер изменения этого показателя установлен для проявлений ОК и месторождения МПГ Фёдорова Тундра (рис. 1д, 1е). Габбронориты Фёдоровой Тундры отличаются максимальной изменчивостью показателей динамического модуля упругости (рис. 1ж и 1з). Это, возможно, связано с наибольшим видовым разнообразием горных пород, которое характерно для массива Фёдоровой Тундры. Технологические исследования вскрышных габброноритов месторождения Вуручуайвенч показали, что метаморфические преобразования не оказали существенного влияния на прочностные свойства. Эти породы пригодны для производства строительного щебня марки «1400» [8].

Полевыми исследованиями, проведенными ОАО МГРЭ в 1994-1995 г.г. (Грищенко Т.С. и др), установлено, что характер трещиноватости габброноритов проявления ОК – мелко-среднеблочный [3]. Расчётный выход блоков ОК объёмом более 1 м^3 составляет 18 %, что свидетельствует о перспективности этих пород в качестве сырья

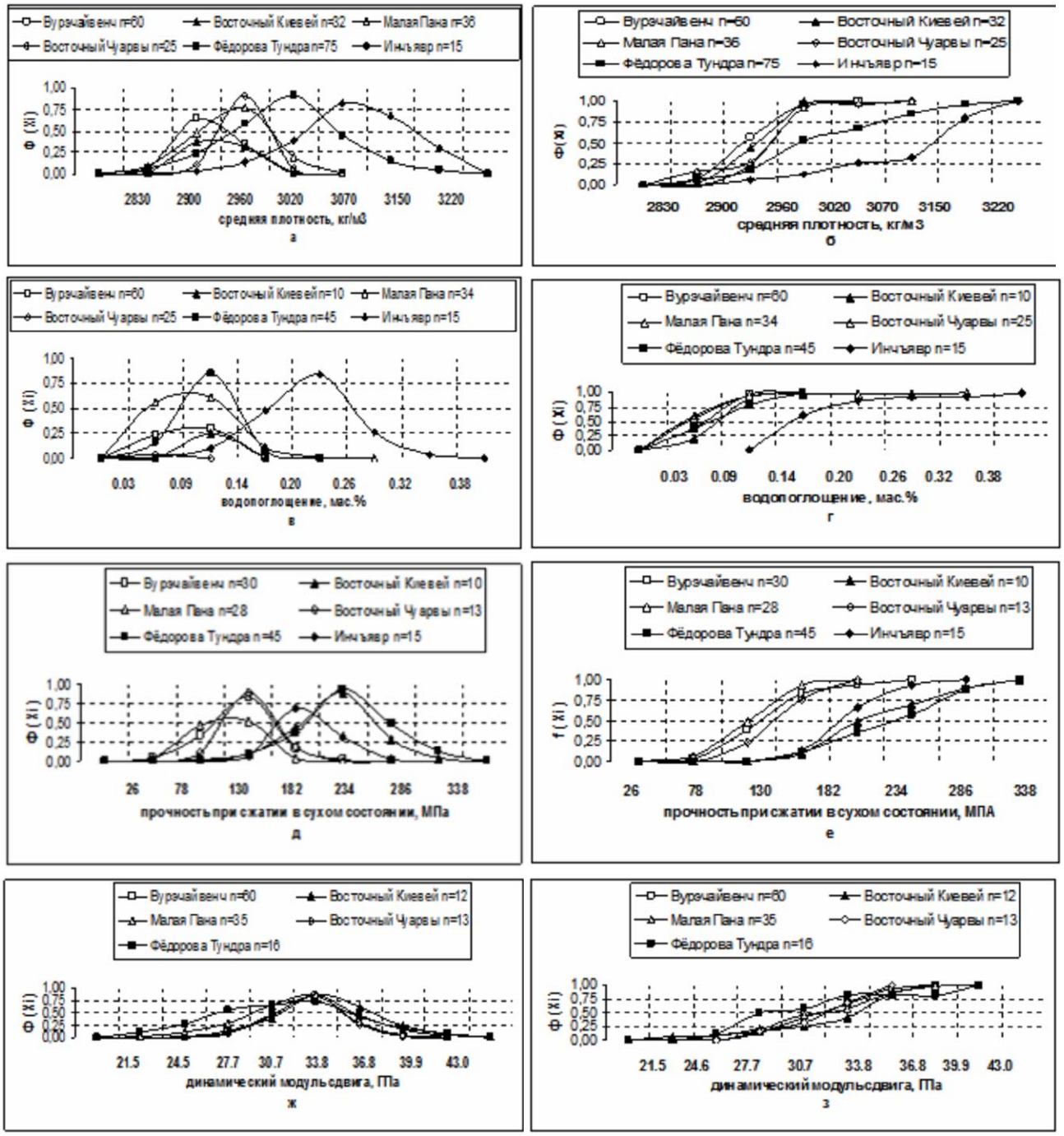


Рис. 1. Плотности вероятности и функции распределения показателей средней плотности (а, б), водопоглощения (в, г), прочности при сжатии в сухом состоянии (д, е), динамического модуля упругости (ж, з) габброноритов месторождений МПГ и проявлений ОК.

для производства товарных блоков ОК. Ранние исследования, проведенные в начале 90-х годов прошлого века ГИ КНЦ РАН (Бартенев И.С., Радченко М.К.) показали, что в пределах Фёдоровой Тундры возможно наличие участков массивных мало трещиноватых горных пород, представляющих практический интерес как проявление ОК [1].

Таким образом, на примере габброноритов Имандра-Варзугского участка установлено, что метаморфические преобразования существенно влияют на декоративность и меньше – на физико-механические свойства. В юго-восточной части Имандра-Варзугского участка, в пределах Фёдорово-Панских Тундр, габбронориты перспективны на тёмноцветный облицовочный камень. В северо-западной части И-ВУ, в пределах Мончегорского плутона, изменённые габбронориты пригодны только как сырьё для производства строительного щебня.

Таблица 3. Средние значения физико-механических свойств габброноритов месторождений МПГ и проявлений облицовочного камня (ОК).

Месторождение МПГ, (проявление ОК)	Статистические показатели	Средняя плот-ность, кг/см^3	Истинная плотность, г/см^3	Пористость, %	Водопоглощение, масс.%	Прочность при сжатии в сухом состоянии, МПа	Прочность при растяжении, МПа	Модуль упругости, ГПа	Модуль сдвига, ГПа
Вуручуайвенч	n	60	60	60	60	30	30	60	60
	Xср	2.92	2.93	0.43	0.06	121	14.3	88.5	33.1
	Дов. инт.	2.91-2.93	2.92-2.94	0.35-0.50	0.05-0.07	56-234	9.3-23.7	73.1-108.7	27.7-40.5
	Квар	0.02	0.02	0.69*	0.43	0.36	0.23	0.10	0.10
(Инчъявр)	n	15	7	7	15	15	нет	нет	нет
	Xср	3.11	3.15	0.41	0.19	197			
	Дов. инт.	3.06-3.21	3.11-3.19	0.15-0.77	0.15-0.25	178-234			
	Квар	0.03	0.01	0.34	0.34	0.19			
Фёдорова Тундра	n	76	45	45	76	45	нет	15	15
	Xср	3.01	3.08	0.11	0.08	239		85.8	32.3
	Дов. инт.	2.97-3.03	3.04-3.14	0.05-0.17	0.07-0.09	221-257		77.0-94.4	29.1-35.5
	Квар	0.03	0.05	1.64	0.47	0.27		0.20	0.20
Малая Пана	n	36	36	36	36	28	28	36	36
	Xср	2.94	2.96	0.56	0.06	106	7.4	88.3	33.0
	Дов. инт.	2.92-2.96	2.94-2.98	0.44-0.68	0.04-0.08	92-120	6.6-8.2	83.9-92.7	31.4-34.6
	Квар	0.02	0.02	0.70	0.85	0.36	0.16	0.15	0.15
(Восточный Киевей)	n	32	2	2	16	10	нет	4	4
	Xср	2.92	2.95	0.34	0.09	255		87.4	34.6
	Дов. инт.	2.91-2.93			0.08-0.09	227-283		77.7-97.1	30.1-39.1
	Квар	0.01			0.17	0.18		0.11	0.13
Восточный Чуарвы (кровля)	n	12	12	12	12	6	6	12	12
	Xср	2.93	2.94	0.40	0.04	107	7.5	96.5	35.6
	Дов. инт.	2.92-2.94	2.93-2.95	0.22-0.58	0.03-0.05	87-127	7.0-8.0	90.4-102.6	33.3-37.9
	Квар	0.01	0,01	0.80	0.18	0.24	0.04	0.11	0.11

Примечание. Жирным курсивом выделены коэффициенты вариации со значениями ≥ 0.50.

Список литературы

1. Бартенев И.С., Радченко М.К. Перспективная оценка массива базит-гипербазитового массива Федоровых тундр на поделочный и облицовочный камень // Облицовочный камень Карело-Кольского региона. Л.: Наука, 1983. С. 34-39.

2. Геология рудных районов. В.И. Пожиленко, Б.В. Гавриленко, Д.В. Жиров, С.В. Жабин. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2002. 359 с.

3. Жиров Д.В., Лащук В.В. Облицовочный камень Мурманской области (справочно-методическое пособие). Апатиты: МУФ «Полиграф», 1998. 109 с.

4. Жиров Д.В., Лащук В.В. Ресурсы и рынок темноцветного облицовочного камня восточной части Балтийского щита (северо-западный федеральный округ РФ) // Проблемы рационального использования природного и техногенного сырья Баренцева региона в технологии строительных и технических материалов. Матер. II Межд. научн. конф. Петрозаводск: Изд-во КарНЦ РАН, 2005. С. 58-61.

5. Иванченко В.Н., Давыдов П.С., Дедеев В.А. и др. Основные черты геологического строения месторождения Вуручуайвенч (Вурэчуайвенч) // Межд. сотрудничество…, Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2008. С.82-87.

6. Латыпов Р.М., Чистякова С.Ю. Механизм дифференциации расслоённого интрузива Западно-Панских Тундр. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН. 315 с.

7. Лащук В.В., Жиров Д.В., Корчагин А.У., Усачёва Т.Т. Новые виды декоративного облицовочного камня в связи с промышленным освоением платиносодержащих месторождений Федорово-Панских тундр // Проблемы рационального использования природного и техногенного сырья Баренцева региона в технологии строительных и технических материалов: Матер. III Межд. научн. конф. Сыктывкар: Изд-во Коми НЦ УрО РАН, 2007. С. 59-61.

8. Лащук В.В., Иванченко В.Н., Жиров Д.В. и др. Оценка вскрышных пород месторождения платиноидов Вуручуайвенч в качестве сырья для производства щебня // Проблемы рационального использования природного и техногенного сырья Баренцева региона в технологии строительных и технических материалов: Матер. III Межд. научн. конф. Сыктывкар: Изд-во Коми НЦ УрО РАН, 2007. С. 112-114.

9. Лащук В.В., Жиров Д.В., Корчагин А.У. и др. Оценка рудовмещающих пород месторождений платиноидов в качестве сырья для производства природнокаменных строительных материалов // Научные основы химии и технологии переработ-

ки комплексного сырья и синтеза на его основе функциональных материалов. Сб. докл. Всерос. конф. с межд. участием. Ч. 2. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2008. С. 167-170.

10. Международное сотрудничество и обмен опытом в геологическом изучении и разведке платинометалльных месторождений северной части Фенноскандинавии // Промежуточные результаты международного проекта KOLARTIC INTERREG III A North – TACIS N KA-0197 «Стратегические минеральные ресурсы – основа устойчивого развития Севера (Россия-Норвегия-Швеция)». Коллектив авторов. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2008. 105 с.

11. Мухина Т.Н., Захарова И.Б., Марчевская В.В. Испытания на обогатимость малосульфидных платиносодержащих руд Панского массива // Современные методы комплексной переработки руд и нетрадиционного минерального сырья. (Плаксинские чтения). Матер. Межд. совещ. Ч. 1. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2007. С. 92-94.

12. Корчагин А.У. Месторождения МПГ западной части Фёдорово-Панских тундр (Фёдорово и Малая Пана): состояние и перспективы освоения // Межд. сотрудничество…, Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2008. С. 42-51.

13. Ржевский В.В., Новик Г.Я. Основы физики горных пород. М.: Недра, 1978. 390 с.

14. Уорд М., Маклухин Д, Калинин А. и др. ООО «Кольская горно-геологическая кампания» поиски МПГ в восточной части Панских тундр // Межд. сотрудничество…, Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2008. С. 52-67.

СТРУКТУРА И СВОЙСТВА ГРАНИТОВ ИЗ МЕСТОРОЖДЕНИЙ НЕРУДНЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

О.В Мясникова[1], О.М. Тришина[2], М.В. Ковалевский[2], Ф.Ф. Горбацевич[2], В.А.Шеков[1]
[1]Геологический институт Карельского НЦ РАН, г. Петрозаводск, e-mail: okmyasn@krc.karelia.ru
[2]Геологический институт Кольского НЦ РАН, г. Апатиты, e-mail: gorich@geoksc.apatity.ru

В работе представлены результаты исследований состава, структуры, физико-механических и упругих свойств пород месторождений строительных материалов, расположенных в пределах Свекофенского подвижного пояса и Карельского геоблока. Тектоническое районирование исследуемого региона и используемые термины взяты из монографии [6].

Свекофенский подвижный пояс. Месторождение Репомяки и проявление Кяснесельгское расположены в пределах Салминского массива (Ю-З Карелия) ранней верхнепротерозойской интрузии [7] вытянутой в С-З направлении. Месторождение Репомяки локализовано в западной части Салминского массива, в 12 км севернее г. Питкяранта на небольших высотах с пологими склонами. Высоты полностью обнажены. На вершинах высот коренные выходы имеют вид плоских, слабо наклонных поверхностей с небольшими вертикальными уступами высотой 20-40 см, соответствующими мощности плитчатой отдельности. Месторождение представлено порфировидными неравномернозернистыми биотитовыми гранитами рапакиви с мелкозернистым основным матриксом от розоватых до желто-розовых оттенков и соответствует IV интрузивной фазе по Л.П. Свириденко. Основные породообразующие минералы: калиевый полевой шпат (ортоклаз) – 57%, кварц – 25%, плагиоклаз – 8%, биотит – 6%.

Характерной особенностью гранитов является отсутствие овоидов калиевого полевого шпата, проявление процессов катаклаза, выражающееся в дроблении и смещении табличек ортоклаза и наличие в гранитах многочисленных миароловых пустот, выполненных кристаллами калиевого полевого шпата и мориона. Порфировые выделения представлены таблитчатыми зернами ортоклаза размером до 0,8-1,0 см по длинной оси. Распределение выделений в породе равномерное. Калиевый полевой шпат нередко замещается биотитом и альбитом. При этом процессы альбитизации наиболее характерны для гранитов рапакиви IV интрузивной фазы. Плагиоклаз присутствует в виде мелких до 2-3 мм прямоугольных зерен [7]. Кварц представлен дипирамидальными кристаллами мориона размером от 0,1 до 0,3 см.

Местопроявление Кяснесельгское сложено крупноовоидными гранитами с крупнозернистой основной массой, темно-красного цвета, относящимися к I интрузивной фазе по Л.П. Свириденко [7] – выборгитами. Основные породообразующие минералы: калиевый полевой шпат (ортоклаз) – 58%, кварц – 25%,плагиоклаз – 10%, биотит – 3 - 6%.

Характерной особенностью выборгитов является наличие олигоклазовой оболочки вокруг зерен ортоклаза, большей частью она сплошная, реже прерывистая от 1 до 5 мм. Порфировые выделения представлены овоидами и относительно правильными таблитчатыми зернами ортоклаза размером от 1,5 до 2-4 см по длиной оси. В ортоклазе наблюдаются редкие включения плагиоклаза, кварца, биотита. Резкой границы между ортоклазовыми выделениями и основной массой не наблюдается, что объясняется извилистостью краев выделений и их глубоким проникновением между граничащими с ними идиоморфными зернами кварца [7]. Кварц образует скопления идиоморфных зерен темно-серого и черного цвета. Часто наблюдается в виде округлых выделений до 1 см. Скопления располагаются между зернами ортоклаза. Биотит присутствует в виде ксеноморфных зерен, частично замещая ортоклаз. Структура пород – порфировидная с крупнозернистой основной массой.

Карельский геоблок. Месторождение Кашина Гора (Ю-В Карелия) представляет собой холмообразную возвышенность на правом берегу р. Водла в 8 км от ее устья, с высотой над уровнем реки до 30 м, сложенную

плагиомикроклиновыми гранитами – гнейсогранитами архейского возраста [3], представленными средне-, крупнозернистыми массивными породами от розовато до коричневато-серого цвета. Текстура пород гнейсовидная, полосчатая. Структура порфировая. Основные породообразующие минералы: плагиоклаз – 47%, кварц – 28%, микроклин – 22%, биотит – 5%.

В качестве порфировых выделений представлены таблитчатые зерна микроклина от 0,5 до 6-8 мм, чаще 1-3 мм на фоне гипидиоморфнозернистой основной массы, сложенной таблитчатыми зернами плагиоклаза (2-3 мм) и неправильными, реже округлыми зернами кварца (1-3 м). В большинстве зерен микроклина наблюдается большое количество мелких альбитовых вростков, образующих участки с микропертитовой структурой. Биотит представлен небольшими (1-2 мм) чешуйками и лейстами, образующими неправильные или сноповидные скопления. В большинстве случаев интенсивно замещается хлоритом, реже эпидотом и лейкоксеном.

Месторождение Кестеньгское расположено в пределах Кестеньгского массива Карельского геоблока (северная Карелия) и представляет возвышенность с максимальной отметкой +196 м, в 10 км к С-В от п. Кестеньга. Месторождение приурочено к массиву щелочных гранитов нижнепротерозойских интрузий [5], которые залегают в виде изометричных или вытянутых тел и представлены мигматизированными плагиомикроклиновыми гранитогнейсами светло-серого до красного цвета. Основные породообразующие минералы: плагиоклаз – 60%, кварц – 22%, микроклин – 10%, биотит 3-4%.

Структура пород гранобластовая, текстура полосчато-гнейсовидная. Полосы кварц-полевошпатовой породы с гранобластовой структурой чередуются с меланократовыми участками – полосами (скопления биотита, рудного минерала и эпидота), приуроченные к субпараллельным трещинам, вытянутым в направлении сланцеватости. Вдоль трещин наблюдается интенсивное ожелезнение. Плагиоклаз представлен крупными реликтовыми зернами и участками зерен с большим количеством включений серицита и эпидота. Границы зерен плагиоклаза иногда нечеткие, с неровными краями, двойники проявлены слабо. Размер зерен – 0,4-2,0 мм. Кроме того, наблюдаются гранобластовые зерна в мелкозернистой породе. Микроклин представлен реликтовыми зернами изометричной формы, двойниковая решетка проявлена нечетко, границы зерен неровные. Размер зерен до 1,3 мм. По краям зерен наблюдается микрогрануляция. Микроклин содержит включения округлых зерен кварца и плагиоклаза. Кварц образует мелкие обособления в мелкозернистом агрегате, характерны ровные границы зерен. Наблюдаются также более крупные изометричные или вытянутые зерна с неровными границами, которые иногда образуют скопления в виде линз. Размер зерен от 0,3 до 1,8 мм. Биотит наблюдается в виде единичных таблитчатых зерен, а также образует скопления в срастании с рудным минералом и эпидотом, вытянутые в направлении сланцеватости, приуроченные к субпараллельным трещинам, плеохроирует в зеленовато-бурых тонах, размер зерен до 0,6 мм.

В результате измерений получены физико-механические характеристики пород (табл. 1). Для ограниченного числа образцов получены акустополяриграммы (рис. 1, [1]) и определены характеристики упругой анизотропии (табл. 2).

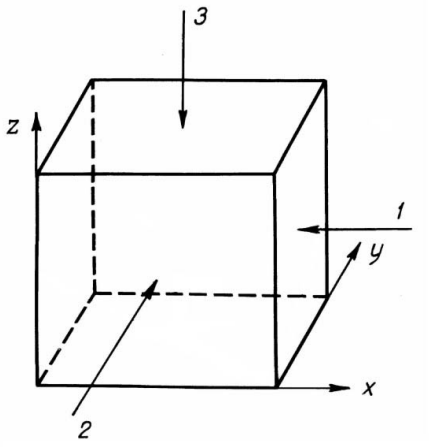


Рис. 1. Маркировка граней кубического образца.

Акустополяризационные определения выполнены на единичных образцах кубической формы для каждого типа гранита (рис. 1). Образец помещали на поворотную платформу между излучателем и приемником поперечных линейно-поляризованных колебаний. Измерения амплитуды проходящих колебаний проводили через 1° в пределах 360° [2].На первом этапе измерения амплитуд колебаний выполняются при параллельных векторах поляризации излучателя и приемника (положение ВП). На втором этапе векторы поляризации преобразователей устанавливаются под прямым углом (положение ВС) [1]. Результатом измерений являются акустополяриграммы ВП и ВС - круговые диаграммы изменения амплитуды огибающей импульса. Результаты акустополярископии образцов представлены на рис. 2. На последующих этапах, в соответствии с выявленными пространственными направлениями элементов упругой симметрии измеряются скорости распространения двух квазипоперечных (сдвиговых) и одной продольной волн на каждой грани образца. Результаты определений записаны в табл. 2 в виде квазиматрицы скоростей (формула 1, [1]), а также представлены показатели анизотропии по продольным A_p и поперечным B_s УЗК, показатель линейной акустической анизотропии поглощения (ЛААП) D и средние величины скорости V_{pa}, V_{sa} на каждый образец:

$$\begin{matrix} V_{11} & V_{12} & V_{13} \\ V_{12} & V_{22} & V_{23} \\ V_{13} & V_{23} & V_{33} \end{matrix} \qquad (1)$$

где V_{11} - скорость распространения продольных колебаний, измеренная в направлении 1-1' кубического образца; V_{22} - то же, в направлении 2-2'; V_{33} - то же, в направлении 3-3'; V_{12} - скорость распространения сдвиговых колебаний, измеренная в направлении 1-1' при ориентировке вектора поляризации излучателя в направлении 2-2'; V_{13}

- то же, в направлении 1-1' при ориентировке вектора поляризации в направлении 3-3'. Аналогично обозначены V_{21}, V_{23}, V_{31}, V_{32}.

Таблица 1. Физико-механические характеристики гранитов Карелии из месторождений нерудных строительных материалов.

Наименование месторождения	Предел прочности при одноосном сжатии, МПа		$K_р$, %	Средняя плотность, г/см^3	Истинная плотность, г/см^3	Водопоглощение, %	$P_о$, %	Истираемость г/см^2, мм
	в сухом состоянии	в водонасыщенном состоянии						
Репомяки (РЕ-1)	**103 – 184** 163	63 – 154 122	25	2,52 – 2,66 2,58	2,58 – 2,70 2,65	0,10 – 1,40 0,40	2,64	0,16 – 0,20 0,18 0,41 – 0,52 0,47
Кяснесельгское (С-1)	82 – 100 89	40 – 70 51	43	2,59 – 2,63 2,61	2,68	0,25 – 0,38 0,35	2,61	-
Кашина Гора (KG-1)	**142 – 210** 177	94 – 191 143	19	2,66 – 2,70 2,69	2,69 – 2,72 2,71	0,12 – 0,18 0,15	0,74	0,19 – 0,20 0,20 0,71 – 0,74 0,73
Кестень-гское (К-1)	96 - 124 106	60 - 78 68	34	2,62 – 2,73 2,67	2,66 – 2,77 2,71	0,20 – 0,45 0,29	1,48	0,25 – 0,34 0,29 0,90 – 1,23 1,07

Примечание: $K_р$ - коэффициент снижения прочности при водонасыщении, $P_о$ - общая пористость.

Анализ данных, табл. 1, 2 и рис. 2 позволяет оценить прочностные, коллекторские, упруго-анизотропные и технологические свойства четырех типов гранита из месторождений строительных материалов в пределах Свекофенского подвижного пояса и Карельского геоблока.

Порфировидные неравномернозернистые биотитовые граниты рапакиви месторождения Репомяки обладают сравнительно высокими прочностными показателями, широким диапазоном водопоглощающих свойств, высокой пористостью по сравнению с породами других месторождений. При этом, истираемость породы одна из самых низких (табл. 1). Акустополяриграмма образца РЕ-1 указывает на влияние структурных неоднородностей и направленной микротрещиноватости, проявленной на гранях 1 и 3. Образец РЕ-1 показал низкие значения средних скоростей продольных и поперечных волн и слабую упругую анизотропию ($A_р$ = 3.4%, B_S = 1.5%, табл. 2).

Порфировые выделения, представленные овоидами и относительно правильными таблитчатыми зернами ортоклаза размером от 1,5 до 2-4 см, совместно с микротрещиноватостью, способствуют снижению прочности крупноовоидных гранитов рапакиви – выборгитов Кяснесельгского местопроявления (табл. 1). Акустополяриграммы образца выборгитов (С-1) свидетельствуют о наличии упругой анизотропии и структурной неоднородности (рис. 2). Показатели $A_р$, B_s (табл. 2) характеризуют этот образец, как высокоанизотропный. На грани 2-2' наблюдается эффект деполяризации сдвиговых волн (ДСВ) [1], сопровождаемый значительным снижением скорости поперечных волн (табл. 2), что также может служить подтверждением развитой микротрещиноватости в образце.

Плагиомикроклиновые граниты месторождения Кашина Гора обладают высокими показателями прочности, как в сухом, так и в насыщенном водой состоянии. Отметим также минимальное водопоглощение этих пород. По данным акустополярископии, образец KG-1 представляет собой относительно слабоанизотропную среду, но с отчетливо выраженным эффектом ЛААП на гранях 1 и 3. Это указывает на наличие ориентированной микротрещиноватости. Величины коэффициента анизотропии $A_р$ и показателя анизотропии B_S (табл. 2) подтверждают малую степень упругой анизотропии породы.

Определения прочностных и коллекторских свойств гранитогнейсов Кестенгского месторождения К-1 показывают низкие величины пределов прочности в сухом и насыщенном водой состоянии (табл. 1). Соответственно высоки характеристики водопоглощения и истираемости пород. Акустополярископия образца К-1, как и образца KG-1, указывает отчетливо выраженный эффект ЛААП на гранях 1 и 3 (рис. 2). Сравнительно небольшое значение коэффициента анизотропии $A_Р$ позволяет отнести эту породу к слабоанизотропной разновидности.

Выводы

Наиболее прочными являются плагиомикроклиновые граниты, гнейсограниты месторождения Кашина Гора с относительно невысоким содержанием калиевого полевого шпата (микроклина) и незначительной степенью вторичных изменений. Для плагиомикроклиновых гранитогнейсов месторождения Кестеньгское невысокие

показатели прочности и высокие значения K_p и P_o объясняются вторичными изменениями в полевых шпатах, наличием меланократовых участков (скопления биотита, рудного минерала и эпидота), приуроченных к субпараллельным трещинам, а также интенсивным ожелезнением трещин (процессы выветривания). Водопоглощение, характеризующее наличие открытых дефектов в горной породе, для этих гранитов имеет более высокие показатели по сравнению с гранитами месторождения Кашина Гора.

Таблица 2. Упруго-анизотропные свойства единичных образцов гранитов Карелии.

Номер образца	Наименование породы	Плотность ρ, г/см^3	Матрица скорости V_{ij}, км/с	Показатель анизотропии		Показатель ЛААП D_1, D_2, D_3.	Средняя скорость в образце	
				A_p, %	B_S,%		V_{pa}, км/с	V_{sa}, км/с
PE-1	Граниты рапакиви	2,57	3,90 2,52 2,50 2,46 3,72 2,49 2,45 2,46 3,78	3,36	1,5	0,43 0,09 0,08	3,80	2,48
C-1	Выборгиты	2,59	5,01 2,43 2,02 1,55 6,16 1,93 2,54 2,60 4,96	17,8	28,8	0,10 0,06 0,16	5,38	2,18
KG-1	Плагиомикроклиновые граниты, гнейсограниты	2,66	3,86 2,47 2,56 2,46 3,94 2,61 2,93 2,56 4,05	3,5	15,3	0,62 0,13 0,28	3,95	2,60
K-1	Мигматизированные гранитогнейсы	2,75	4,94 2,56 2,58 2,66 4,61 2,58 2,65 2,48 4,80	5,0	7,4	0,43 0,24 0,18	4,78	2,58

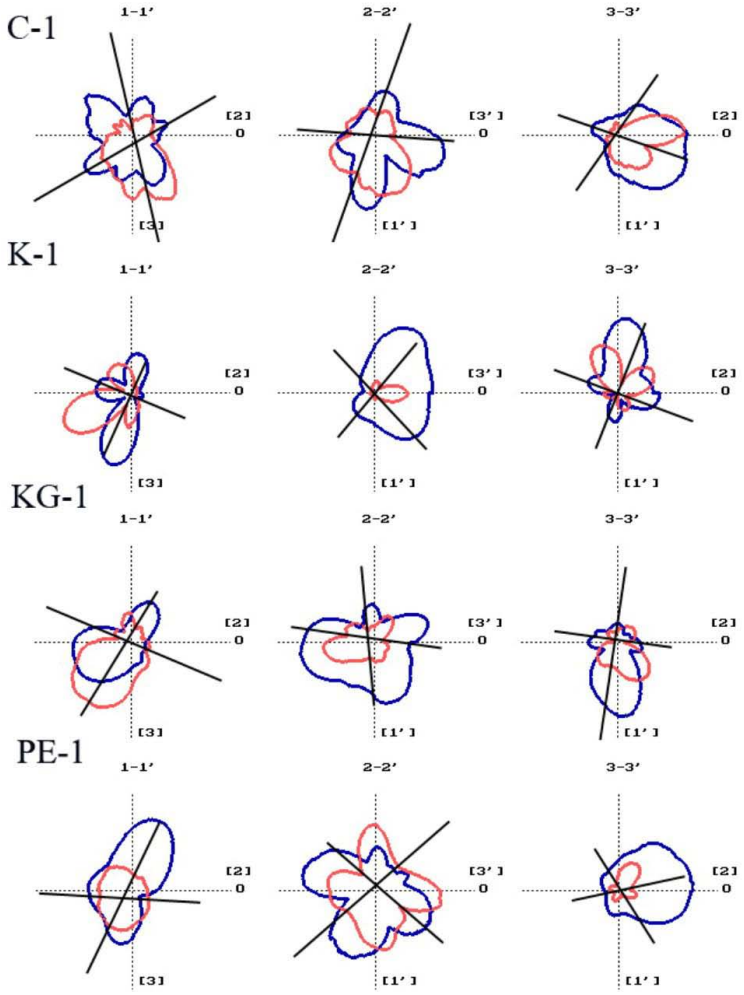


Рис. 2. Акустополяризационные диграммы пород месторождений: Кяснесельгского (С-1), Кестеньгского (К-1), Кашиной горы (KG-1) и Репомяки (PE-1). Тёмная линия - векторы параллельны, светлая - скрещены.

Невысокие прочностные свойства, высокое значение водопоглощения, высокая общая пористость и сравнительно низкая величина средней и истинной плотности для крупноовоидных с крупнозернистой основной массой гранитов рапакиви – выборгитов местопроявления Кяснесельгское связаны не только с крупнозернистью и формой зерен основных породообразующих минералов, но и с составом и содержанием полевого шпата. Большое содержание калиевого полевого шпата – ортоклаза (от 52% до 67% [7]), обладающего совершенной спайностью и способностью образовывать двойники, в которых двойниковый шов представляет ослабленную зону, создает условия для развития и накопления различных микродефектов.

Средняя плотность гранитов зависит от состава и содержания полевых шпатов и присутствия темноцветных минералов. Более плотными являются граниты с большим содержанием натриево-кальциевых полевых шпатов в составе и присутствием темноцветных минералов.

Учитывая, что характеристикой микротрещиноватости горных пород может быть их водопоглощение [4], невысокие значения параметров анизотропии, для месторождения «Репомяки» (PE-1) вместе с высокими значениями водопоглощения, могут являться свидетельством того, что ориентировка микротрещин в этих образцах хаотичная.

Образцы участка Кяснесельгский (С-1) обладают высокими значениями во-

допоглощения и выраженной анизотропией. Это может свидетельствовать о том, что микротрещины имеют упорядоченную ориентировку.

Чем обусловлены корреляции анизотропии и микротрещиноватости, будет выяснено при дальнейшем изучении пород с помощью других методов.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 07–05–00100 и гранта президента РФ МК–1908.2008.5.

Список литературы

1. Горбацевич Ф.Ф. Акустополярископия породообразующих минералов и кристаллических пород. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2002. 140 с.

2. Ковалевский М.В. К вопросу о совершенствовании методики исследований упругих характеристик геоматериалов методом акустополярископии // Информ. матер. 12-й науч. конф.: Структура, вещество, история литосферы Тимано-Североуральского сегмента. Сыктывкар: Геопринт, 2003. С.123-125.

3. Михайлов В.П., Аминов В.Н. Неметаллические полезные ископаемые, подземные воды и лечебные грязи // Минерально-сырьевая база республики Карелия. К. 2. Петрозаводск: Изд-во Карелия, 2006. С. 149-227.

4. Мясникова О.В., Шеков В.А. Некоторые аспекты оценки разрушения горных пород // Строительные материалы. 2008. № 7. С. 26-27.

5. Родионов В.С. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1:200000. Лист Q-36-XV, XVI // Объяснительная записка. С-Пб., 1999.

6. Светов А.П., Свириденко Л.П., Иващенко В.И. Вулканно-плутонизм свекокарелид Балтийского щита. Петрозаводск: Изд-во КарНЦ АН СССР, 1990. 321 с.

7. Свириденко Л.П. Петрология Салминского массива гранитов рапакиви (в Карелии). Петрозаводск: Изд-во КарФАН СССР, 1968. 115 с.

8. Соколов В.А. Геология Карелии. Л.: Наука, 1987. 148 с.

ВЫСОКОТОЧНЫЙ КОЛИЧЕСТВЕННЫЙ ПРОГНОЗ – ОСНОВА ЭФФЕКТИВНОСТИ ГОРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ

Ф.М. Ройзенман
г. Москва, e-mail: feliksmr@gmail.com

За последние несколько десятилетий в геологической отрасли произошли коренные изменения. 1) В настоящее время поверхность Земли во многих странах уже хорошо исследована и **вероятность случайного открытия месторождений на поверхности резко сократилась**. 2) На передний план уже давно выдвинулась проблема **глубинного локального прогноза**. 3) Для глубинных поисков важнейшее значение имеет **целенаправленный прогноз крупных и богатых месторождений**. Для выполнения указанных условий, современный прогноз должен быть **количественным**.

К сожалению, как геологическая наука, так и геологическая практика, оказались не готовыми к принципиальному изменению условий прогнозирования. Реальная достоверность геологического прогноза составляет 5-20%. Такая низкая эффективность приводит к огромным потерям времени и средств при разведке и освоении полезных ископаемых. Для кардинального увеличения эффективности геологической отрасли автором разработана новая (количественная) система прогноза [2].

Её применение позволяет уже после поисковых работ (и до начала горно-буровых разведочных работ) получать **количественную** информацию: 1) какова вероятность обнаружения промышленного объекта в данном месте; 2) как вывести достоверность прогноза на уровень выше 80%; 3) каковы размеры объекта; 4) величина запасов полезного ископаемого; 5) содержание полезного ископаемого; 6) качество минерального сырья. Разработка и апробация новой системы прогноза проведены на территориях хорошо изученных рудных полей и месторождений различных твердых и жидких полезных ископаемых: флогопита, мусковита, графита, диопсидового, кварцевого и полевошпатового сырья, лития, рубидия, цезия, тантала, ниобия, бериллия, горного хрусталя, медно-никелевых руд, облицовочного камня, гранитного щебня, подземных водоисточников. Всего исследовано 40 месторождений 18-ти полезных ископаемых в 15-ти рудных полях.

При разработке системы количественного прогноза использовался большой комплекс методов: 1) крупномасштабное геологическое картирование рудных полей и месторождений по методике Б.М. Роненсона [3]; 2) геофизическая съемка (электроразведка несколькими методами, магниторазведка, микросейсмика, гамма-спектрометрия и др.); 3) геохимическая съемка; 4) термобарогеохимические исследования и картирование

(термовакуумная и термозвуковая декрепитация; газово-хроматографический анализ газово-жидких включений; гомогенизация включений) и другие: всего 20 методов исследования.

Разработка поисково-оценочных критериев производилась на эталонном участке или группе участков, где устанавливались количественные связи между геологическими, геофизическими, минералого-геохимическими, термобарогеохимическими и другими критериями, с одной стороны, и указанными выше промышленными параметрами – с другой стороны.

Расчет достоверности локального прогноза рудных тел. Для количественной оценки достоверности прогноза введено понятие «поисковая вероятность». В качестве оптимального уровня «поисковой вероятности» выбрана величина **80%**. Для достижения этого уровня к основному – геологическому поисковому критерию, дающему 50-70% «поисковой вероятности», на месторождениях редкометальных пегматитов добавлялся геохимический критерий, на месторождениях графита – геофизический критерий, на месторождениях мусковита и флогопита – термобарогеохмический поисковый критерий.

Рассмотрим пример расчета «поисковой вероятности» на флогопитовых месторождениях Алдана. Здесь установлены следующие поисковые критерии [2]: 1) промышленные флогопитоносные тела приурочены к диопсидовым кристаллическим сланцам (литологический); 2) основная часть диопсидовых сланцев сосредоточена в двух пачках (III_3 и IV_2) федоровской свиты (стратиграфический); 3) флогопитоносные зоны контролируются преимущественно дисгармоничными складками типа волочения (геолого-структурный); 4) эти зоны фиксируются аномалиями «декрептометрического поискового коэффициента» (термобарогеохимический).

Как установлено, геологическая поисковая вероятность на Алданских флогопитовых месторождениях составляет 70%, а термобарогеохимическая – 64%. На участках, где фиксируется благоприятное сочетание геологического и термобарогеохимического критериев, по формуле вероятности совместных событий определена общая поисковая вероятность – 89%. Эта величина свидетельствует о высокой достоверности прогноза флогопитоносных тел по комплексу геологического и термобарогеохимического поисковых критериев.

Критерии оценки размеров рудных тел. Размеры рудных тел (длину, мощность, вертикальные параметры оруденения) можно определить по величине исследованных поисково-оценочных критериев: геологических, геохимических, геофизических, термобарогеохимических.

Критерии оценки содержаний полезного ископаемого. Содержание полезного ископаемого определяется по корреляционным зависимостям между этим параметром и исследуемым критерием. Так, на месторождении Чебере в Алданском районе построена номограмма соотношения между содержаниями графита и «коэффициентом электроанизотропии» [2]. На ней выделены поля с содержаниями графита: 0-1%, 1-3%, 3-9%, 9-18%, более 18%. Достоверность оценки содержаний графита составляет на данном месторождении 89%. С помощью прогнозно-оценочного метода электроанизотропии открыта зона Центральная с самыми высокими в мире содержаниями высококачественного графита – 27% (в 4 раза выше, чем на крупнейших в Европе украинских месторождениях).

Экспрессное определение содержаний крупнокристаллических слюд: мусковита и флогопита может осуществляться только по термобарогеохимическим методам, так как весовые определения содержаний крупнокристаллических слюд дают ошибку до 10 раз [2]. Как видно на рис. 1, на эталонировочном графике фиксируется связь между содержаниями мусковита и концентрацией CO_2 в газово-жидких включениях.

Критерии оценки запасов полезных ископаемых. В качестве примера на рис. 2 приведен график зависимости между запасами промышленного флогопита (Qт) и амплитудами рудоконтролирующих дисгармоничных складок (Нм) на Алданских месторождениях. Из него видно, что мелкие (с амплитудой до 40 м) и крупные складки (с амплитудой более 180 м) контролируют мелкие тела с запасами флогопита до 5000 т. Наиболее крупные и богатые тела с запасами флогопита более 20000 т контролируются средними (оптимальными) по размерам складками с амплитудой 80-150 м. Именно из таких немногочисленных зон, составляющих 7% от их общего количества, добыто более 80% всего флогопита Алданских месторождений. С использованием указанного графика, по рекомендациям автора открыты 6 флогопитоносных зон с общими запасами 68000 т, в том числе – крупнейшая в мире (на момент открытия) зона XIX-XX месторождения Южного с запасами флогопита 40000 т.

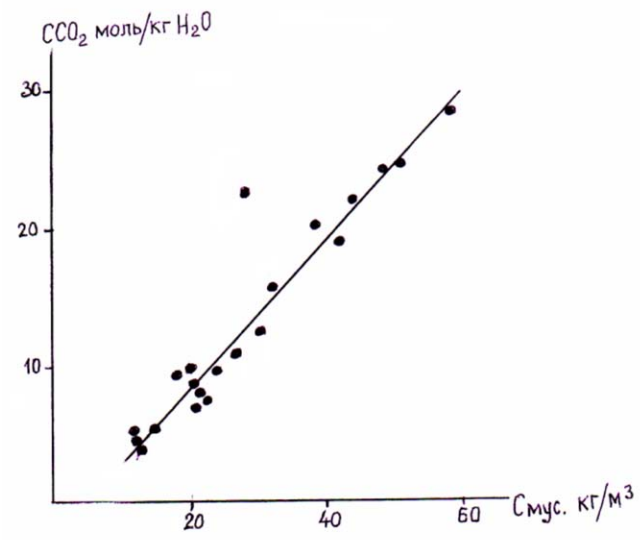


Рис. 1. Зависимость между концентрацией CO_2 (CCO_2) в газово-жидких включениях в кварце и содержаниями промышленного мусковита (Смус.) на Мамско-Чуйских месторождениях [1]).

Критерии оценки качества минерального сырья. Проблема оценки качества особенно важна для неметаллических полезных ископаемых, а для кристаллосырья часто является наиважнейшей.

Так, для производства высокочистых кварцевых стекол требуется сырье с минимальным количеством примесей, что является большой редкостью. Методами, предусмотренными Техническими условиями, невозможно достоверно определить качество кварцевого сырья. Важнейшую информацию о качестве кварцевого сырья дают результаты анализа газов в газово-жидких включениях в кварце. Содержания газов в кварцевом сырье из разных месторождений могут меняться до 30 раз, газовая составляющая связана с качеством кварцевого сырья. В результате газово-хроматографического анализа газово-жидких включениях 30 месторождений СССР и Бразилии разработан новый способ оценки сортности кварцевого сырья. Как видно на рис. 3, существует соотношение между сортностью кварцевого сырья, его общей газонасыщенностью и концентрацией CO_2 в газово-жидких включениях. В целом, такой анализ газово-жидких включений в кварце дает комплексную информацию о составе, сортности и структурных особенностях кварцевого сырья.

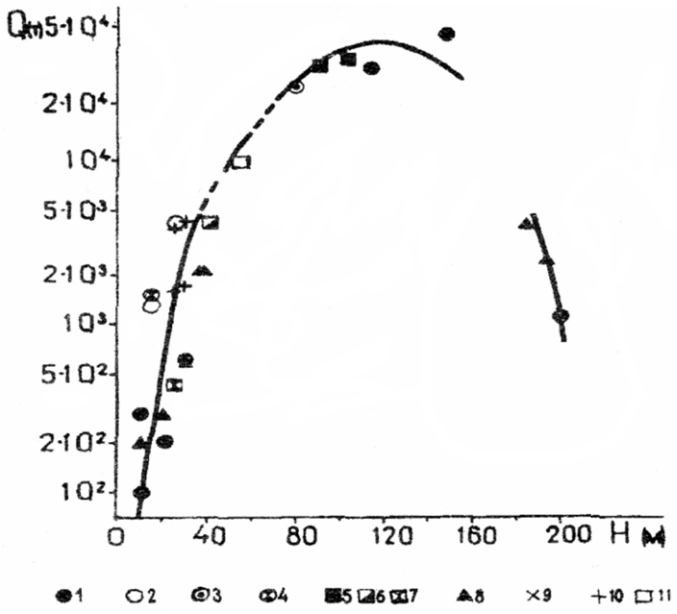


Рис. 2. Зависимость запасов флогопитоносных зон (Qт) от амплитуды дисгармоничных складок (H) на Алданских месторождениях. 1 – Южное, 2 – Федоровское, 3 – Озерное, 4 – Бурдыхлайское, 5 – Безымянное, 6 – Белибердинское, 7 – Северное, 8 – Таборное, 9 – Леглиерское, 10 – Эмельждакское, 11 – Поисковое.

Результаты апробации системы количественного прогноза. В результате проверки 76 прогнозов с помощью указанной методики, было открыто, оценено и разведано 70 промышленных тел 18-ти различных твердых и жидких полезных ископаемых, в том числе: 1) 17 промышленных тел полевошпатового сырья с запасами 27 млн. т (Алданский район); 2) 5 промышленных тел полевошпатового сырья с запасами 3 млн. т (Ю. Карелия); 3) 6 промышленных флогопитоносных тел с запасами 68 000 т флогопита-сырца (Алданский район); 4) 8 промышленных мусковитоносных тел с запасами 28 000 т (Мамско-Чуйский район и северная Карелия); 5) 9 промышленных графитоносных тел с запасами 6.5 млн. т (Алданский район и Ю. Карелия); 6) комплексное рудное тело с литием, рубидием, цезием, танталом, ниобием и бериллиум (Кольский полуостров); 7) 12 промышленных тел облицовочного камня с запасами 2 млн. м^3 (Ю. Карелия); 8) 7 промышленных тел высокопрочного щебня с запасами 500 млн. м^3 (Ю. Карелия); 9) 5 подземных водоисточников с общим дебитом 300 м^3 воды в сутки (С. Карелия, Ю. Карелия и Московская обл.). Среди указанных объектов четыре имеют государственное или мировое значение (самое богатое в мире месторождение высококачественного графита с его средним содержанием 27% и др.). Общая стоимость минерального сырья в недрах - 17 млрд. долл. США. Добыто сырья на 700 млн. долл.На основе приведенных данных можно сделать следующие выводы.

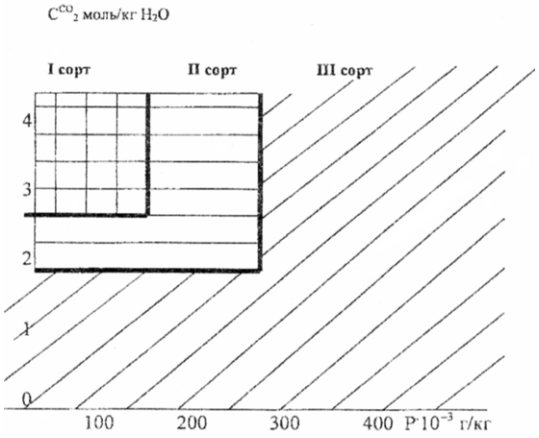


Рис. 3. Зависимость между сортностью кварцевого сырья, газонасыщенностью (Р) и концентрацией CO_2 (CCO_2).

1. Система количественного локального прогноза минерального сырья отвечает современным требованиям необходимости повсеместного перехода на высокоточное глубинное прогнозирование.
2. Эта система позволяет количественно оценить вероятность обнаружения промышленного объекта и довести достоверность прогноза до 80% и выше.
3. В этой системе разработаны способы количественной оценки (на поисковой стадии) промышленных параметров: размеров и запасов рудных тел, содержаний и качества минерального сырья.
4. Новая методика позволяет целенаправленно прогнозировать крупные и богатые месторождения.
5. С помощью новой методики прогноза возможна оценка рудной специализации комплексных месторождений.
6. Проведенная апробация новой системы прогноза позволила открыть, оценить и разведать 70 промышленных тел 18-ти твердых и жидких полезных ископаемых, в том числе 4 крупных месторождения. Результаты апробации свидетельствуют о повышении эффективности геологоразведочных работ до 8-10 раз. Объемы бурения уменьшаются до 10 раз.
7. Представляется перспективным дальнейшее развитие системы количественного прогнозирования на месторождениях различных полезных ископаемых с целью существенного повышения эффективности геологоразведочных работ.

Список литературы

1. Громов А.В. и др. Содержание углекислоты в минералах пегматитов и возможности его использования для оценки слюдоносности // Термобарогеохимия и геохимия рудообразующих флюидов. Ч. 2. Тез. VII Всесоюзн. совещ. Львов, 1985. С. 25.

2. Ройзенман Ф.М. Условия образования и количественный локальный прогноз метаморфогенных месторождений // М.: Щит-М, 2004. 276 с.

3. Ронензон Б.М. Пути повышения достоверности крупномасштабных геологических карт // Изв. вузов. Геология и разведка. 1972. № 4. С. 24-27.

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ КРУПНЕЙШЕГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЦЕЗИЕНОСНЫХ РЕДКОМЕТАЛЬНЫХ ПЕГМАТИТОВ В ВОРОНЬЕТУНДРОВСКОМ РУДНОМ ПОЛЕ (КОЛЬСКИЙ ПОЛУОСТРОВ)

Ф.М. Ройзенман
г. Москва, e-mail: feliksmr@gmail.com

За последние десятилетия установлены более 20 областей применения цезия (в фотоэлементах и фотоумножителях, медицине, энергетике, космосе и др.). В связи с этим, в мире потребность в цезии в настоящее время в 10 раз превышает его производство. Одной из главных причин отставания производства является ограниченность сырьевой базы. Основным источником цезия является поллуцит, содержащий около 30% окиси цезия. В месторождении Берник-Лейк в Канаде сосредоточено 70% мировых запасов поллуцита. В России запасы самого крупного месторождения поллуцита – Васин-Мыльк на Кольском полуострове, составляют всего 1900 тонн, что в 35 раз меньше. Запасы Васин-Мылька примерно соответствуют тому количеству цезия, который Советский Союз закупил за несколько лет у канадцев.

Цезий является стратегическим сырьем и проблема обеспечения страны этим полезным ископаемым весьма актуальна. Научно-исследовательской экспедицией Московского геологоразведочного института (МГРИ) в Вороньетундровском районе Кольского полуострова проведены комплексные работы с целью обнаружения месторождения цезия. Хотя для данного района имелось несколько геологических карт масштаба 1:25 000 и детальнее [1], но на них отсутствовали данные для точного прогноза месторождения поллуцитоносных пегматитов. В процессе проведенных Мурманской ГРЭ детальных геохимических поисков масштаба 1:25 000 в районе не было выявлено ни одной заслуживающей внимания геохимической аномалии. Для решения задачи была применена разработанная автором система количественного локального прогноза рудных объектов [2].

Геологическое картирование Вороньетундровского рудного поля производилось в 1970-73 г.г. по методике, разработанной Б. М. Ронензоном. В ней все операции осуществляются на строгой математической (статистической) основе. В результате устраняются причины обычной неоднозначности геологического картирования по существующим инструкциям и методическим руководствам. По этим геологическим картам невозможно определить многие важнейшие поисково-оценочные критерии.

Как показал опыт геологического картирования метаморфогенных рудных полей и месторождений 18 полезных ископаемых в различных регионах СССР (Алдан, Карелия, Кольский полуостров, Урал и другие), установленные по формально однозначным картам геологические критерии (литологические, стратиграфические и геолого-структурные) обеспечивают уровень достоверности прогноза от 50-ти до 70%. Для увеличения достоверности прогноза выше 80% в Вороньетундровском рудном поле геологический критерий комплексировался с геохимическим и другими поисковыми критериями.

Комплексирование геологического, геохимического и других поисково-оценочных критериев. Для расшифровки геологического строения Вороньетундровского рудного поля, установления количественных поисково-оценочных критериев и разработки прогнозов по выявлению промышленных редкометальных пегматитов, экспедицией МГРИ проведена комплексная геолого-геофизическая съемка масштаба 1:10000 на площади 100 км^2. Она сопровождалась геологическим картированием промышленных участков в масштабах 1:2000 - 1:500 и специальными геохимическими, петрологическими, минералогическими и термобарогеохимическими исследованиями.

В стратиграфическом разрезе рудного поля выделяются два резко различных комплекса. Нижний (комплекс основания) представлен однородной толщей мигматит-гранитов. В нем расположена крупная Вороньетундровская грабен-синклинальная структура, сложенная кристаллическими сланцами эпидот-амфиболитовой фации метаморфизма. Комплекс разделен на 4 свиты [1]: 1) лявозерская свита гранат-биотитовых гнейсов. 2) полмостундровская свита роговообманковых амфиболитов с пачками куммингтонитовых амфиболитов, 3) вороньетундровская свита – лептиты биотитовые и биотит-амфиболовые, 4) червуртская свита – сланцы кианит-биотитовые и гранат-биотитовые. В метаморфическом комплексе отмечаются интрузивные тела метагаббро, метаперидотитов, лейкократовых гранитов и пегматитов, в том числе – редкометальных. Среди пегматитов выде-

ляются 4 типа: 1) безрудные пегматиты и гранит-пегматиты, 2) кварц-полевошпатовые пегматиты с мусковитовыми и танталитовыми грейзенами, 3) кварц-полевошпатовые пегматиты со сподуменом, 4) комплексные редкометальные пегматиты с литием, рубидием, цезием, танталом, ниобием и бериллием; особую ценность представляют пегматиты с блоковым поллуцитом.

Биотитовые региональные метасоматиты и их роль в прогнозировании цезиеносных пегматитов. В процессе геологического картирования в рудном поле впервые выделена новая геологическая формация – региональные допегматитовые метасоматиты, приуроченные к косо-секущим разрывам в метаморфическом комплексе. Для темы настоящей статьи особое значение имеют допегматитовые биотитовые региональные метасоматиты по амфиболитам. Эти мелкозернистые меланократовые породы на 60-70% состоят из биотита. Зоны таких метасоматитов протягиваются на расстояния до 15 км при ширине 50 - 300 м. Они имеют важное поисковое значение. Амфиболиты, в которых залегают жилы редкометальных пегматитов, состоят из амфибола и плагиоклаза, минералов, по своей структуре не благоприятных для вхождения рубидия и цезия. В связи с этим, приконтактовые ореолы рубидия и цезия по амфиболитам вокруг жил пегматитов имеют мощность до первых метров. Такие зоны имеют небольшое поисковое значение. Как установлено нами на месторождении Васин-Мыльк, биотитовые метасоматиты обогащаются редкими щелочами на расстоянии до 100 м от контактов пегматитовых тел. Такие геохимические ореолы имеют важное поисковое значение.

Поисковые критерии на цезиеносные пегматиты. В Вороньетундровском рудном поле установлены следующие геологические, геохимические и термобарогеохимические поисковые критерии на цезиеносные редкометальные пегматиты: 1) литологический – приуроченность к амфиболитам; 2) стратиграфический – приуроченность к полмостундровской свите нижнепротерозойских кристаллических сланцев; 3) геолого-структурный контроль – приуроченность редкометальных пегматитов к системам пологих разрывов в веерообразных антиклиналях; 4) геохимический – повышение содержаний редких щелочных элементов в биотитовых метасоматитах на значительных расстояних от пегматитовых тел; 5) критерий рудной специализации пегматитов – определение рудного типа пегматитов по «коэффициенту цезиеносности» - отношению содержания цезия к сумме цезия, лития и рубидия; 6) декрептометрический – фиксация «ореолов пропаривания» вокруг рудоносных пегматитов с величиной «поискового декрептометрического коэффициента» $К_д$ – более 50%; 7) углекислотнометрический – резкое увеличение концентрации CO_2 (более 6 моль/кг H_2O) в газово-жидких включениях минералов богатых редкометальных руд (критерии 1-2 [1]; критерии 3-7 [2]).

Геолого-структурный критерий. Жилы цезиеносных редкометальных пегматитов приурочены к двум системам пологих разрывов в веерообразных антиклиналях. На участках пережимов образуются мелкие тела пегматитов (тип Васин-Мыльк). В головных раздувах веерообразных антиклиналей формируются крупные и богатые тела цезиеносных пегматитов (тип Берник-Лейк).

Геохимический поисковый критерий. В приконтактовых зонах цезиеносных пегматитов (на расстоянии более 100 м) отмечается резкое обогащение биотитовых метасоматитов оксидом цезия – до 0.01 – 0.10%. В других горных породах рудного поля содержания оксида цезия значительно ниже.

Перспективная оценка участка Прогнозного. Как видно на рисунке, в головной части крупной веерообразной антиклинали содержания цезия в биотитовых метасоматитах составляют от 0.01% до 0.10%. То есть, обогащение биотитовых метасоматитов цезием происходит до 30 раз, а по сравнению с фоновыми содержаниями во вмещающих амфиболитах – до 1700 раз! На участке Прогнозном геохимическая аномалия редких щелочных металлов имеет площадь 1200 × 500 м. Это в 8 раз больше площади месторождения Васин-Мыльк и в 1.15 раз выше, чем Берник-Лейк.

Критерий рудной специализации пегматитов. В качестве геохимического индикатора наиболее важных в промышленном отношении комплексных редкометальных пегматитов с блоковым поллуцитом использован «коэффициент цезиеносности», представляющий отношение содержаний цезия к сумме лития, рубидия и цезия. Во всех горных породах рудного поля коэффициент цезиеносности – ниже 30%, а в региональных биотитовых метасоматитах в приконтаковой зоне цезиеносных пегматитов «коэффициент цезиеносности» достигает 30-80%. Во всех пробах биотитовых местасоматитов на участке Прогнозном «коэффициент цезиеносности» составляет от 30% до 83%, что является индикатором именно поллуцитоносных пегматитов.

Расчет достоверности поискового прогноза. Для расчета достоверности поискового прогноза введено понятие «поисковая вероятность» [2]. В Вороньетундровском рудном поле геологическая «поисковая вероятность» равна 65%, геохимическая «поисковая вероятность» – 50%. На участке Прогнозном, где благоприятно сочетаются геологический и геохимический поисковые критерии, общая поисковая вероятность равна 83%. Это выше принятого минимального уровня достоверности (80%). По геологическим и геохимическим критериям на участке Прогнозном с вероятностью 83% прогнозируется на глубине в несколько десятков метров крупнейшая жила комплексных цезиеносных пегматитов.

Сравнение поисковых критериев месторождения Берник-Лейк и участка Прогнозного. Между участком Прогнозным и месторождением Берник-Лейк (запасы оксида цезия 65000 т) имеются аналогии: 1) геохронологический фактор – возраст вмещающих метаморфических горных пород – 2.7 млрд. лет; 2) литологический фактор – оба участка сложены амфиболитами; 3) метаморфический фактор – региональный метаморфизм эпидот-амфиболитовой фации; 4) геолого-структурный контроль – оба объекта приурочены к пологим разрывам в замковых частях крупных веерообразных антиклиналей; 5) размеры участков почти совпадают: площадь место-

рождения Берник-Лейк – 1120 × 460 м, площадь участка Прогнозного – 1200 × 500 м.

Оценка прогнозных ресурсов участка Прогнозного. Согласно эталонировочному графику, определены прогнозные ресурсы Cs_2O участка Прогнозного - 75000 т. Таким образом, прогнозируется более 90% запасов поллуцита в России и более 40% мировых запасов цезия. По аналогичным графикам определены прогнозные ресурсы: Li_2O – 200 000 т, Ta_2O_5 – 5000 т, BeO – 2400 т, Rb_2O – 2000 т. Кроме того, прогнозируются промышленные запасы ниобия, кварцевого и калиевого полевошпатового сырья, а также – амфиболитов (сырья для каменного литья, минеральной ваты, облицовочных материалов и др.) – всего 9 полезных ископаемых на одном месторождении! Комплексное изучение и освоение этих полезных ископаемых существенно увеличит промышленно-экономическую ценность месторождения.

Исследования технологических свойств комплексных руд редкометальных пегматитов в Вороньетундровском рудном поле. Технология обогащения комплексных руд пегматитов (на рудах месторождения Васин-Мыльк) отработана в 1970-х гг. на Ловозерском ГОКе, находящемся в 70 км от Вороньетундровского рудного поля. На обогатительной фабрике ГОКа возможно обогащение комплексных руд с участка Прогнозного.

Перспективы использования термобарогеохимических методов для прогнозной оценки комплексных редкометальных пегматитов. На основании дектрептометрической съемки установлено, что размеры декрептометрической аномалии точно совпадают с контурами жилы Васин-Мыльк [2]. К северу от неё, по нашему прогнозу открыта еще одна жила редкометальных пегматитов.

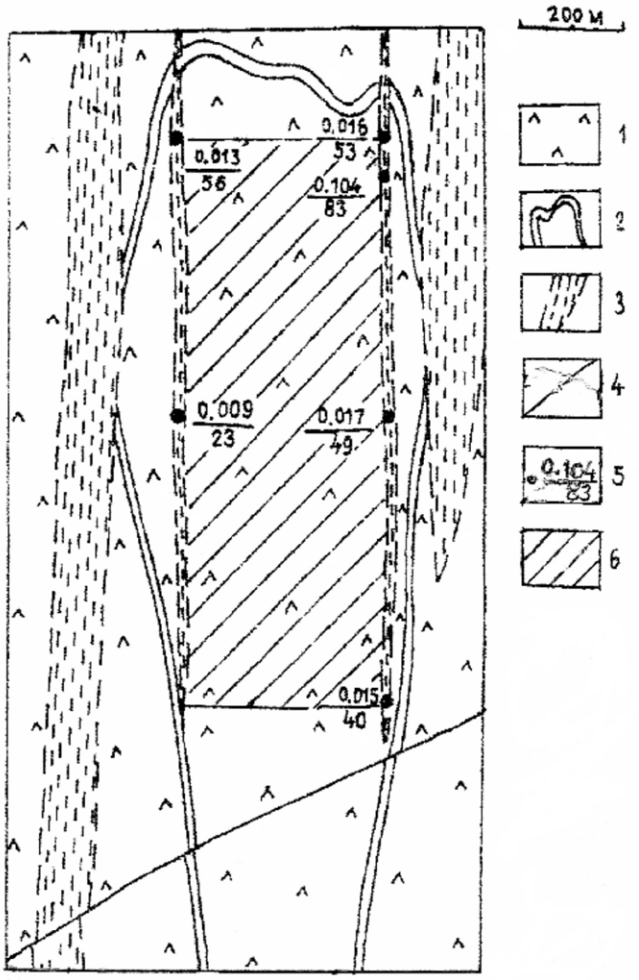


Рис. Схема геологического строения и геохимическая цезиеносная аномалия на участке Прогнозный в Вороньетундровском рудном поле. 1 – роговообманковые амфиболиты, 2 – маркирующая пачка куммингтонитовых амфиболитов, 3 – зоны региональных биотитовых метасоматитов, 4 – зона милонитов, 5 – точки отбора геохимических проб и результаты анализов: в числителе – содержания Cs_2O (%), в знаменателе – «коэффициент цезиеносности», 6 – зона поисков комплексных редкометальных пегматитов на участке Прогнозном.

Выводы

На основе геологических и геохимических критериев на участке Прогнозном в Вороньетундровском рудном поле прогнозируется на глубине нескольких десятков метров крупнейшее месторождение цезиевых (поллуцитоносных) пегматитов с прогнозными ресурсами цезия 75 000 т, а также с промышленными запасами лития, рубидия, тантала, ниобия, бериллия, кварцевого и полевошпатового сырья, а также – вмещающих амфиболитов (9 полезных ископаемых в одном месторождении). Прогнозные ресурсы цезия на участке Прогнозном в 40 раз превышают запасы крупнейшего в России месторождения поллуцита (Васин-Мыльк) и составляют более 40% мировых запасов цезия. Положительным фактором для освоения участка Прогнозного является наличие на Ловозерском ГОКе технологических схем получения редкометальных концентратов из комплексных редкометальных пегматитов (на рудах месторождения Васин-Мыльк). Преимуществом участка Прогнозного являются хорошие горно-промышленные условия добычи, так как он находится на скальном хребте с мощностью рыхлых отложений до 3 м. С учетом того, что мировой спрос на цезий в настоящее время в 10 раз превышает возможности его производства, выявление и освоение нового крупного месторождения цезия представляет большой интерес для обеспечения отечественной промышленности и для экспорта.

Список литературы

1. Зуева В.П. Закономерности размещения и условия формирования редкометальных пегматитов // Пегматиты. М.: Наука, 1972. С. 98-114.

2. Ройзенман Ф.М. Условия образования и количественный локальный прогноз метаморфогенных месторождений. М.: Щит-М, 2004. 276 с.

ПОТЕНЦИАЛЬНАЯ НЕФТЕГАЗОНОСНОСТЬ ОКРАИННО-КОНТИНЕНТАЛЬНЫХ ОБРАЗОВАНИЙ РИФЕЙСКОГО ЭТАПА РАЗВИТИЯ ТИМАНО-ВАРАНГЕРСКОЙ ЗОНЫ БАЙКАЛИД

Н.О. Сорохтин, Н.Е. Козлов
Геологический институт КНЦ РАН, г. Апатиты, e-mail: kozlovne@afmgtu.apatity.ru

Карско-Баренцевоморский нефтегазоносный бассейн хорошо изучен геолого-геофизическими методами, однако закономерности пространственно-временного распределения УВ в его пределах и историко-генетические аспекты развития региона остаются на сегодняшний день практически неисследованными. Определение условий и способов генерации и созревания углеводородного сырья, выявление возможных областей их локализации в пространстве и времени, является крайне важной проблемой, так же позволяет оценить их прогнозные ресурсы и условия извлечения из недр. Тем важнее задача определения характера геодинамической эволюции региона и увязывания процессов эндогенной и экзогенной активности литосферы с формированием промышленно значимых концентраций не только органического вещества, но и полезных ископаемых в целом. В краткой статье невозможно коснуться всех аспектов этой проблемы. Остановимся лишь на вопросах потенциальной нефтегазоносности рифейского этапа развития региона.

В процессе эволюции Восточно-Европейской платформы (ВЕП) ее северная и северо-западная (в современных румбах) оконечности в постархейское время испытывали периодически коллизии со стороны Североамериканской литосферной плиты [8], на что, в частности, указывает сопоставимость структурно-вещественных комплексов свекофеннид Балтийского щита и Кетилид южной Гренландии и Канады. Позднее, в раннем и среднем рифее (1650 - 1350 млн. лет назад) достоверные геологические данные в этой части платформы отсутствуют. Известно лишь, что в Перитиманской области и Кандалакшско-Двинском бассейне, в интервале 1350-1050 млн. лет развивались структуры прогибания фундамента и накопления континентальных терригенных осадков с примесью вулканитов [8]. В это же время на северо-востоке ВЕП начинают формироваться шельфовые и склоновые осадочные комплексы пассивной окраины континента [3].

Отсутствие геологических данных может косвенно указывать на раскрытие океана Палеояпетус, разделившего ранее единые Канадско-Гренладские континентальные образования и родственные им структурно-вещественные комплексы Балтийского щита. Эти события хорошо согласуются с данными о времени распада суперконтинента Мегагея (Штилле) около 1,7 млрд. лет назад, продолжавшегося до позднего рифея (около 1000 млн. лет назад), когда был сформирован суперконтинент Мезогея [7]. В это время в С-З периферической зоне ВЕП формируется Дальсландская складчатая область, являющаяся продолжением Гренвильского пояса в Канаде и Гренландии и маркирующая зону закрытия океана Палеояпетус. Дальсландский орогенез на западе ВЕП, привел к формированию целого ряда закономерно расположенных в пространстве рифтовых систем в ее С-В районах. Тектонические условия их формирования носили явный отраженный характер, что закономерно сказалось на практически полном отсутствии магматической составляющей в разрезах рифтов и на плечах структур (рис. 1).

Условия относительного тектонического покоя в восточной и С-В частях ВЕП в течение продолжительного времени (с 1350 по 570 млн. лет) свидетельствуют о накоплении огромных масс осадочных образований на склоне и в подножии континента. Их нефтегазовый потенциал, скорее всего, очень велик. В настоящее время рифейские образования пассивной окраины ВЕП того времени фрагментарно обнажены в пределах п-ова Варангер в северной Норвегии, п-овах Средний, Рыбачий и о. Кильдин на северной оконечности Кольского п-ова, а также на Канином носу и Тиманском выступе Архангельской области. В геологической литературе эти образования выделяются как Тимано-Варангерская система байкалид [2, 5]. Она представляет собой моноклинальное напластование средне - позднерифейских и вендских слабометаморфизованных осадочных комплексов, тектонически взброшенных, а местами надвинутых на архейские и раннепротерозойские образования Балтийского щита и Русской плиты [4]. Поверхность моноклинали полого погружается в сторону Южно-Баренцевоморской впадины под углами $2\text{-}5^0$, затем угол наклона увеличивается до $5\text{-}10^0$ [5].

Геодинамические условия накопления осадочных комплексов среднего рифея отвечают единому латеральному ряду шельфовых, континентально-склоновых и подножно-континентальных образований [3]. Присутствие в разрезе фосфоритов и карбонатных стяжений указывает на существование в то время эпиконтинентальных морских условий в С-В части литосферной плиты и наличие зоны апвеллинга. Следует оговориться, что фосфоритообразование в этих зонах характерно только для тропических областей океана, тогда как ВЕП только к позднему рифею и венду сместилась в более низкие широты из приполярных областей [6]. По-видимому, обнаружение незначительных концентраций фосфоритов только в верхах разреза свидетельствует о начальном этапе их образования и нахождении континентальной плиты в умеренной климатической зоне. Это же касается и карбонатных стяжений, которые способны формироваться за счет выпаривания солей карбоната на мелководье и в умеренных, субтропических или аридных климатических условиях. Практически полное отсутствие наложенных процессов магматизма, метаморфизма и складчатости свидетельствует об отсутствии в этой части ВЕП каких либо признаков существования активной окраины континента, как на стадии эволюции окраино-континентального бассейна, так и в последующие эпохи.

Последующее сочленение ВЕП и Баренцево-Печорской плиты (БПП) привел к надвиганию шельфовых и континентально-склоновых образований среднего и позднего рифея и венда на окраину ВЕП и формированию

в районе п-овов Средний и Рыбачий крупных правосторонних сдвиговых и взбросо-надвиговых структур. Океанический бассейн был закрыт без субдукционного поглощения на большей ее части (рис. 1), в результате чего наиболее молодые фрагменты разреза шельфовых и континентально-склоновых образований ВЕП были взброшены на край плиты, а частью срезаны, перемещены и сгружены в Ю-В направлении. Более древние, раннерифейские комплексы, слагавшие нижние уровни склона и подножья континента, скорее всего, были захоронены в нижней части сформированной шовной зоны. Эти процессы привели к увеличению степени складчатости и метаморфизма, вплоть до зеленосланцевой фации в пределах Канинской и Тиманской части разреза, а так же к проявлению контрастного магматизма, от гранитоидного и гранодиоритового до габбро-диабазового. Это косвенно указывает на возможность формирования структуры субдукционного типа в результате пододвигания ВЕП под БПП в Ю-В части.

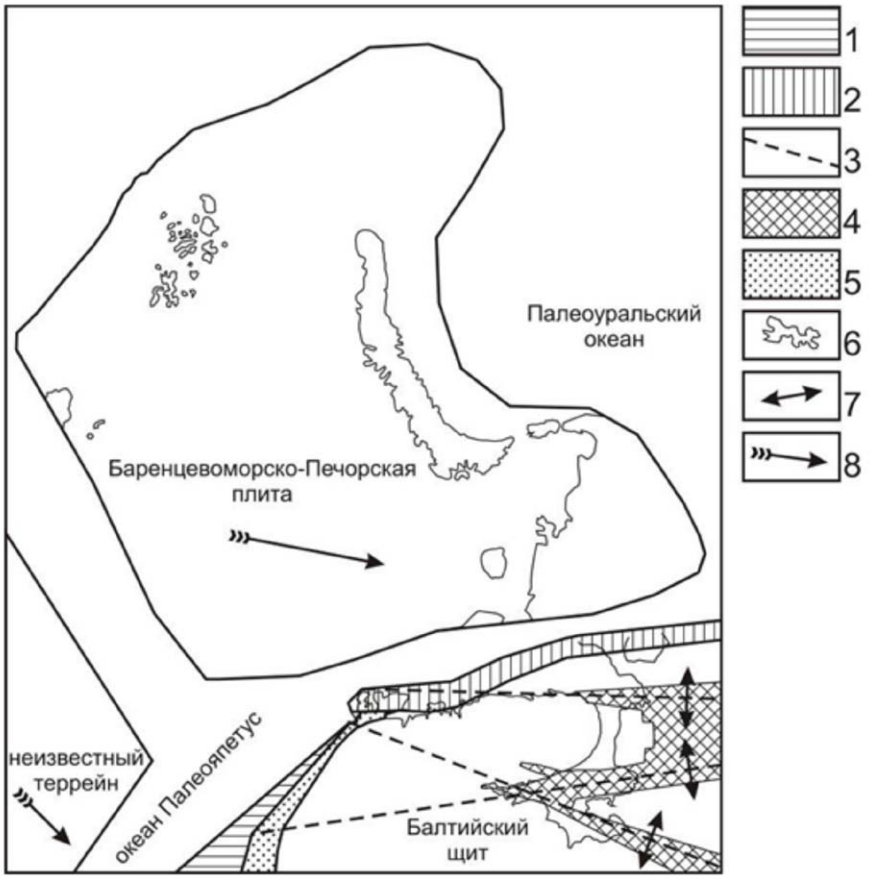


Рис. 1. Палеогеодинамическая реконструкция северной части Восточно-Европейской платформы и прилегающего арктического бассейна в среднем рифее - венде (1350-540 млн. лет назад). 1 – складчатые образования среднего - позднего рифея дальсландской области (1200-900 млн. лет), 2 – средне-позднерифейские и вендские осадочные комплексы шельфа и континентального склона пассивной окраины северо-восточной части Балтийского щита и Русской плиты (1350-620 млн. лет), 3 – основные линиаменты на Балтийском щите, 4 – рифтогенные образования позднего рифея, 5 – континентальные терригенные осадки венда (650-570 млн. лет), 6 – контур современной береговой линии, 7 – векторы полей напряжения в континентальной литосфере, 8 – генерализованное направление перемещения литосферных плит.

Наиболее ранний этап генерации углеводородов, по нашему мнению, связан с накоплением органики в толщах осадков пассивной окраины континента в среднем рифее-венде (1350-620 млн лет) (рис. 1). Этот достаточно долгий период (730 млн. лет) неизбежно должен был привести к накоплению в основании континента больших, многокилометровых и обогащенных органикой толщ осадков, которые в процессе эволюции перемещались совместно с ним из приэкваториальных областей в приполярные.

По данным В.Е. Хаина [8] и О.Г. Сорохтина [7], описываемый регион на рубеже 1,0 млрд. лет назад в составе суперконтинента Мезогея (Родиния) находился на 10-30 градусе северной широты, а позже переместился севернее, в зону покровного оледенения. Об этом свидетельствуют находки тиллитов и тиллоидов в континентальных терригенных осадках венда (650-570 млн. лет) в С-З оконечности Балтийского щита [9]. Под действием литостатического давления в них могли концентрироваться крупные залежи нефти и газа, подобные кайнозойским месторождениям на континентальных склонах Южной Америки и Африки, обрамляющих Атлантический океан.

Позже, когда континент переместился в арктическую зону, стало возможным формирование углеводородов абиогенного генезиса, относимого к газогидратам и характерного для холодных высокоширотных бассейнов. Но возможность их генерации ограничена шириной океанического бассейна, который не может превышать 500 км от оси срединно-океанического хребта до склона континента [1]. К сожалению, эти параметры, скорее всего, останутся навсегда величиной неизвестной, поэтому вопрос о возможном накоплении газогидратов данного возраста дискуссионен.

Большая (больше 20 км) глубина погребения потенциально нефтегазоносных комплексов рифея в этой зоне сводит на нет их экономический потенциал. Однако наложенные процессы каледонского и герцинского возраста, которые выразились в формировании Норвежско-Мезенской системы рифтов и интенсивной складчатости Тимано-Печорского региона, могли и, возможно, привели к мобилизации углеводородов, их трансформации и вторичной миграции в верхние структурные этажи.

Данные исследования являются первым результатом по Программе Президиума РАН 14, проект № 1.3.4. Авторы благодарны акад. РАН А.Н. Дмитриевскому, д.ф.-м.н. О.Г. Сорохтину и к.г.-м.н. И.Е. Баланюк за помощь в подготовке и обсуждении материалов.

Список литературы

1. Дмитриевский А.Н., Каракин А.В., Баланюк И.Е. и др. Гидротермальный механизм образования углеводородов в срединно-океанических хребтах (на примере Баренцева и Норвежского морей) // Геология нефти и газа. 1997. № 8. 17 с.

2. Милановский Е.Е. Геология России и ближнего зарубежья (северной Евразии). М: Изд-во МГУ, 1996. 446 с.

3. Негруца В.З., Басалаев А.А., Чикирев И.В.. Баренцевоморский фосфоритовый бассейн. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 1994. 118 с.

4. Сейсмогеологическая модель литосферы Северной Европы: Баренцрегион // Ред. Ф.П. Митрофанов, Н.В. Шаров. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 1998. Ч. 1. 237 с. Ч. 2. 125 с.

5. Симонов А.П., Губерман Д.М., Яковлев Ю.Н. и др. Рифейская нефть полуострова Рыбачий: миф или ключ к принципиально новому направлению нефтегазопоисковых работ на шельфе Баренцева моря? // Вестник МГТУ. Т. 1. № 2. 1998. С. 121-140.

6. Сорохтин О.Г. Жизнь Земли. М.-Ижевск: Изд-во НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика»; Институт компьютерных исследований, 2007. 452 с.

7. Сорохтин О.Г., Ушаков С.А. Глобальная эволюция Земли. М.: Изд-во МГУ, 1991. 446 с.

8. Хаин В.Е. Тектоника континентов и океанов (год 2001). М.: Научный мир, 2001. 606 с.

9. Чумаков Н.М. Докембрийские тиллиты и тиллоиды. М.: Наука, 1978. 202 с.

ПУДОЖГОРСКОЕ БЛАГОРОДНОМЕТАЛЛЬНОЕ ТИТАНОМАГНЕТИТОВОЕ МЕСТОРОЖДЕНИЕ (КАРЕЛИЯ)

Н.Н. Трофимов, А.И. Голубев
Институт геологии Кар НЦ РАН, г. Петрозаводск, e-mail: trofimov@krc.karelia.ru

Пудожгорское месторождение комплексных Ti-V-Fe руд, с совмещенной Au-Pt-Pd минерализацией, является уникальным мировым объектом, относится к новому рудно-формационному золото-платинометальному титаномагнетитовому типу. Запасы и ресурсы титаномагнетитовой руды собственно Пудожгорского месторождения и интрузива в целом оцениваются на уровне 1 млрд. т, а благородных элементов в руде – Pd, Pt и Au в 700 т. Последнее позволяет отнести его к категории суперкрупных объектов.

Руды Пудожгорского месторождения, как комплексное сырье, содержат следующие, технологически доказанные, извлекаемые элементы в порядке их значимости: Ti, V, Fe, Pd, Pt, Au, Cu и Ag. Запасы руды, подсчитанные по промышленным категориям, составляют 316,7 млн. т при содержании Fe – 28,9%, TiO_2 – 8,14 %, V_2O_5 – 0,43 %; меди в руде – 411,7 тыс.т. Ресурсы БЭ в руде по категории P_1 – 294 т при содержании Σ Pd+Pt+Au равной 0,928 г/т. По содержанию основного элемента – титана оно уступает лишь двум месторождениям: Куранахскому, Амурская обл. (14,2 % TiO_2) и Гремяха-Вырмес, Мурманская обл. (12,4 % TiO_2) [1], но по качеству руд (содержанию вредных примесей) превосходит все находящиеся на государственном балансе месторождения, характеризуясь самыми низкими содержаниями S и P (металлургическое производство) и красящими оксидам – Cr_2O_3, MnO, P_2O_5 (лакокрасочное производство).

Месторождение приурочено к пологопадающему (10-15˚) пластовому интрузиву кварцевых долеритов, мощностью 100-140 м, протяженностью более 25 км. Он имеет в плане лентовидное строение, внедрен в жесткую гранито-гнейсовую раму в условиях растяжения по трещинам отрыва [6]. Интрузив контрастно дифференцирован (рис. 1, 2), относится по классификации Ю.А. Кузнецова (1989) к трапповой толеит-базальтовой формации. Его U-Pb возраст 1984±8 млн. лет [7].

Благороднометалльное титаномагнетитовое оруденение приурочено к титаномагнетитовому горизонту, занимающему строго определенное положение в разрезе интрузива в 20-25м от его подошвы (рис. 1). Средняя мощностиь горизонта 20-25 м, рудного пласта в нем – 15 м. Средний минеральный состав первичного парагенезиса: титаномагнетит (TiO_2 – 19,9 %; V_2O_5 – 1,45 %; FeO – 73,8 %); авгит (Wo38 Fs23 En39), плагиоклаз (44,2 – 67,0 An). Плагиоклаз частично замещен эпидот-цоизитовым агрегатом (в кровле альбитизирован), пироксен амфиболизирован – в кровле горизонта полностью, в подошве – слабо. Амфибол представлен железистыми разновидностями – ферророговой обманкой и ферроактинолитом.

Титаномагнетитовые руды средне-, густовкрапленные с содержанием tmt 30-60 %. Структуры распада субмикроскопические (рис. 3), при обогащении выделяется только титаномагнетитовый концентрат. Титаномагнетиты рудного горизонта в кровле (слой № 1) интенсивно лейкоксенизируются (рис. 3), происходит привнос кальция

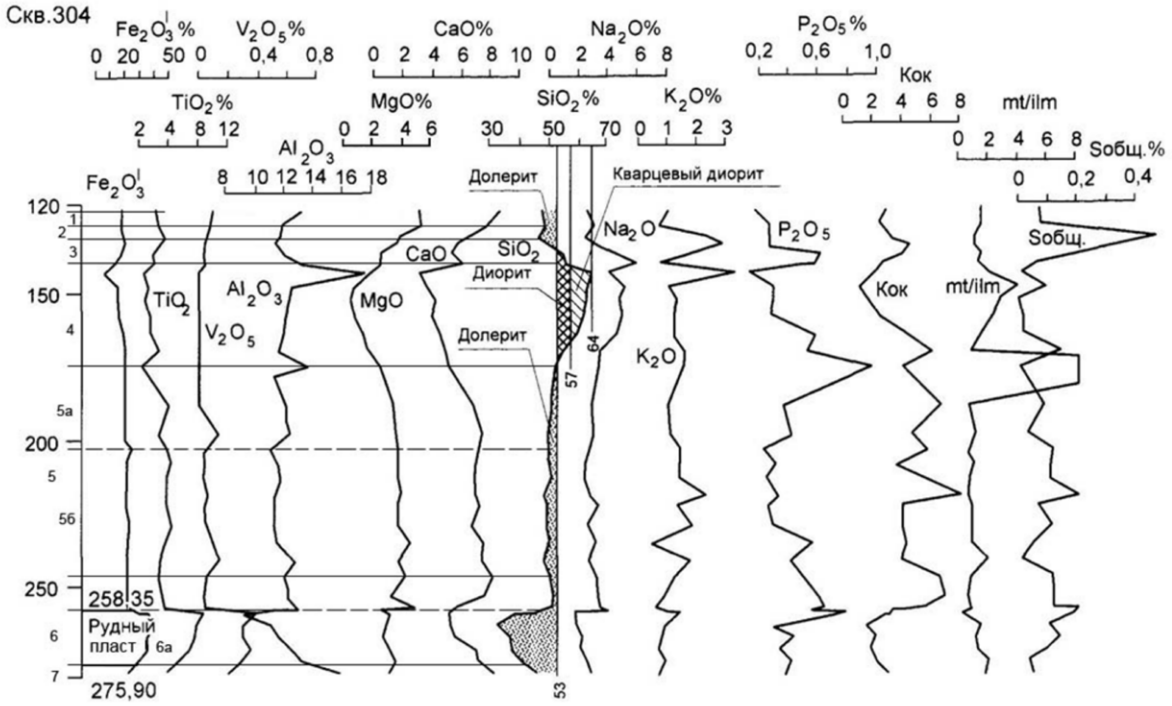


Рис. 1. Дифференцированное строение Пудожгорского интрузива и распределение основных породообразующих оксидов (скв. 304). 1 – эндоконтактовый слой; 2 – слой верхних долеритов; 3 – такситовый горизонт; 4 – гранофировый горизонт; 5 – надрудный горизонт (5а – верхний слой, 5б – нижний слой); 6 – рудный горизонт (6а – рудный пласт); 7 – подрудный горизонт.

и частично титана, вынос железа и ванадия. В подрудном горизонте при неполной лейкоксенизации tmt содержание Ti и V не меняется (табл. 1). В руде между Fe, Ti, V, плотностью и магнитной восприимчивостью пород существует корреляционная зависимость (рис. 4). Генезис оруденения ликвационный. Золото-платинометалльная минерализация совмещена с титаномагнетитовой, контролируется сульфидным парагенезисом cpy, cpy+bo и является автометасоматической. На БЭ детально исследованы три скважины, среднее содержание по которым составляет 928 мг/т при средней мощности 11,3 м (табл. 2). Содержание суммы БЭ подрудного горизонта – 89 мг/т сопоставимо со средним содержанием их в исходном расплаве – 80 мг/т. В диоритовой зоне концентрации AU, Pt и Pd на уровне чувствительности пробирного анализа.

Таблица 1. Состав титаномагнетита рудного и подрудного горизонтов.

Количество анализов	Содержание компонентов, масс.%								
	TiO_2	V_2O_5	FeO	Al_2O_3	SiO_2	MnO	MgO	CaO	ZnO
Титаномагнетитовый горизонт, кровля (слой № 1)									
17	27,4	0,57	25,4	2,75	24,9	-	0,33	19,7	-
Рудный пласт (слой №2, 3)									
124	19,5	1,45	73,8	2,18	2,12	0,13	0,41	0,18	0,05
Подрудный горизонт									
16	20,3	1,47	66,8	1,57	5,51	0,53	0,20	3,41	-

Согласно рудно-формационной классификации оруденение относится к оксидному малосульфидному типу. Содержание сульфидов меди в среднем – 0.5%. Горизонт является концентратором рудных элементов (табл. 3), но содержание их ничтожно, так как исходный расплав был истощен по Ni, Co, Cr. [5].

Руды технологически изучены, легко обогатимы, БЭ извлекаются из хвостов в медно-сульфидный концентрат [2]. Институтом ИМЕТ РАН разработана экономически рентабельная энергосберегающая технология непрерывного двухстадийного (восстановление – электроплавка) электротермического передела титаномагнетитового концентрата. Месторождение может отрабатыватся карьером. Срок окупаемости капитальных вложений – 5лет при годовой добыче руды 7 млн. т.

Работа выполнена при финансовой поддержке Программы 14 Президиума РАН «Научные основы эффективного природопользования, развития минеральных ресурсов, освоения новых источников природного и технического сырья».

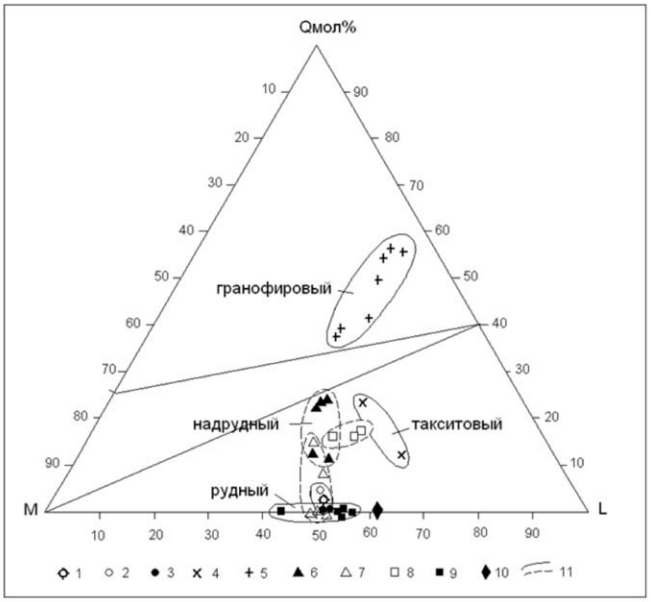


Рис. 2. Химический состав дифференциатов интрузива по скв. 304 на диаграмме П. Ниггли. 1 – зона закалки; 2 – верхний эндоконтакт; 3 – слой верхних долеритов; 4 – такситовый горизонт; 5 – гранофировый горизонт; 6-7 – надрудный горизонт (6 – верхний слой, 7 – нижний слой); 8-9 – титаномагнетитовый горизонт (8 – слой № 1, убогие руды; 9 – слой № 2, 3, рудная залежь); 10 – подрудный горизонт; 11 – области распространения.

Таблица 2. Средние содержания благородных элементов в рудной залежи и ее обрамлении.

№ скважины	Интервал, м	Количество анализов	Содержание БЭ мг/т				Соотношение Pd/Pt
			Pt	Pd	Au	Сумма БЭ Pt+Pd+Au	
Рудная залежь (слой 2, 3)							
275	79,,8-91,5	12	265	630	238	1133	2,38
360	77,0-87,5	13	133	383	191	707	2,88
376	165,0-177,0	13	128	303	542	973	2,37
Среднее арифм.		38	173	434	321	928	2,51
Соотношение БЭ			18,6%	46,8%	34,6%	100%	
Кровля титаномагнетитового горизонта (слой 1)							
Среднее арифм.		8	11	47	13	71	
Подрудный горизонт (кровля)							
Среднее арифм.		7	19	47	23	89	2,47

Таблица 3. Среднее содержание рудных элементов-примесей в рудном пласте.

№ скважины	Интервал	Кол-во анализов	Среднее содержание окислов, мас.%					Содержание Cu, %
			Cr_20_3	Co0	Ni0	Cu0	Zn0	
275	79,8-91,5	13	0,010	0,019	0,028	0,290	0,039	0,23
360	76,6-87,5	14	0,006	0,015	0,022	0,210	0,040	0,17
376	165-177	13	0,006	0,013	0,017	0,171	0,036	0,14
Среднее по р.з.		40	0,007	0,016	0,023	0,218	0,038	0,174

Список литературы

1. Быховский Л.З., Масловский П.А., Тигунов Л.П. Проект крупномасштабного производства пигментного диоксида титана в России на базе Куранахского месторождения // Минер. ресурсы России. Экономика и управление. 2004. № 3. С. 55-60.

2. Голубев А.И., Трофимов Н.Н., Петров С.В. и др. Благороднометальная минерализация титаномагнетитовых руд Пудожгорского месторождения: технологическая характеристика, минералогия // Геология и полезные ископаемые Карелии. Вып. 4. Петрозаводск: Изд-во КарНЦ РАН, 2001. С. 48-53.

3. Еселев Я.Х., Солодкая Р.И., Егорова Н.А. Отчет о геологоразведочных работах на Пудожгорском месторождении титаномагнетитов и геолого-поисковых работах на восточном побережье Онежского озера в Медвежьегорском и Пудожском районах Карело-Финской ССР за 1950-51 гг. 1952ф. Фонды КПСЭ № 451.

4. Кузнецов Ю.А. Главные типы магматических формаций. Н.: Наука, 1989. 394 с.

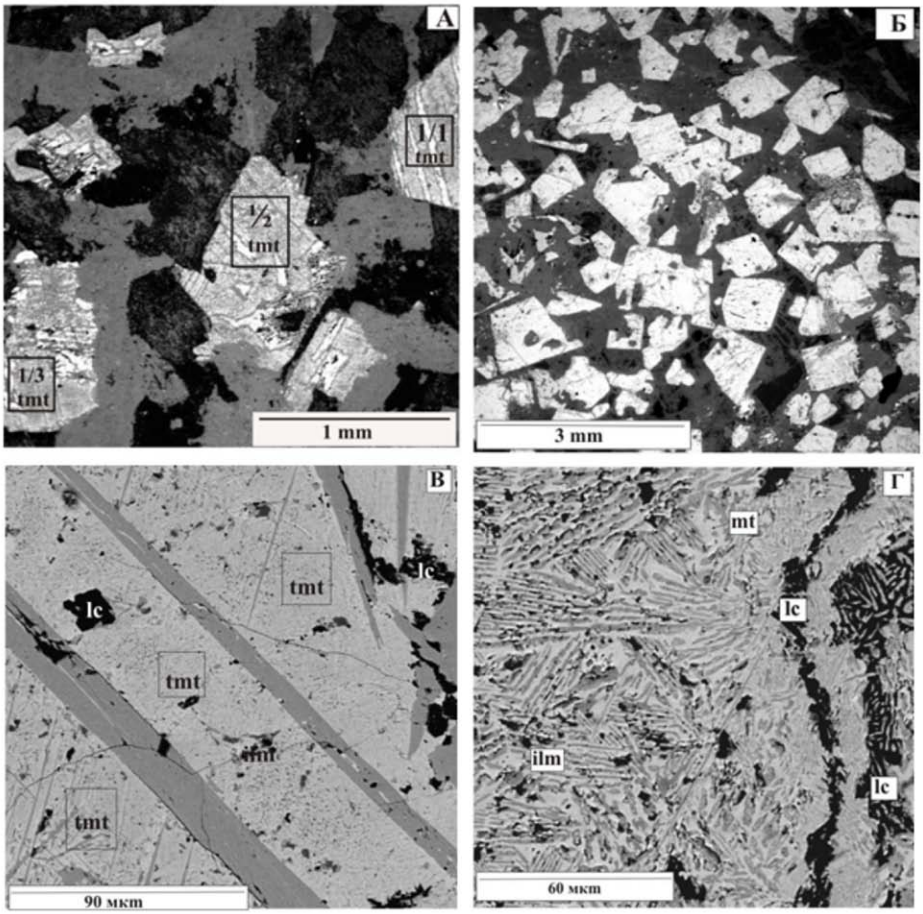


Рис. 3. Вкрапленная текстура титаномагнетитовой руды (А, Б); структура идиоморфнозернистая (Б) и распада твердых растворов: В – пластинчатая, Г – сноповидная. Интенсивная лейкоксенизация (tmt) в кровле титаномагнетитового горизонта (слой №1) (А).

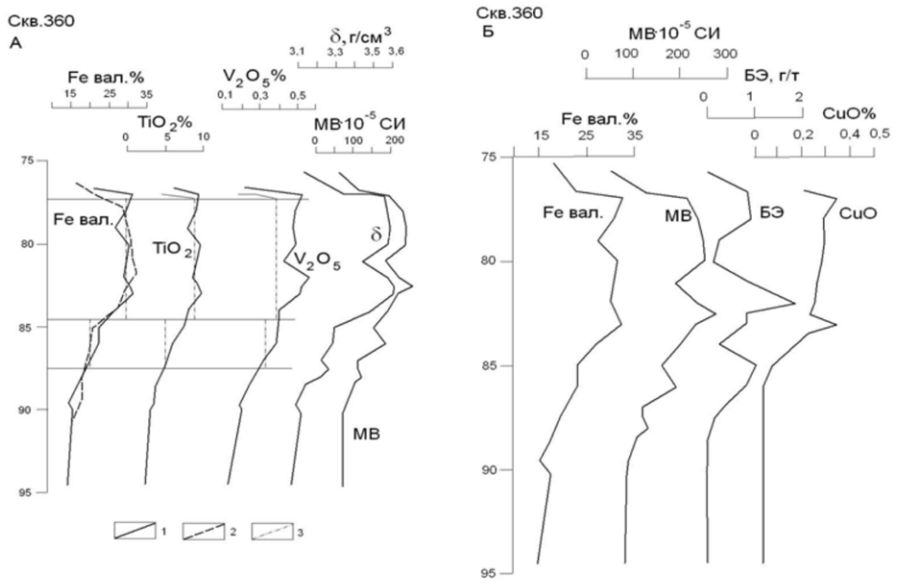


Рис. 4. Благороднометалльно-титаномагнетитовый горизонт. Скв. 360. Связь физических свойств пород и содержаний рудных компонентов. 1 – рядовые пробы (ИГ КарНЦ РАН); 2 – рядовые пробы (Еселев и др., 1952ф); 3 – объединенные пробы (Еселев и др., 1952ф).

5. Трофимов Н.Н., Голубев А.И., Смирнова Н.К. Специфика исходного расплава и состав железо-титановых окисных минералов Пудожгорской интрузии // Геология и полезные ископаемые Карелии. Вып. 1. Петрозаводск: Изд-во КарНЦ РАН, 1998. С. 35-42.

6. Трофимов Н.Н., Логинов В.Н. Эвапориты или флюидизатно-эксплозивные образования восточного Прионежья? // Геология и полезные ископаемые Карелии. Вып. 8. Петрозаводск: Изд-во КарНЦ РАН, 2005. С. 75-81.

7. Филиппов Н.Б., Трофимов Н.Н., Голубев А.И. и др. Новые геохронологические данные по Койкарско-Святнаволокскому и Пудожгорскому габбро-долеритовым интрузивам // Геология и полезные ископаемые Карелии. Вып. 10. Петрозаводск: Изд-во КарНЦ РАН, 2007. С. 49-68.

Технологическая минералогия

РЕНТГЕНОЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ СВОЙСТВА ФТОРИСТЫХ СОЕДИНЕНИЙ ЦИРКОНИЯ, ДОПИРОВАННЫХ Ag(I) ИЛИ Ce(III)

Н.Н. Борозновская[1], М.М. Годнева[2]
[1]Томский государственный университет, г. Томск, e-mail: bnn@asd.iao.ru
[2] Институт химии и технологии редких элементов и минерального сырья КНЦ РАН г. Апатиты, e-mail: motov@chemy.kolasc.net.ru

Люминесценция искусственных аналогов минералов широко используется для создания люминофоров [1]. В частности, фториды, BaFCl, иодиды NaI, KI и CsI [2] используются для визуализации рентгеновского изображения. Многие соли, содержащие оксоанионы переходных d-элементов: вольфраматы, ванадаты, танталаты и т.д. – способны к интенсивной люминесценции, не связанной с примесями [2, 3]. Известна люминесценция собственных дефектов в ряде силикатов и оксидов, содержащих в своем составе элементы подгруппы титана [3]. Ранее авторами исследованы люминесцентные свойства синтезированных аналогов фтористых минералов циркония [4]. Ряд фтористых соединений циркония (с чрезвычайно интенсивной широкополосной люминесценцией в УФ-диапазоне) предложен в качестве исходного материала для люминофоров. В частности, к этому ряду отнесены соединения типа M_2ZrF_6 (M = K, Rb, Cs). К центрам свечения, отвечающим за люминесценцию этих соединений при рентгеновском возбуждении, отнесены собственные дефекты анионной составляющей, т.е. возбужденное состояние фтора (F^*). Представляло интерес пролегировать эти соединения добавками таких элементов, которые могли бы изоморфно войти в структуру на место катиона и создать дополнительный активаторный центр люминесценции. В качестве легирующих (или допирующих) добавок было решено ввести Ce(III) и Ag(I), известные своими люминоформными свойствами в УФ-диапазоне.

Процесс легирования заключался в следующем. В условиях образования того или другого соединения [5] в растворы циркония вводили Ce(III) до добавления фторидной составляющей. Например, K_2ZrF_6 получен следующим образом: в раствор дисульфата циркония при комнатной температуре вводили $Ce_2(SO_4)_3 \cdot 8H_2O$ или $AgNO_3$. Раствор перемешивали. Затем добавляли KHF_2. Полученную смесь выдерживали в течение ~7-10 суток. Осадок отфильтровывали, промывали водой, спиртом с водой (1:1), спиртом и высушивали на воздухе. Содержание допирующей добавки в образцах составляло 0.1-0.5 ppm Ag(I) или 10-200 ppm Ce(III) по отношению к Zr(IV).

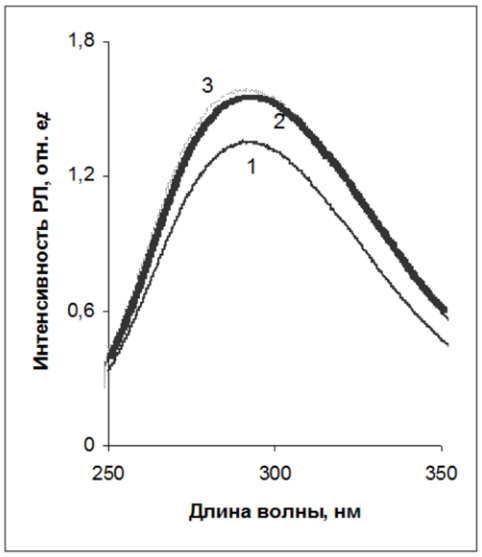


Рис. 1. Спектры РЛ K_2ZrF_6 с Ag (I). Добавка Ag^{+1}, ppm: 1 – 0.1, 2 – 0.2, 3 – 0.5.

Наиболее результативным оказалось допирование для соединения K_2ZrF_6. Это объясняется более благоприятным вхождением Ce и Ag на место K, нежели на место Rb и Cs. При вхождении ионов Ag в структуру K_2ZrF_6 на место калия образуется дополнительный активаторный центр излучения Ag^+, что приводит к наложению спектров излучения Ag^+ и F^* и появлению довольно широкой и интенсивной полосы излучения с максимумом 291-292 нм, незначительно смещенной в коротковолновую область по сравнению с чистым K_2ZrF_6, для которого наблюдается максимум при 320 нм и интенсивность равна 0.510 отн. ед. (рис. 1).

Большое разнообразие спектрального состава излучения наблюдается в K_2ZrF_6 при рентгеновском возбуждении после допирования соединения добавками с различным содержанием Ce (рис. 2).

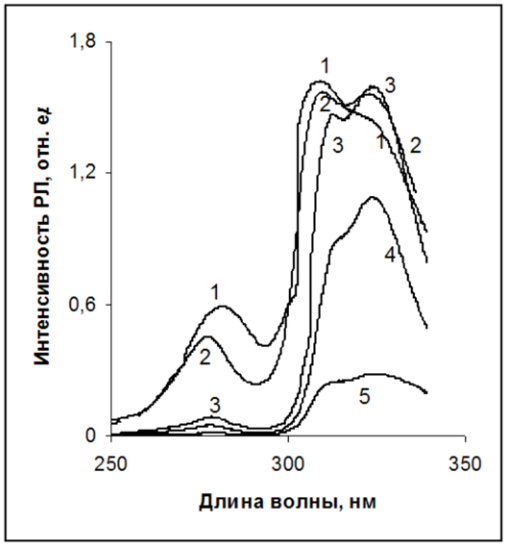


Рис. 2. Спектры РЛ K_2ZrF_6 с Ce(III). Добавка Ce^{+3}, ppm: 1 – 1, 2 – 10, 3 – 50, 4 – 150, 5 – 200.

Сложность спектра обусловлена наличием нескольких полос излучения. За люминесценцию в данном случае ответственны как собственные дефекты анионной составляющей с максимальным излучением на 276- 281 нм, так и примесные ионы Ce^{3+} с характерной двойной полосой излучения в спектральном диапазоне длин волн 308-325 нм. Из рисунка видно, что РЛ собственных дефектов закономерно падает с увеличением концентрации Ce(III). Интенсивность излучения цериевых полос так же активно убывает с увеличением концентрации Ce(III). Особенно это заметно после введения 50 ppm Ce(III) и выше. По-видимому, при концентрации Ce в данном соединении более 10 ppm при рентгеновском возбуждении начинает активно

действовать концентрационное тушение. Введение самых незначительных концентраций легирующих добавок (1 ppm) приводит к образованию дополнительного активаторного центра, что при таких незначительных концентрациях не препятствует и проявлению собственной УФ-люминесценции, увеличивая общий спектральный диапазон высвечивания и суммарную интенсивность РЛ. Все выше изложенное дает основание полагать, что данное соединение, допированное добавками Ag и Ce в количествах, не приводящих к концентрационному тушению и гашению собственной люминесценции, может быть использовано для преобразования рентгеновского изображения в ультрафиолетовое.

Список литературы

1. Гунн Маньлин, Чжао Вэй, Фу Гопин // Физика, химия и технология люминофоров. Ставрополь: Изд.-во Всес. НИИ люминофоров и особо чистых веществ, 1990. № 38. С. 98-105.

2. Гурвич А.М. Рентгенолюминофоры и рентгеновские экраны. М.: Атомиздат. 1976. 153 с.

3. Гурвич А.М. // Физика, химия и технология люминофоров. Ставрополь: Изд-во Всес. НИИ люминофоров и особо чистых веществ, 1990. № 38. С. 106-112.

4. Годнева М.М., Мотов Д.Л., Борозновская Н.Н. и др. Синтез фтористых соединений циркония (гафния) и их рентгенолюминесцентные свойства // Журнал неорганической химии. 2007. Т. 52. № 5. С. 725–730.

5. Годнева М.М., Мотов Д.Л. Химия подгруппы титана: сульфаты, фториды, фторосульфаты из водных сред. М.: Наука, 2006. 302 с.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ МИНЕРАЛОГИЯ ГРАНАТОВЫХ АМФИБОЛИТОВ БЕЛОМОРСКОГО ПОДВИЖНОГО ПОЯСА КАРЕЛИИ

Т.П. Бубнова
Институт геологии КарНЦ РАН, г. Петрозаводск

Гранат – распространенный породообразующий минерал различных пород Беломорского подвижного пояса. Значительные содержания граната в амфиболитах предопределили изучение минералого-технологических характеристик и возможности их обогащения. Помимо того, что гранат является камнесамоцветным сырьем, он активно используется в абразивной промышленности. Около 80% его приходится на потребление в качестве абразивного материала (шлифпорошки, песко- и водоструйная резка).

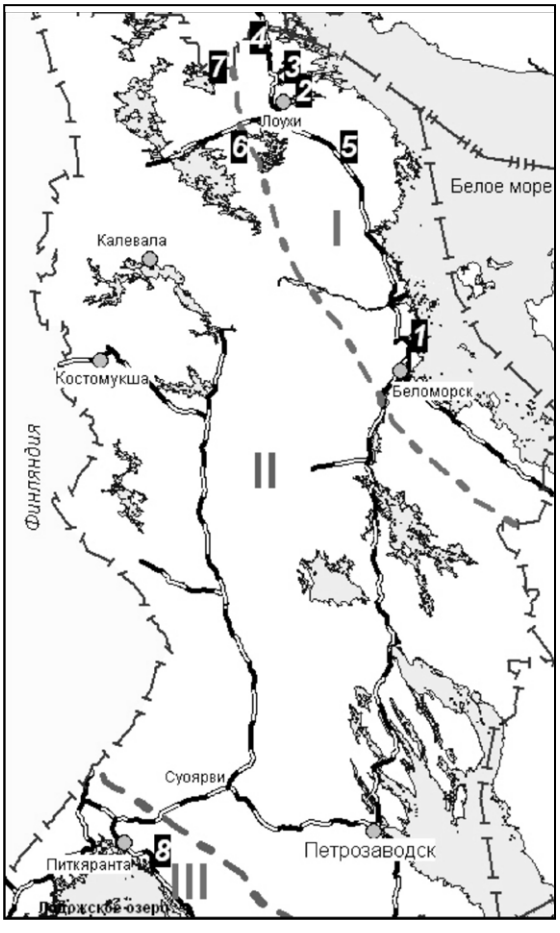


Рис. 1. Схема расположения месторождений и проявлений промышленного граната на территории Карелии:
1 – Шуерецкая группа;
2 – Западная Плотина;
3 – Левин Бор;
4 – Нигрозеро;
5 – Энгозеро;
6 – Высота-181;
7 – Унияpви;
8 – Кительское.

Значительные содержания граната в амфиболитах предопределили изучение минералого-технологических характеристик и возможности обогащения этих пород. Все изучаемые объекты (Левин Бор, Нигрозеро, Энгозеро, Высота-181) расположены в Лоухском районе Карелии, в пределах Беломорского Подвижного Пояса или на границе сочленения его с Карельским Кратоном (Высота-181). Исследование обогатимости амфиболитов выполнялось в разное время, с различной степенью детальности в лаборатории геологии, технологии и экономики минерального сырья Института геологии Карельского НЦ РАН.

Технологическая минералогия имеет дело с изучением типоморфных особенностей минералов, представленных не только в качественном, но и в количественном выражении с

целью рассмотрения геологического объекта (месторождения) в плане его последующего промышленного освоения [1]. Среди факторов, непосредственно влияющих на технологический процесс, в первую очередь проанализирован состав пород (табл. 1, 2).

Таблица 1. Минеральный состав технологических проб амфиболитов.

Объект	Содержание минералов, %					Размер зерен граната, мм	Часто встречаемые включения в гранате
	Grt	Amf	Bt	Qtz	Pl		
Левин Бор	16,49	55,40	0,50	24,00	2-4	0,6-4,5	Кварц, биотит, кианит, амфибол, плагиоклаз, эпидот
Нигрозеро	23,50	41,70		18,3	16,55	0,5-8	Кварц, плагиоклаз
Энгозеро	23,41	40,90	2,32	33,35		0,5-17 50-150	Кварц, биотит, хлорит, ильменит, рутил, плагиоклаз
Высота-181	13,75	67,70	0,46	12,20	5,00	1-10	Кварц, мусковит, биотит, амфибол, хлорит, ильменит

Таблица 2. Химический состав амфиболитов и гранатов.

Объект	Содержание оксидов, %										
	SiO2	Al_2O_3	TiO_2	$FeO+Fe_2O_3$	MnO	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	H_2O	ппп
исходная порода											
Левин Бор	49,83	14,98	1,22	13,44	5,80	0,24	9,41	2,32	0,62	0,20	1,43
Нигрозеро	51,40	14,37	1,16	15,54	1,19	5,29	10,31	2,46	0,52	0,02	1,29
Энгозеро	49,48	15,80	0,97	11,96	0,23	5,40	9,39	2,14	0,51	0,12	3,77
Высота	51,94	16,22	0,83	12,95	0,13	5,06	9,14	1,39	0,48	0,12	1,52
гранат											
Левин Бор	37,81 0,01	21,64 0,01	0,05 1,16	32,76 0,02	0,94 0,18	3,88 0,03	2,92 0,12				
Нигрозеро	38,37 0,01	21,70 0,01	0,13 0,72	23,05 0,04	1,02 1,22	2,89 0,28	12,13 0,09				
Энгозеро	38,30 0,01	22,12 0,01	0,11 0,33	25,68 0,03	0,88 0,20	4,21 0,15	8,71 0,05				
Высота	38,84 0,04	21,81 0,05	0,08 1,03	30,04 0,13	0,62 0,60	2,39 0,33	6,20 0,31				

Примечание: в числителе – средний показатель, в знаменателе – коэффициент вариации.

Все амфиболиты являются основными породами нормальной щелочности. При этом на проявлении Энгозеро продуктивная толща сложена ритмичнослоистой пачкой амфиболитов, амфибол-гранатовых кристаллосланцев и гранатитов (очевидно, на данном объекте метаморфизм сопровождался также метасоматическими процессами с образованием гигантозернистого, до 60 мм в диаметре, граната). Процессы метасоматоза накладываются и на проявлении Высота-181, где сложноскладчатая структура представлена перемежающимися гранатовыми амфиболитами, сланцами и гнейсами.

Изучение состава граната выполнено на сканирующем электронном микроскопе VEGA II LSH с анализатором INCA Energy 350 (условия анализа: ускоряющее напряжение - 20 kV, ток зонда – 350 pA). Все они отличаются большими значениями железистости, при небольшом интервале ее колебаний (табл. 3). Показатель кальциевости дает большой разброс. При этом для нигрозерского граната характерно стабильно повышенное содержание кальция в краевых зонах зерна (рис. 2, табл. 4).

Таблица 3. Компонентный состав гранатов.

Объект	Составляющие				Железистость	Кальциевость
	Pyr	Alm	Sp	Gros	f	$Ca/\sum R^{2+}$
Левин Бор	15,40	72,63	2,12	8,34	82,20 0,003	8,47 0,11
Нигрозеро	11,26	50,53	2,25	35,64	82,88 0,05	35,40 0,08
Энгозеро	16,36	55,95	1,94	24,38	77,14 0,04	24,61 0,07
Высота-181	9,47	66,65	1,39	17,67	87,50 0,05	18,02 0,27

Примечание: железистость $f=Fe/(Fe+Mg)\times100$; кальциевость $Ca/(Ca+Fe+Mg+Mn)\times100$. В числителе – средний показатель, в знаменателе – коэффициент вариации.

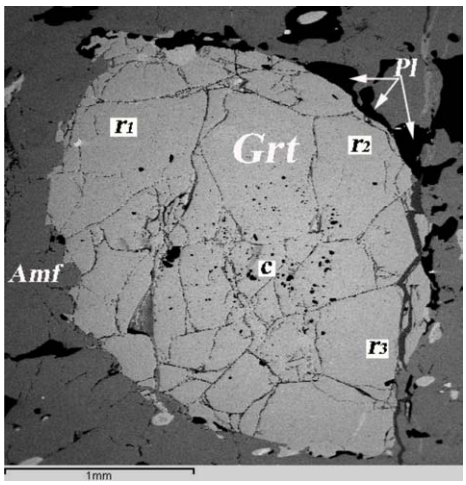


Рис. 2. Амфиболит Нигрозеро (c, r_1, r_2, r_3 – точки измерения состава граната.

В целом, гранатовые амфиболиты лежат в поле устойчивости амфиболитовой фации, в области умеренных давлений. PT-условия метаморфизма: 450-750^{0}C, 5,5-6,4 кбар (табл. 5).

Увеличение температур метаморфизма приводит к повышению альмандиновой составляющей в гранате. В отдельных шлифах Энгозеро и Левин Бор наблюдаются реликтовые зерна пироксена, который частично замещается амфиболом (рис. 3-а), а иногда и реликтовый амфибол, замещаемый эпидотом. Также встречается вторичный хлорит, развивающийся по гранату (рис. 3-б). Все это указывает на начало регрессионного изменения параметров метаморфизма при максимальной T = 600 ^{0}C, давлении около 5 кбар.

Таблица 4. Химический состав граната Нигрозеро.

Оксиды	Точки определения			
	c	r_1	r_2	r_3
FeO	24,16	24,45	23,38	23,88
MnO	3,70	0,50	0,92	0,81
MgO	1,78	2,50	2,40	2,18
CaO	10,43	13,05	13,37	13,24
X_{Mg}^{Grt}	0,10	0,15	0,15	0,14

Таблица 5. Магнезиальности граната, амфибола, биотита и температуры равновесий породообразующих минералов [2].

Объект	№ образца	X_{Mg}			T^{o}C
		Grt	Amf	Bt	
Левин Бор	1-98	0,17-0,18		0,57-0,62	550-600
Нигрозеро	27	0,10-0,23	0,47-0,57		450-630
Энгозеро	361	0,24-0,25	0,60-0,65		550-600
Высота-181	B-7	0,15-0,16	0,29-0,43		630-750
	B-10	0,08-0,10		0,31-0,36	610-620

Примечание: магнезиальность - X_{Mg} = Mg/(Mg+Fe+Mn)

В отличие от остальных, Энгозерский гранат в основной массе имеет нечеткие формы из-за интенсивного прорастания другими минералами и растащен на отдельные участки со значительным содержанием минеральных включений (рис. 4).

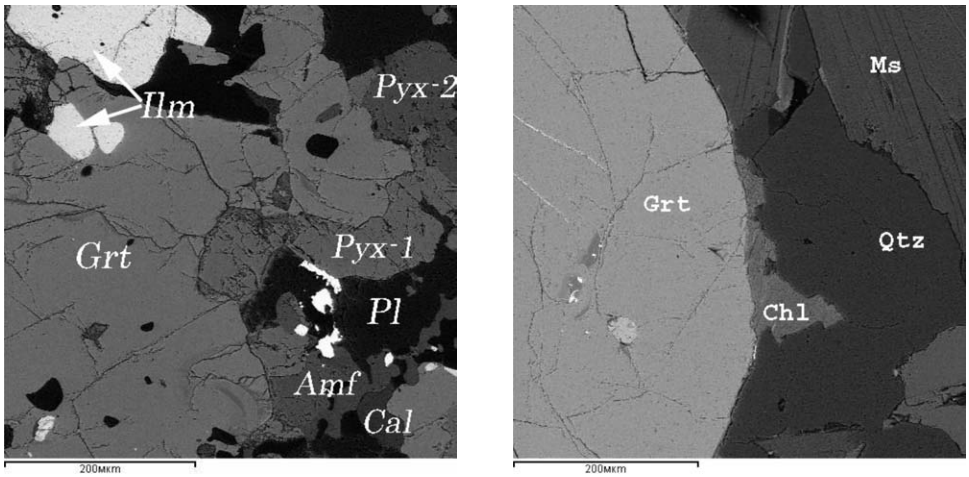


Рис. 3. Гранатовые амфиболиты Энгозеро (а), Левин Бор (б).

Содержание граната в амфиболитах достаточное, чтобы отнести их к промышленному типу, но при этом невелико для использования в качестве абразива без предварительного обогащения. Изучение свойств и состава граната показало необходимость измельчения исходной породы в процессе обогащения до крупности -1 мм.

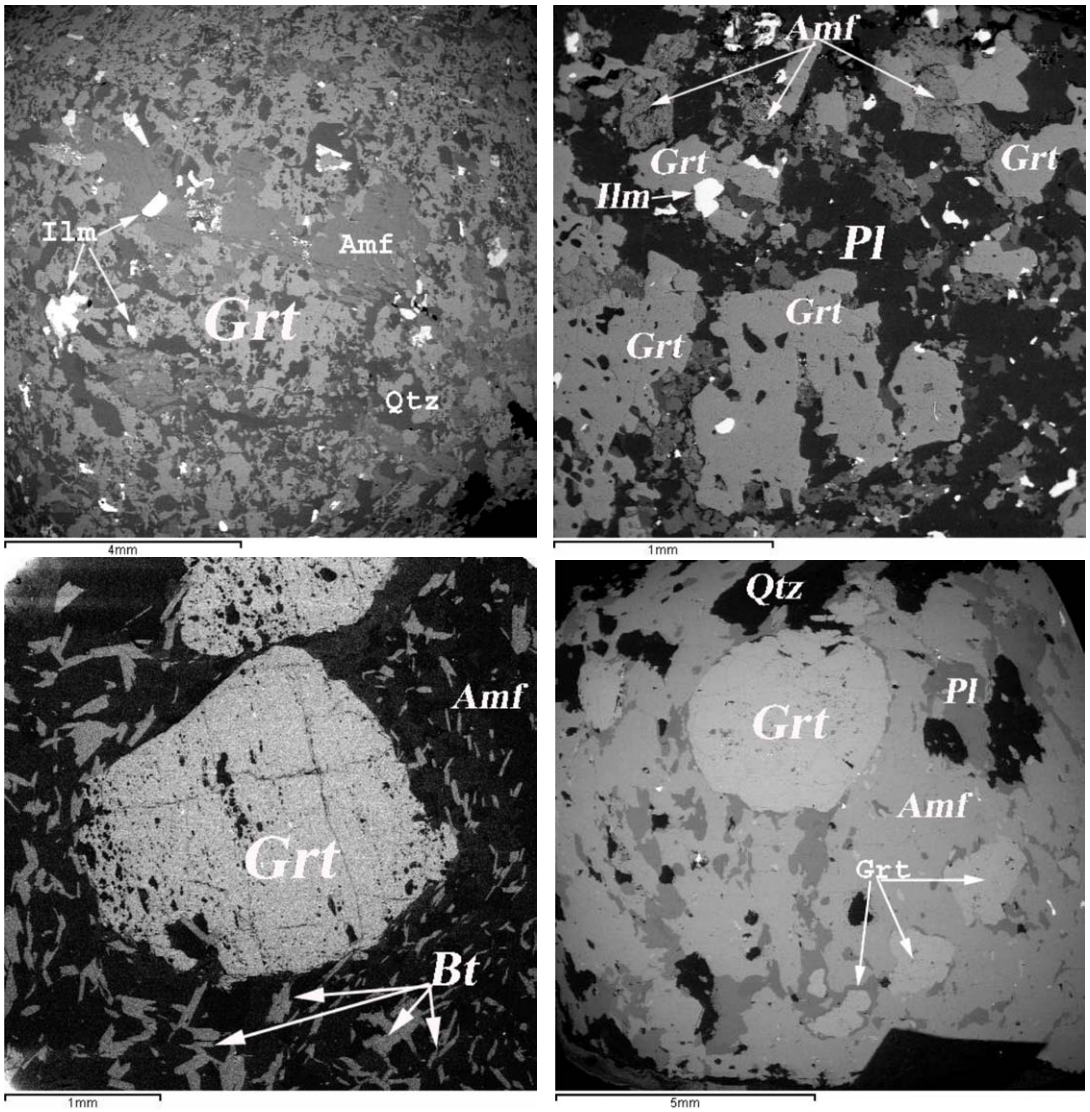


Рис. 4. Морфология граната: а, б – Энозеро; в – Высота-181; г – Нигрозеро.

Форма нахождения граната и присутствие минералов, близких по свойствам, используемым в технологии обогащения (амфибол), отрицательно сказываются на показателях обогащения (табл. 6). Гранатовый концентрат в значительной степени «загрязняется» амфиболом.

Таблица 6. Характеристика обогатимости и физические свойства граната.

Объект	Крупность концентрата, мм	Содержание граната, %	Извлечение граната, %	Плотность, р, г/см^3	Микротвердость, Н, кгс/мм^2
Левин Бор	0,25-0,50	29,64	35,63	3,84	1220
	0,063-0,25	26,78	55,13		
Нигрозеро	0,01-0,25	49,53	75,43	3,96	1484
	0,01-0,25	32,04	23,62		
Энгозеро	0,1-0,63	68,14	29,21	3,97	1576
Высота 181	0,01-0,5	60-62	11-12	3,96-4,12	1522

Тем не менее, имеются сведения о положительном опыте по выпуску смешанного гранат-амфиболового концентрата (Garnetblend) корпорацией Olympia Resources Ltd (Австралия, http://www.olympiaresources.com), предназначенного для пескоструйной чистки.

Список литературы

1. Изоитко В.М. Технологическая минералогия и оценка руд. С-Пб: Наука, 1997. 581 с.
2. Перчук Л.Л. Равновесия породообразующих минералов. М.: Наука, 1970. 391 с.

КАРБОТЕРМИЧЕСКОЕ ВОССТАНОВЛЕНИЕ КИАНИТА

Н.Н. Гришин, А.Г. Иванова, В.И. Максимов
Институт химии и технологии редких элементов и минерального сырья им. И.В. Тананаева КНЦ РАН, г. Апатиты

Кианитовые руды в мировой практике востребованы, как эффективное огнеупорное и керамическое сырье. В России месторождения Карело-Кольского региона составляют 99.4 % балансовых запасов дистен-силлиманитового сырья. В наиболее благоприятных условиях для освоения находится небольшое Хизоваарское месторождение кианитовых руд. Руды этого месторождения с содержанием кианита от 10% до 49% подвергались обогащению, получен концентрат с содержанием Al_2O_3 до 57% при извлечении 69%, из него разработаны и опробованы в промышленных условиях наполнители суспензий для точного литья, плавленолитые огнеупоры, муллитокремнеземистые и муллитоциркониевые огнеупоры для литейного производства [1].

Дополнительные возможности по использованию кианитов открываются после их предварительного обогащения по оксиду алюминия. С этой целью в работе изучалось карботермическое восстановление кианита для разделения присутствующих в них Al_2O_3 и SiO_2. Работа проводилась с сырым (масс.%: Al_2O_3 51.97; SiO_2 40.94; Fe_2O_3 2.58) и обожженным (масс.%: Al_2O_3 63.17; SiO_2 31,85; Fe_2O_3 2.6) кианитовым концентратом Хизоваарского месторождения, изученным ранее как традиционное огнеупорное сырье [1].

Формировали шихту из кианитового концентрата и углеродосодержащего восстановителя. Вели их совместный помол для обеспечения более плотного контакта частиц. Из подготовленного материала с добавлением поливинилового спирта для связки прессовали образцы под небольшим давлением (0.5 МПа), чтобы создать в них высокую пористость, для более свободной диффузии газов в объеме образца. Процесс восстановления проводили при температуре 1700^{0}C с различным временем выдержки в засыпке из углеродистого восстановителя. После обжига вокруг образцов в материале засыпки появлялись зеленоватого цвета пластинки, состоящие из смеси углерода с вновь образовавшимися фазами, состав которых представлен в табл. 1.

Таблица 1. Состав материала, оседающего на угле засыпки при восстановительном обжиге кианитового концентрата.

C св. %	Si св. %	SiO_2 %	SiC %
0,11	11,1	25,9	42,9

св - свободный

Появление такого налета является результатом реакций образующегося в процессе восстановления монооксида кремния с углеродом засыпки [2].

$$SiO_{газ} + 2C = SiC + CO_{газ} \quad (1)$$
$$2SiO_{газ} = SiO_2 + Si \quad (2)$$

При двукратном избытке углерода в шихте и обжиге при 1700^{0}C с выдержкой 1 час из-за избытка углерода и высокой концентрации самого SiO реакции (1) и (2) протекали непосредственно в образцах, а сами образцы получались с низкой механической прочностью, имели зеленоватый цвет и повышенное содержание кремния. Экспериментальные данные согласуются с предложенной ранее реакцией карботермического восстановления кианита, включающей предварительное образование муллита в процессе высокотемпературной обработки [2].

$$3Al_2O_3SiO_2(тв) = 3Al_2O_32SiO_2(тв) + SiO_2(тв) \quad (3)$$
$$3Al_2O_32SiO_2(тв) + SiO_2(тв) + 3C(тв) = 3Al_2O_3(тв) + 3SiO(г) + 3CO(г) \quad (4)$$

С целью создания условий для более свободной диффузии $SiO_{(г)}$ из образца перед измельчением в шихту вводились разрыхляющие добавки в виде карбоната аммония, сульфата аммония и опилок: образец 1 – кианит 100% + углерод 10%* + опилки 2%*; образец 2 – (кианит 91% + углерод 9%) + карбонат аммония 21,4%*; образец 3 – (кианит 91% + углерод 9%) + сульфат аммония 21,4%*; образец 4 – (кианит 91% + углерод 9%) + сульфат аммония 21,4%* + опилки 2%*(* - сверх 100%).

После восстановительного обжига в углеродистой засыпке при температуре 1700°C с выдержкой 1 час при максимальной температуре и времени подъема температуры 7,5 часов образцы отделялись от засыпки, измельчались в стаканах в течение 3 мин. и прокаливались в окислительной атмосфере при 700°C для удаления избыточного углерода. В табл. 1 представлены результаты по восстановительному обжигу таких образцов.

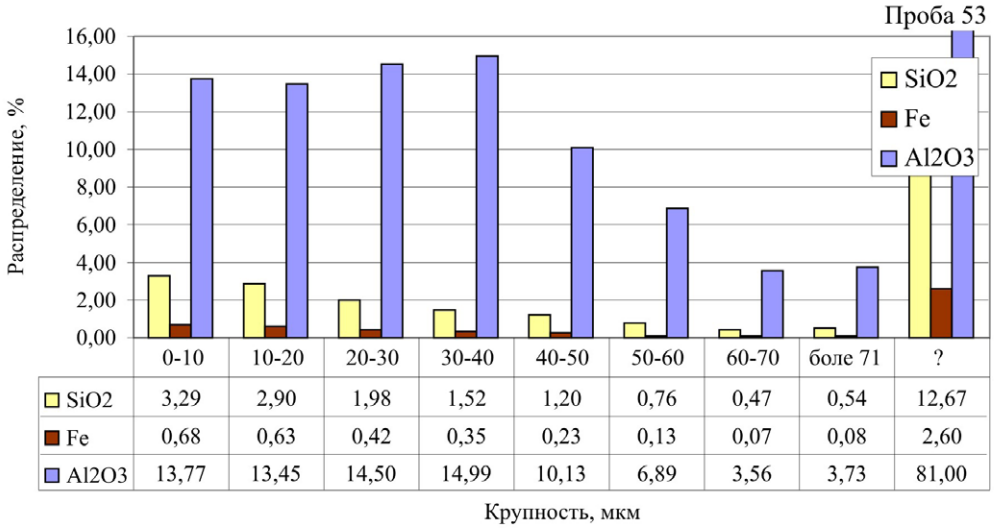
Химический анализ показал, что после восстановительного обжига содержание основных компонентов в обожженных образцах по сравнению с исходным кианитом изменилось. Содержание Al_2O_3 увеличилось с 50-60% до 80%, содержание SiO_2 уменьшилось в 2.5 раза, относительное содержание железа увеличилось до 3.6%. Это увеличение произошло как за счет потери общей массы образцов при восстановлении до 3.2%, так и в результате намола железа при измельчении.

Таблица 1. Минеральный состав образцов после восстановительного обжига и прокаливания по данным рентгенофазового анализа.

Образец	Al_2O_3-корунд %	$(Al_2SiO_2O)_{13}$-муллит %	SiO_2-кристобалит %	Полевой шпат %
1	60	25	10	5
2	50	35	8	5
3	70	18	7	5
4	67	20	8	5

В результате восстановительного обжига получен материал, который по содержанию Al_2O_3 и SiO_2 соответствует требованиям к высокоглиноземистым компонентам для производства огнеупоров марки МКП-72, однако содержание в нем Fe_2O_3 превышает, более чем в 2 раза, требуемое стандартное значение [3]. Если образцы 3 и 4 рассматривать как сырье для производства глинозема по методу Байера, то в них имеется превышение по содержанию кремнезема (12.4% вместо требуемых 2-8%), но благоприятным для технологии переработки является то, что в них наблюдается повышенное содержания глинозема (78-81% вместо требуемых 50-60%). По содержанию железа и кремнезема образцы 3 и 4 соответствуют высококремнистым маложелезистым бокситам, требующим последовательно-комбинированного метода переработки для получения из них глинозема металлургического. Распределение основных компонентов по классам крупности измельченного образца 3 представлено на рис. 1.

Как видно из приведенных на рис. 1 данных, доля оксида алюминия по отношению к оксиду кремния (Al_2O_3:SiO_2) уменьшается в мелких классах 0-20 мкм почти в два раза по сравнению с более крупными классами 20-60, но с учетом распределения всего материала по классам крупности, в мелкие классы 0-20 мкм попадает почти 50% SiO_2 и более 30% оксида алюминия. Несмотря на некоторое обогащение мелких классов по оксиду кремния, а крупных классов по оксиду алюминия, такое обогащение не может рассматриваться как эффективное из-за больших потерь в мелких классах основного целевого компонента Al_2O_3.



	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70	боле 71	?
SiO2	3,29	2,90	1,98	1,52	1,20	0,76	0,47	0,54	12,67
Fe	0,68	0,63	0,42	0,35	0,23	0,13	0,07	0,08	2,60
Al2O3	13,77	13,45	14,50	14,99	10,13	6,89	3,56	3,73	81,00

Рис. 1. Распределение основных компонентов по классам крупности измельченного образца 3.

Минералогический анализ, на примере образца 3 для класса крупности -71+20 мкм показал, что он состоит преимущественно из зерен корунда, что согласуется с данными химического анализа и рентгенофазовым анализом (табл. 1). Зерна корунда образуют сростки между собой и кварцем. Размеры включений кварца – 8-12 мкм. Свободных зерен кварца не обнаружено. В образце присутствует также металлическая фаза в виде отдельных частиц и примазок на минеральных зернах (рис. 2).

Минеральный состав и структура зерен в восстановленных образцах предоставляют возможность их дальнейшего обогащения. Гидроклассификация в аппарате Cyclosizer путем разделения на фракции по крупности методом осаждения в восходящем потоке жидкости позволяет увеличить содержание Al_2O_3 в отдельных фракциях до 84% при снижении содержания SiO_2 до 10% и железа до 2-3% с суммарным выходом обогащенных фракций менее 50%. Такое обогащение нецелесообразно. Методом мокрой магнитной сепарации из оборота выводится фракция объемом порядка 2% от очищаемой пробы с повышенным содержанием примесных по отношению к Al_2O_3 компонентов: Fe 16-20%, SiO_2 - 19%, что более целесообразно.

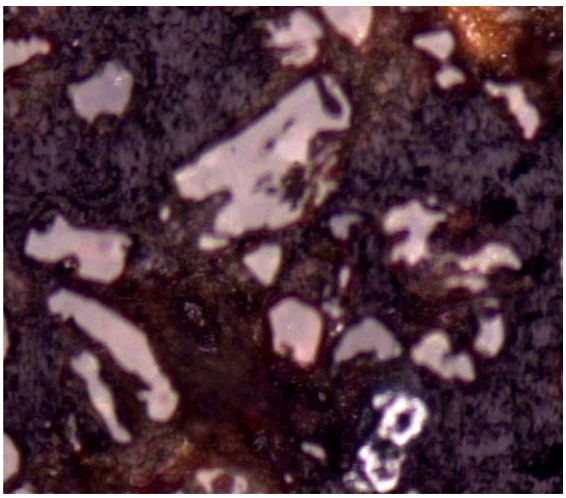


Рис. 2. Образец 3. Класс “-71+20 мкм”. Зерна корунда (1) и включения в него кварца (2) Металлические частицы (3, 4).

Таким образом, методом карботермического восстановления кианитового концентрата невысокого качества без дополнительного обогащения может быть получен основной сырьевой компонент для высокоглиноземистых огнеупоров марки МКП-72, либо прекурсор для глинозема металлургического последовательно-комбинированным методом. Дополнительная магнитная сепарация несколько повышает его качество, увеличивая содержание оксида алюминия в целевом продукте на 1-2%, не переводя его в другую категорию качества.

Список литературы

1. Кононов М.Е. Огнеупоры из минерального сырья Карело-Кольского региона. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 1994. С. 180.

2. Bechtold B.C., Culter I.B. Reaction of Clay and Carbon to Form and Separate Al_2O_3 and SiC // J. Am. Ceram. Soc. 1980. No 5-6. P. 71-275.

3. ГОСТ 24704-94. Изделия корундовые и высокоглиноземистые. Технические условия.

ПРЯМОЕ ВОССТАНОВЛЕНИЕ ЖЕЛЕЗА ИЗ РУД И КОНЦЕНТРАТОВ

Н.Н. Гришин[1], Ю.Н. Нерадовский[2], А.Г. Касиков[1], Е.Ю. Ракитина[1], Е.Э. Савченко[2]
[1]Институт химии и технологии редких элементов и минерального сырья им. И.В. Тананаева КНЦ РАН,
[2]Геологический институт КНЦ РАН, г. Апатиты

Чугун, получаемый в доменном процессе, загрязнен фосфором, серой и другими примесями, поступающими из исходного сырья и кокса, поэтому требуются дополнительные затраты на их удаление, к тому же дальнейшее развитие доменного производства сдерживается ограничениями в добыче коксующихся углей. С целью преодоления этих трудностей разработаны бездоменные процессы прямого восстановления железных руд, концентратов и железосодержащих отходов (DRI - Direct Reduced Iron): Corex, Midrex, Hotlink, Fastmet, Corex, ITmk3 и другие вариации DRI-процесса. В России технология освоена на Оскольском электрометаллургическом комбинате. Ранее ЦНИИЧермет им. И.М. Бардина разработана технология получения порошков железа путем восстановления железосодержащего сырья в присутствии щелочного агента, реализованная в НПО «Тулачермет» [1].

Технологии прямого восстановления являются экологически безопасными и позволяют использовать в качестве энергоносителя и восстановителя природный газ или некоксующиеся угли, которые подвергают газификации. Время восстановления снижается до десятка минут. DRI - процессы позволяют получать порошки с содержанием железа более 90%. Возможно получение металлизованных окатышей, горячепрессованных брикетов или непосредственно перерабатывать Hot DRI в электропечи. В настоящее время с использованием этих процессов в мире выплавляется порядка 50 млн. т стали.

Авторами разработана технология карботермического восстановления железосодержащих концентратов с получением порошка металлического железа. Развиваемый подход состоит в: изучении окислительно-восстановительных процессов в системах, содержащих природные оксиды железа, на нано- и микроуровне путем их визуализации и микрозондирования; проведении этих процессов под наблюдением до состояния, необходимого и достаточного для выделения в самостоятельные фазы целевых компонентов: железа и полезных оксидов (титана, магния, алюминия, ванадия и др.); быстром переводе системы в состояние эффективного протекания окислительно-восстановительных реакций; сопряжении окислительно-восстановительных процессов с генерированием восстановительного газа; максимальном использовании энергетических возможностей всего технологического цикла и реализации его энергетического потенциала в производстве электроэнергии для собственного и внешнего потребления.

Исходная химико-минералогическая система представляет собой набор подсистем, различающихся по химическому составу. Для наблюдения за превращениями исходных подсистем в процессах переработки исходного сырья в железо были минимизированы приемы технологической минералогии с привлечением оптической микроскопии с визуализацией исходных и полученных структур с разрешением 1 мкм и сканирующей микроскопии с микрозондовым химическим анализом с разрешением до 100 нм. Это позволило фиксировать стартовые дви-

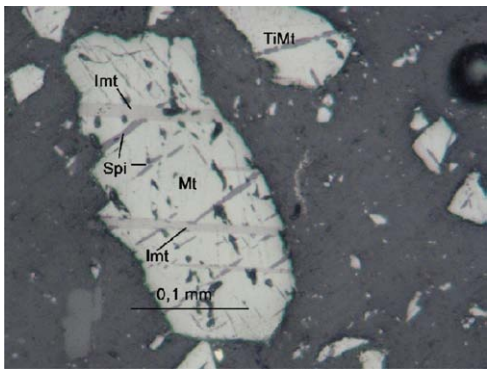


Рис. 1. См. текст.

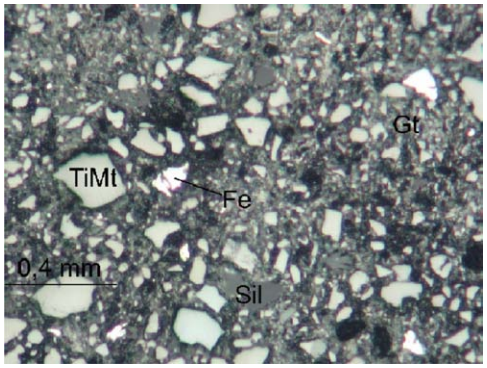


Рис. 2. См. текст.

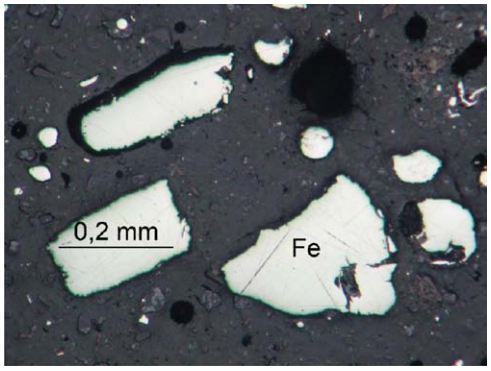


Рис. 3. См. текст.

жения подсистем на наноуровне и сопровождать протекающие превращения до требуемой степени преобразования микрофаз. Применимость развиваемого подхода к промышленным железооксидным концентратам продемонстрирована на примере титаномагнетитового концентрата ОАО «Апатит».

Шихта состава: титаномагнетитовый концентрат (масс.%: Fe_2O_3 32.0-37.0; FeO 36.0–45.0; TiO_2 14.5–16.5; P_2O_5 0.2–0.5; Al_2O_3 0.5–1.8; SiO_2 1.0–4.0; CaO 1.4–1.9; V_2O_5 0.3–0.5; MgO 0.4-0.9; MnO 1.6–2.0; Na_2O 0.3–0.9; K_2O 0.2–0.6), углеродистый восстановитель, щелочной агент – подвергалась совместному помолу, за счет чего обеспечивалось равномерное распределение компонентов шихты, лучший контакт зерен железосодержащего компонента, щелочного агента и восстановителя, и производилась частичная механоактивация компонентов. Большинство железосодержащих концентратов имеют схожий грансостав, масс.%: +0.10 мм 2.00-5.00; -0.10+0.071 мм 8.00-16.00; -0.071+0.04 мм 24.00-36.00; -0.04 мм 40.00-53.00 - , поскольку проходят стадию очистки флотационным способом.

На рис. 1 представлено зерно титаномагнетита, состоящее из магнетита (Mt – $FeOFe_2O_3$) – основной компонент, ильменита (Imt – $FeOTiO_2$) и благородной шпинели (Spi - $MgOAl_2O_3$). Видно, что ряд включений и границы перехода между фазами имеют наноразмеры.

В начальный период восстановления зародыши металлического железа (Fe) оказываются распределенными равномерно-хаотично и имеют размеры менее 200 нм. Ильменит частично остается неизмененным, частично переходит по данным рентгенофазового анализа в брукит (TiO_2), трансформирующийся при дальнейшем нагреве в рутил (рис. 2).

По мере дальнейшего протекания процесса восстановления частицы железа начинают укрупняться с образованием вытянутых структур с поперечными размерами 100-300 нм. При дальнейшем укрупнении частиц железа образуются его глобулы с поперечным размером до 300 мкм (рис. 3), которые могут быть отделены от невосстановленной оксидной матрицы методами обогащения руд.

Содержание железа в полученных такими методами порошках составляет порядка 97% Fe для титаномагнетита и 96.7% для железорудного концентрата Ковдорского ГОКа.

Нами изучен состав металлического железа на стадии его образования, причем размеры соприкасающихся различных форм составляют 1000, 100 нм и менее (рис. 4-7).

Таблица 1. Химический состав железа по данным электронного и рентгеноспектрального анализа.

№	Fe	Ti	V	Cr	Mn	Ni
1*	97,02	0,44	0,44	0,49	1,11	0,50
2	99,04	0,05	0,13	0,10	0,58	0,07
3	98,30	0,05	0,11	0,13	1,03	
4*	94,57		1,20	1,24	2,98	
5	97,62	0,35	0,06	0.03	0,34	0,05
6*	97,51	0,39	0,16		1,52	
7*	97,02	0,49	0,32		2,17	

* LEO-1450, нормализовано к 100%, 2,3,5 – Cameca MS-46. Фазы 1, 4, 7 содержат примесь C.

В табл. 1 приведены данные по микрозондовому анализу этих форм. Видно, что в состав железа входят в качестве микропримесей Ti, V, Cr, Ni, но основную примесь составляет марганец. Освободиться от этих примесей без более глубокого изучения процесса восстановления на наноуровне не представляется возможным.

Есть основания полагать, что разрабатываемый вариант Direct Reduction Iron процесса, будет превосходить по основным показателям известные технологии (Midrex, Corex, FINEX, HYL, Hotlink, ITmk3, Fastmet и др.), например, будет иметь в 2-3 раза меньшую материалоемкость. Срок окупаемости затрат на организацию произ-

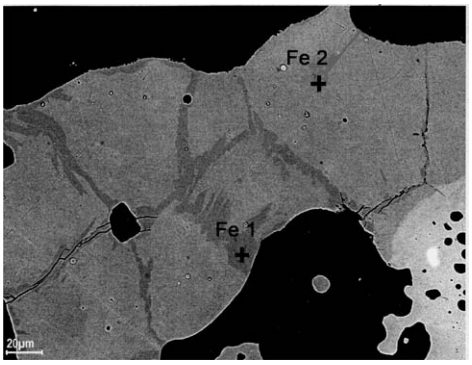


Рис. 4. См. текст.

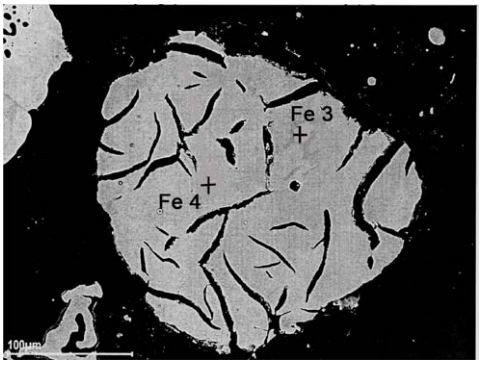


Рис.5. См. текст.

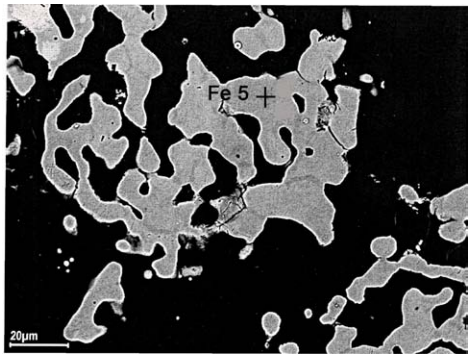


Рис.6. См. текст.

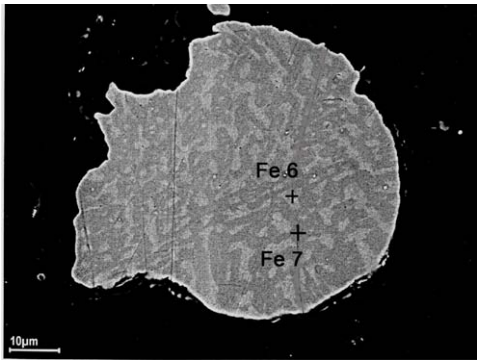


Рис.7. См. текст.

водства, рассчитанный исходя из переработки 500000 т в год титаномагнетита ООО «Апатит», составит 2 года. Ведется подготовка техзадания на разработку промышленного оборудования производительностью 1 млн т по исходному сырью.

Список литературы

1. Акименко В.Б. и др. Железные порошки. Технология, состав, структура, свойства, экономика. М.: Наука, 1982. С. 264.

ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ТЕХНОЛОГИЧЕКОЙ МИНЕРАЛОГИИ В ПРИМЕНЕНИИ К КВАРЦЕВОМУ СЫРЬЮ

Л.А. Данилевская
Институт геологии КарНЦ РАН, г. Петрозаводск

В последнее время технологическая минералогия получила широкое развитие. Благодаря трудам В.И. Ревнивцева, В.М. Изоитко, Б.И. Пирогова, О.Б. Дудкина и других были заложены основные принципы влияния на переработку руд геолого-минералогических факторов [7, 9, 11-14].

Принципы технологической минералогии в полной мере могут быть использованы и для кварцевого сырья. Важность исследований в данной области определяется необходимостью подбора оптимальных технологий обогащения сырья и возможностью прогнозирования качества кварцевых концентратов на стадии геолого-минералогического изучения. В данном случае под термином «кварцевое сырье» понимаются кварцсодержащие породы, как мономинеральные (жильный кварц, ядра и блоки пегматитового кварца – традиционные типы сырья), так и полиминеральные (кварциты, кварцсодержащие сланцы и т.п. – нетрадиционные типы сырья), которые могут рассматриваться как потенциальные источники получения кварцевых концентратов средней и повышенной чистоты (для получения плавочных и варочных сортов кварца, поликристаллического кремния и т.п.). При этом для данного типа сырья есть своя специфика, особенно это касается мономинеральных пород, где акцент делается не на выделении полезного компонента из породы на основе контрастных свойств разных минералов, а на его очистке от вредных примесей, к которым относятся минеральные (зернистые, пленочные), газово-жидкие и структурные примеси.

Одним из основных подходов технологической минералогии является объединение минералогических и технологических исследований минерального сырья, основанный на двойственной природе технологических

свойств минералов [12] - с одной стороны они связаны напрямую с генезисом минералов, а с другой стороны определяют изменчивость свойств минералов в процессах рудоподготовки и обогащения. Поэтому комплексный подход в изучении типоморфных свойств минералов и одновременном проведении технологических исследований является определяющим моментом в понимании особенностей поведения минералов и возможности управления их свойствами в технологических процессах с целью разработки оптимальных схем обогащения.

Данный комплексный подход базируется на *основных принципах*, которые были выделены Б.И. Пироговым [12], для составления общей геолого-технологической модели месторождения. Эти же принципы могут быть применены для исследования кварцевого сырья, учитывая его специфику и включая *специфические свойства кварца*, которые необходимо рассматривать:

1. ***Комплексное изучение всех минеральных ассоциаций в пределах месторождения.*** Для мономинеральных кварцевых пород – исследование типов минеральных включений, форм вхождения, характера срастаний и т.п.; для полиминеральных пород – изучение минерального парагенезиса, исследование свойств каждого минерала, возможностей извлечения, применения как конечного продукта с целью комплексной отработки месторождения.

Проведенные минералого-технологические исследования кварц-кианитовых сланцев месторождения Хизоваара и мусковитовых кварцитов месторождения Восточная Хизоваара (Северная Карелия) позволили оценить данные объекты как комплексные [5, 17]. Содержание кварца в данных породах составляет до 60%. Наряду с получением кианитового концентрата, и мелкоразмерного мусковита, возможно получение кварцевых концентратов различного назначения.

2. ***Выявление однородности рудного тела (выделение технологических типов, разновидностей), технологическое картирование.*** В пределах месторождений, как правило, может быть выделено несколько разновидностей кварца, которые в процессах обогащения могут вести себя по-разному, и могут быть выделены в разные технологические типы, пространственное оконтуривание которых позволит селективно добывать их, проводить раздельную технологическую переработку. Важным моментом является определение целесообразности выделения технологических типов и селективную их добычу, или объединение всех минералогических разновидностей в один технологический тип, что может быть достигнуто только комплексными геолого-минералогическими и технологическими исследованиями.

В качестве примера можно привести два различных объекта Карелии, на которых проводилось технологическое картирование: месторождение жильного молочно-белого кварца Фенькина-Лампи и крупное кварцево-жильное тело участка Меломайс. В результате геолого-минералогических исследований в пределах кварцевых тел выделено несколько разновидностей кварца, отличающихся по цвету, морфологии зерен, стуктурно-текстурным особенностям и т.п. Однако в результате технологических исследований было установлено, что только на месторождении Фенькина-Лампи данные разновидности существенно отличаются по технологическим свойствам и могут быть выделены в технологические типы [2, 5]. На участке Меломайс выделение технологических типов кварца не целесообразно, т.к. выявленные разновидности кварца не имеют определенной закономерности в распределении, а предварительное обогащение проб показало незначительные расхождения в технологических свойствах и содержании основных элементов-примесей [6].

3. ***Онтогенический подход, позволяющий характеризовать последовательность формирования минеральных агрегатов, индивидов, чтобы оценить эффективность раскрытия минеральных сростков.*** Для определения обогатимости кварцевого сырья очень важно исследование возрастных соотношений минералов. В процессе роста жильный кварц может наследовать породообразующие минералы вмещающих пород, которые, как правило, находятся внутри зерен кварца и являются трудно удалимыми. Это чаще всего зерна мусковита в виде мелкодисперсных включений, а также включения кальцита и эпидота. Особый случай – наличие тонких (<10 микрон) рутиловых включений. Чистые рутиловые иглы из-за более высокой по сравнению с кварцем температуры плавления (1835^{0}C и 1710^{0}C соответственно) остаются в виде включений и приводят к образованию пузырьков в стекле при перегреве расплава [18]. Такие рутиловые иглы практически не удалимы из кварца, в результате чего в кварцевых концентратах, полученных при обогащении перекристаллизованного, гранулированного кварца, образованного в условиях повышенных температур и давлений (эпидот-амфиболитовая фация метаморфизма кианит-силлиманитового типа) остаются повышенные содержания Ti. Высокие содержания K, Ca, иногда Mg в жильном молочно-белом кварце, образованном в условиях зеленосланцевой фации метаморфизма, в основном обусловлены мелкодисперсными включениями мусковита, кальцита, хлорита, эпидота [4].

Вторичные эпигенетические минеральные включения, образующиеся в процессе метаморфических преобразований, перекристаллизации кварца, концентрируются в межзерновом пространстве, или по микротрещинкам, трещинкам отдельности. Они довольно легко вскрываются при дроблении и удаляются в процессах обогащения. В частности, интенсивно минерализованный кварц участка Меломайс, где основными примесями являются мусковит и полевой шпат (плагиоклаз, микроклин), распределенные в основном по границам зерен кварца, после предварительного обогащения значительно очищается. В основном наблюдается уменьшение содержания в кварце Al, Fe и K [6].

4. ***Исследование типоморфных признаков и свойств кварца, включая специфические для данного вида сырья, определяющих его обогатимость.*** Важными характеристиками для оптимального подбора режимов рудоподготовки с целью наибольшего раскрытия сростков и уменьшения переизмельчения и потери полезного про-

дукта со шламами являются гранулометрический состав и прочностные свойства кварца. Они напрямую связаны с генезисом сырья. Кварц в пегматитах и силекситах характеризуется в основном равномернозернистой структурой с размерами зерен в среднем 4-7 мм. В кварцевых жилах зеленосланцевого комплекса проявлена гетеробластовая структура с вариациями размеров зерен от 0,1 мм до 2-3 см и более. Равномернозернистая структура и ровные границы зерен наблюдаются в гранулированном и метасоматитовом кварце. Размеры зерен в гранулированном кварце в среднем составляют 0,3-1 см, в кварц-кианитовых метасоматитах – 0,3-2,5 мм, в кварц-мусковитовых метасоматитах – 0,1-1 мм. Для кварцитов характерна порфировидная структура с равномернозернистой основной массой породы, довольно ровными границами зерен и размерами в среднем 0,1-0,4 мм. Порфиробласты составляют в среднем 10% породы, характеризуются ступенчатыми и зубчатыми границами зерен, размерами – 0,6-5 мм. Проведенные технологические исследования показали, что для блокового кварца пегматитов и силекситов, перекристаллизованного, гранулированного жильного кварца размер рабочей фракции может быть 0,1-0,4 мм или 0,1-0,5 мм, для вторично рекристаллизованного мелкозернистого кварца – 0,1-0,315 мм, для интенсивно минерализованного мелкозернистого кварца, кварц-кианитовых и кварц-мусковитовых сланцев, кварцитов – 0,1-0,315 и 0,1-0,25 мм.

Дефектность структуры кварца также является важной характеристикой для подбора режимов дробления и измельчения. Она влияет на адсорбцию поверхностно-активных веществ (эффект Ребиндера), понижая предел упругости и прочность измельчаемых частиц [16]. В результате в процессе дробления (измельчения) до стандартной фракции -0,5+0,1 мм возможно переизмельчение кварца и увеличение потерь. Кроме того, дефектность структуры кварца может сказываться на температуре полиморфных превращений в кварце при его нагреве и плавлении, что может повлиять на потребительские свойства стекла [8, 18]. Степень дефектности кварцевых зерен, характеризующая в свою очередь интенсивность проявленных метаморфических процессов, может быть определена по субструктурам метагенеза кварца [10], которые являются специфическим типоморфным признаком для кварцевого сырья. По результатам исследований различных генетических типов кварцевого сырья Карелии выявлено, что наименее деформированные зерна кварца с однородной структурой и малым количеством микродефектов наблюдаются в метасоматитах, кварцитах и перекристаллизованных (сливных) кварцитах [1].

Содержание элементов-примесей в кварце является одной из самых важных характеристик качества. Суммарные значения примесей строго регламентируются техническими условиями, как для глубоко обогащенного, так и для предварительно обогащенного сырья. При этом для определения обогатимости кварцевого сырья наиболее важно установить, в каком виде содержатся те или иные элементы-примеси: минеральные включения, газово-жидкие включения, структурные примеси. В связи с этим актуально применение современных аналитических методов – электронной микроскопии, ЭПР, ИКС и т.д. Структурные (изоморфные) примеси определяют предел обогатимости сырья, поэтому их выявление является первостепенным для характеристики сырья для получения концентратов повышенной чистоты. Проведенные совместные исследования с Л.Т. Раковым основных генетических типов кварцевого сырья Карелии показали, что наиболее перспективным для исследований на получение плавленого кремнезема является кварц, претерпевший низкотемпературные метаморфические преобразования с образованием вторично рекристаллизованного кварца. В то время кварц, претерпевший метаморфические изменения в условиях повышенных температур и давлений (гранулированный), содержит максимальное количество структурных примесей и получение из него концентратов повышенной чистоты затруднительно [3]. Последние исследования [15] показали, что помимо изоморфных структурных примесей в кварце присутствуют также неизоморфные (рассеянные) структурные примеси, которые локализуются в зонах дефектности кварца. Определение их в кварце также является важной задачей именно с точки зрения технологической минералогии, поскольку в процессе технологического передела сырья (в частности, термическом воздействии) они могут диффундировать в кристаллическую решетку кварца.

Одним из наиболее важных и специфических с точки зрения технологической минералогии типоморфных признаков, т.е. характерных именно для кварца, является наличие газово-жидких включений. Их роль в процессах технологического передела кварцевого сырья огромна. Помимо того, что они являются источниками элементов-примесей, в основном Na, K, Ca, Mg и их повышенное содержание может значительно загрязнять кварцевые концентраты, включения сохраняются в стеклах в виде пузырей и понижают температуру кристобалитизации, ускоряя при этом скорость плавления [8]. То есть повышенное содержание газово-жидких включений в кварцевых концентратах значительно ухудшает их качество. С точки зрения технологической минералогии, помимо общего содержания газово-жидких включений, которое традиционно определяется по декрептоактивности и светопропусканию, важно знать размеры включений и их распределение в зернах кварца, поскольку часть включений может быть удалена на стадиях дробления, измельчения и термообработки. Наиболее легко удаляются включения, распределенные по микротрещинкам и образующие ореолы вблизи границ зерен, в то время как включения, распределенные в общем объеме зерен, трудно удалимы. Важной характеристикой является размерность включений, точнее процентное содержание включений размерами >20 мкм, которые наиболее легко удаляются при дроблении и отжиге, и включений размерами <10 мкм которые не удаляются даже при отжиге до 900^0C, а соответственно их большое количество может резко ухудшить обогатимость кварца.

С применением методики экспрессного анализа включений по шлифам или тонким пластинкам, которая включает в себя подсчет включений по классам крупности, расчет их плотности и площади занимаемой включениями на единицу площади кварца, были проведены исследования газонасыщенности кварца различных генети-

ческих типов Карелии [1]. Данная методика позволяет более точно характеризовать количество включений, как в общей массе, так и по классам крупности (по размеру), что дает возможность прогнозировать процент удаления включений в технологическом переделе. Было установлено, что низкой газонасыщенностью характеризуется перекристаллизованный, гранулированноый жильный кварц, но содержание мелких включений в данном типе кварца довольно высокое по сравнению с крупными. Основная масса включений распределена в межзерновом пространстве, вблизи границ гранул, по трещинам залечивания и зонам дислокаций внутри зерен, что значительно облегчает их удаление в процессе технологического передела. Наиболее газонасыщенными являются жильный интенсивно рекристаллизованный и катаклазированный кварц, однако в них присутствует довольно высокий процент крупных включений, которые могут быть удалены в результате технологического передела. Наиболее трудноудаляемыми являются газово-жидкие включения в кварцитах, из-за присутствия в основном мелких включений (>70%), но вместе с тем их количество в целом незначительное.

5. ***Исследование физических процессов, характеризующих закономерности поведения минерального сырья в процессах рудоподготовки и обогащения, обусловленных изменчивостью свойств минералов в процессах технологической переработки.*** Понимание физической сути процессов, протекающих в кварце во время его технологической переработки, очень важно для подбора оптимальных режимов обогащения кварцевого сырья. Исследования кварцевого сырья некоторых проявлений Карелии показали, что в ряде случаев после термообратки количество структурных примесей резко возрастает, что, по всей видимости, связано с переходом рассеянных примесей в решетку кварца [3]. Для данных типов кварца необходимо исключить термодробление при рудоподготовке.

По данным предварительных исследований, проведенных с Л.Т. Раковым и В.Т. Дубинчуком, установлено, что в результате воздействия на кварцевую крупку силовыми полями, на поверхности зерен кварца появляются вновь образованные минеральные фазы, по всей видимости, из газово-жидких включений, которые могут быть удалены в процессе выщелачивания [4]. В данном случае применения методов направленного воздействия на сырье с целью изменения его свойств, может играть положительную роль.

Таким образом, технологическая минералогия, как связующее звено между природным сырьем и технологическим продуктом, является очень важным этапом, дающим возможность подбирать оптимальные технологические схемы переработки минерального сырья и наиболее рационально использовать минерально-сырьевые ресурсы.

Список литературы

1. Данилевская Л.А. Кварцевое сырье Карелии // Тр. КарНЦ РАН. Вып. 9. Петрозаводск, 2006. С. 50-67.

2. Данилевская Л.А., Гаранжа А.В. Месторождение жильного кварца Фенькина-Лампи: геолого-минералогические аспекты формирования, типоморфные свойства и оценка качества // Геолого-технологические исследования индустриальных минералов Фенноскандии. Петрозаводск: Изд-во КарНЦ РАН, 2003. С. 29-38.

3. Данилевская Л.А., Раков Л.Т. Структурные примеси в кварце как важный критерий оценки качества кварцевого сырья и прогноза его технологических свойств // Результаты фундаментальных и прикладных исследований по разработке методик технологической оценки руд металлов и промышленных минералов на ранних стадиях геологоразведочных работ. Матер. I Рос. семинара по технологической минералогии. Петрозаводск: Изд-во КарНЦ РАН, 2006. С. 119-124.

4. Данилевская Л.А., Скамницкая Л.С. Микровключения в кварце и их влияние на степень очистки при обогащении // Значение исследований технологической минералогии в решении задач комплексного освоения минерального сырья: Петрозаводск: Изд-во КарНЦ РАН, 2007. 128-135.

5. Данилевская Л.А., Скамницкая Л.С., Щипцов В.В. Кварцевое сырье Карелии. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2004. 226 с.

6. Данилевская Л.А., Скамницкая Л.С., Щипцов В.В. Минералого-технологическая оценка и перспективы и использования сырья кварцевой жилы Меломайс (Карелия) // Обогащение руд. 2006. № 3. С. 11-15.

7. Дудкин О.Б. Технологическая минералогия комплексного сырья на примере месторождений щелочных плутонов. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 1996. 133 с.

8. Емлин Э.Ф., Синкевич Г.А., Якшин В.И. Жильный кварц Урала в науке и технике. Свердловск: Изд-во Сред.-Урал, 1988. 272 с.

9. Изоитко В.М. Технологическая минералогия и оценка руд. СПб.: Наука, 1997. 582 с.

10. Кораго А.А., Козлов А.В. Текстуры и структуры жильного кварца хрусталеносных областей. Л.: Недра, 1988. 159 с.

11. Пирогов Б.И. Геолого-минералогические факторы, определяющие обогатимость железистых кварцитов. М.: Недра, 1969. 240 с.

12. Пирогов Б.И. Методология технологической минералогии и природа технологических свойств минералов // Результаты фундаментальных и прикладных исследований по разработке методик технологической оценки руд металлов и промышленных минералов на ранних стадиях геологоразведочных работ. Петрозаводск: Изд-во КарНЦ РАН, 2006. С. 6-19.

13. Пирогов Б.И. Теоретические основы технологической минералогии. // Теория минералогии. Л.: Наука, 1988. С. 127-134.

14. Подготовка минерального сырья к обогащению и переработке / Ревнивцев В.И., Азбель Е.И., Баранов Е.Г. и др. М.: Недра, 1987. 307 с.

15. Раков Л.Т., Дубинчук В.Т. Новые подходы к проведению оценки качества кварцевого сырья // Новые методы технологической минералогии при оценке руд металлов и промышленных минералов. Петрозаводск: Изд-во КарНЦ РАН, 2009. С. 78-82.

16. Справочник по обогащению руд. М.: Недра, 1982. 366 с.
17. Щипцов В.В., Скамницкая Л.С., Бубнова Т.П. и др. Мусковитовые кварциты Карелии – новые промышленный тип слюдяного сырья // Геология и полезные ископаемые Карелии. Вып. 6. Петрозаводск: Изд-во КарНЦ РАН, 2003. С. 67-78.
18. Jung L. High purity natural quartz. Quartz Tehnology. Inc., New. Jersey, 1992. 550 p.

МЕХАНОХИМИЧЕСКОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ СИЛИКАТНЫХ МИНЕРАЛОВ С CO_2: КОРРЕЛЯЦИИ С РАСТВОРЕНИЕМ CO_2 В МАГМАТИЧЕСКИХ РАСПЛАВАХ

А.М. Калинкин
Институт химии и технологии редких элементов и минерального сырья им. И.В. Тананаева КНЦ РАН г. Апатиты, e-mail: kalinkin@chemy.kolasc.net.ru

Обнаружение необычной способности Ca и Mg содержащих силикатов поглощать при определенных режимах измельчения углекислый газ из окружающей среды в больших количествах, сопоставимых с массой измельчаемого образца, стимулировало интерес к исследованию этого нового механохимического эффекта. Особенностью эффекта является массированное проникновение молекул газа в объем частиц под влиянием механических воздействий и их «растворение» в структурно разупорядоченной силикатной матрице в виде искаженных CO_3^{2-} ионов. Прикладное значение эффекта связано с направленной модификацией поверхностных слоев минеральных частиц с целью повышения их реакционной способности, например, при использовании в качестве сорбентов, для усиления вяжущих свойств. Не исключена возможность применения механосорбции для селективного извлечения CO_2 из газовых смесей.

Для разработки модели глубокой механосорбции CO_2 и получения уравнений, позволяющих проводить кинетический анализ поглощения углекислого газа силикатами в ходе механоактивации (МА), в данной работе расширен круг объектов исследования (природные минералы – лабрадорит $(CaAl_2Si_2O_8)_{0.562}(NaAlSi_3O_8)_{0.438}$, олигоклаз $(CaAl_2Si_2O_8)_{0.148}(NaAlSi_3O_8)_{0.852}$, диопсид $CaMgSi_2O_6$, окерманит $Ca_2MgSi_2O_7$, синтетические - геленит $Ca_2Al_2SiO_7$ и волластонит $CaSiO_3$). Кроме того, целью работы является обобщение выявленных ранее аналогий с процессами, происходящими при растворении диоксида углерода в силикатных расплавах. Методика проведения механохимического эксперимента описана в [1].

В [1] предложена кинетическая модель механосорбции углекислого газа перовскитом $CaTiO_3$, позволяющая рассчитывать коэффициент механосорбции K_{MC} - полуэмпирический параметр, характеризующий способность минерала поглощать CO_2 в ходе МА. Применение этой модели с использованием данных по степени карбонизации (рис. 1) и удельной поверхности образцов (не приведены) к изученным минералам показало, что поведение силикатов имеет более сложный характер. В отличие от перовскита K_{MC} для силикатов оказалась не постоянной величиной, а увеличивающейся с продолжительностью МА, что можно объяснить значительным ростом дефектности структуры силиката, а также уменьшением размеров микрокристаллитов в ходе механоактивации и, как следствие, ускорением диффузионных процессов. Это предположение подтверждается данными рентгеновской дифракции (не приведены), согласно которым аморфизация образцов перовскита в ходе МА [1] выражена в существенно меньшей степени, чем в случае силикатных минералов.

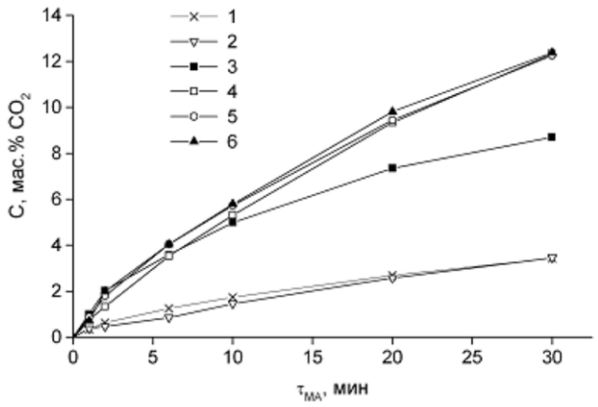


Рис. 1. Степень карбонизации силикатов С (мас. % CO_2) в зависимости от продолжительности МА в углекислом газе: 1 – олигоклаз, 2 – лабрадорит, 3 – диопсид, 4 – геленит, 5 – волластонит, 6 – окерманит.

В [1] были получены следующие уравнения, описывающие кинетику поглощения газа минералом:

$$F(t) - F(2) = 10^2 K_{MC} \int_2^t \left(\frac{S_{уд}^2}{C} \right) d\tau = 10^2 K_{MC} \Theta(t) \quad (1)$$

$$\Theta(t) = \int_2^t \left(\frac{S_{уд}^2}{C} \right) d\tau = b_0(t-2) - \frac{b_1}{b_2}\left[\exp(-b_2 t) - \exp(-2b_2)\right] - \frac{b_3}{b_4}\left[\exp(-b_4 t) - \exp(-2b_4)\right] \quad (2)$$

где F(t)=-ln(1-0.01C(t)), t – время МА, C(t) – степень карбонизации образца минерала (мас.% CO_2), $S_{уд}$ – его удельная поверхность, b_i (i=0,1..4) – полуэмпирические параметры.

Для того, чтобы учесть увеличение коэффициента механосорбции с ростом продолжительности МА $K_{МС}$ вводится в уравнение (1) в виде

$$K_{МС}(\tau) = k_0 + k\tau, \tag{3}$$

где k_0 и k – параметры; τ продолжительность МА, мин. Последующие преобразования приводят к уравнениям

$$F(t) - F(2) = 10^2\left(k_0\Theta(t) + k\Psi(t)\right), \tag{4}$$

$$\Psi(t) = \int_2^t \left(\frac{S_{sp}^2}{C}\right)\tau d\tau \tag{5}$$

Интеграл Ψ(t) может быть вычислен на основе параметров b_i (i=0,1..4) после подстановки (2) в (5). Для удобства расчета k_0 и k вводятся Φ(t) и Ω(t):

$$\Phi(t) = 10^{-2}\,\frac{F(t) - F(2)}{\Theta(t)} \tag{6}$$

$$\Omega(t) = \frac{\Psi(t)}{\Theta(t)} \tag{7}$$

В этом случае уравнение (4) принимает вид:

$$\Phi(t) = k_0 + k\Omega(t) \tag{8}$$

Расчеты показали, что учет зависимости $K_{МС}$ от продолжительности МА (уравнение (3)) позволил адекватно описать полученные экспериментальные данные. Среднеквадратическое отклонение вычисленных значений степени карбонизации С от экспериментальных составило 0.28 мас.% CO_2.

В работах [2,4] обнаружено подобие между механически индуцированным поглощением углекислого газа силикатами и растворением CO_2 в силикатных расплавах аналогичного состава, основанное на данных ИК спектроскопии и других методов. В дополнение к рассмотренным общим качественным чертам двух процессов представляет интерес сопоставить их количественные характеристики – степени карбонизации силикатов в результате МА и растворимость диоксида углерода, а также коэффициенты механосорбции $K_{МС}$ и коэффициенты диффузии CO_2 в расплавах, имеющих состав, точно соответствующий составу минералов.

Определенной трудностью для проведения сопоставления является тот факт, что в литературе экспериментальные данные по растворимости CO_2 в расплавах разного состава приводятся, как правило, для различных значений температуры и давления. Для корректности сравнения значения растворимости диоксида углерода должны быть взяты при фиксированных T и P. Кроме того, образцу каждого синтетического или природного силиката, который использовался в экспериментах по МА, должен отвечать строго определенный состав исходного расплава (до растворения в нем CO_2), совпадающий с составом минерала. В состав природных минералов входит около десятка оксидных компонентов. По понятным причинам составы расплавов, для которых опубликованы данные по растворимости CO_2, точно не могут совпадать с составом минералов, использовавшихся нами в опытах по МА. Другими словами, для проведения сравнения необходимо иметь возможность интерполяции экспериментальной растворимости диоксида углерода как по PT-условиям, так и по составу силикатных расплавов. С этой целью была применена полуэмпирическая термодинамическая модель магматический расплав – газ (флюид), разработанная в [5]. В основе модели лежит предположение о существовании термического, механического и химического равновесия между расплавом и флюидом (CO_2):

$$\phi_{CO2} P = \gamma_{CO2} x_{CO2} f_{CO2}^{0L} \tag{9}$$

где φ_{CO2} – коэффициент фугитивности CO_2 во флюидной фазе; γ_{CO2} – коэффициент активности CO_2 в расплаве; x_{CO2} – мольная доля CO_2 в расплаве.

Для расчета φ_{CO2} в модели используется модифицированное уравнение состояния Редлиха-Квонга для диоксида углерода. Коэффициенты активности нелетучих компонентов расплава вычисляются на основе теории регулярных растворов. Итоговое уравнение для вычисления γ_{CO2} имеет вид [5]:

$$RT \ln\gamma_{CO2} = (1 - x_{CO2})^2 \times \left[\sum_{i=1}^{n} x_i' w_{CO2i}^{(0)} + \ln\frac{P}{P^0}\sum_{i=1}^{n} x_i' w_{CO2i}^{(1)} - \sum_{\substack{i=1 \\ i\neq CO2}}^{n-1}\sum_{\substack{j=i+1 \\ j\neq CO2}}^{n} x_i' x_j' w_{ij}\right] \tag{10}$$

где x_i' – мольная доля нелетучего компонента i в исходном расплаве (до растворения CO_2); $w^{(o)}{}_{CO2i}$, $w^{(1)}{}_{CO2i}$ - бинарные параметры взаимодействия CO_2 с нелетучими компонентами; w_{ij} - бинарные коэффициенты взаимодействия

нелетучих компонентов; P^0=0.1 МПа. Параметры модели [5] рассчитаны на основе базы данных, включающей около 300 опубликованных экспериментальных значений растворимости диоксида углерода в широком диапазоне составов магматических расплавов в интервале температур 1173÷2063 К и давлений 30÷4000 МПа.

Для расчета растворимости диоксида углерода выбраны Т=1900 К и Р=1500 МПа, поскольку при этих условиях все рассмотренные силикаты находятся в виде расплава. Кроме того, растворимость CO_2 в расплавах при указанных температуре и давлении близка к степеням карбонизации минералов в результате МА. На рис. 2 приведены вычисленные значения растворимости диоксида углерода в расплавах и соответствующие экспериментальные содержания CO_2 в силикатах точно такого же состава после 30 мин МА в углекислом газе. Видно, что для олигоклаза, лабрадорита, диопсида и окерманита наблюдается зависимость, близкая к линейной (пунктир), но волластонит и геленит выпадают из этого ряда. Безусловно, количество точек для выявления надежной корреляции невелико. Вместе с тем, следует учесть, что погрешность расчета растворимости CO_2 в волластонитовом и геленитовом расплавах заметно выше, поскольку вследствие высокого содержания кальция эти минералы несколько выпадают из диапазона составов расплавов, использованных для параметризации модели [5].

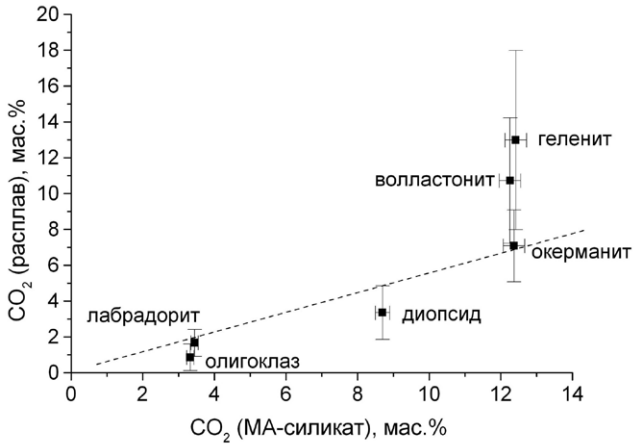


Рис. 2. Зависимость рассчитанной с использованием модели [5] растворимости CO_2 в расплавах при Т=1900 К и Р=1500 МПа от содержания CO_2 в силикатах после 30 мин МА в углекислом газе. Для каждой точки состав расплава без учета диоксида углерода идентичен составу исходного минерала.

Как отмечено выше, величина K_{MC} характеризует способность минерала поглощать CO_2 в ходе МА. Так же, как и коэффициент диффузии газа в расплаве, коэффициент механосорбции характеризует процесс проникновения молекул диоксида углерода в объем конденсированной фазы. Опубликованные экспериментальные данные по коэффициентам диффузии диоксида углерода (D) свидетельствуют о том, что при содержании CO_2 менее 1 мас. % величина D очень слабо зависит от состава силикатного расплава [3]. При более высоких содержаниях CO_2 в расплаве данные по коэффициентам диффузии диоксида углерода отсутствуют. Концентрационная зависимость D может быть вычислена согласно стандартному соотношению:

$$D = D_0 \frac{\partial \ln a_{CO2}}{\partial \ln x_{CO2}} = D_0 \frac{\partial \ln(\gamma_{CO2} x_{CO2})}{\partial \ln x_{CO2}} \qquad (11)$$

где a_{CO2} – активность CO_2 в расплаве, D_0 – коэффициент диффузии при γ_{CO2}=1. Вычисление производной в уравнении (11) может быть выполнено на основе уравнения (10). Если предположить, что D_0 соответствует коэффициенту диффузии, экспериментально определенному для расплавов с небольшими содержаниями CO_2, то эту величину можно принять как константу для всех исследованных силикатов при фиксированных Т и Р с учетом ее слабой зависимости от состава расплава. Для Т=1900 К и Р=1500 МПа $D_0 \approx 1 \cdot 10^{-10}$ м^2·с$^{-1}$ [3]. На рис. 3 приведены вычисленные коэффициенты диффузии диоксида углерода D (Т=1900 К, Р=1500 МПа) в зависимости от соответствующих значений K_{MC}. В целях сравнения для каждого силиката D и K_{MC} рассчитаны для одинакового содержания CO_2 в расплаве и в МА-образце, соответствующего 10 мин МА минерала в среде углекислого газа.

Прямая на рис. 3 отвечает линейной интерполяции данных по методу наименьших квадратов. Из рис. 3 следует, что также, как и в случае растворимости CO_2 в расплавах и степени механосорбции углекислого газа (рис. 2), существует четкая симбатная зависимость между D и K_{MC}, близкая к линейной.

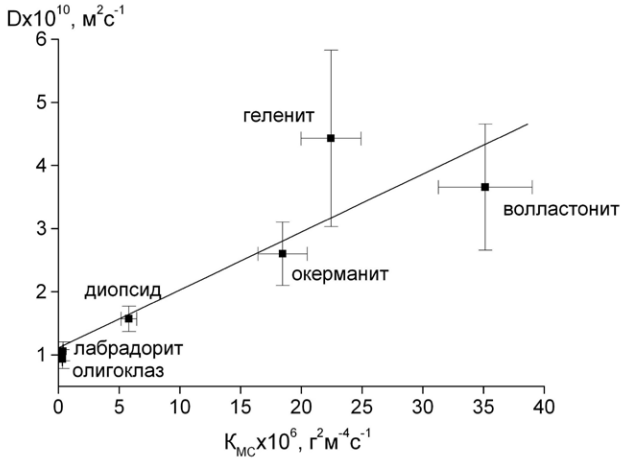


Рис. 3. Зависимость коэффициента диффузии CO_2 в расплавах (D) при Т=1900 К и Р=1500 МПа от коэффициента механосорбции CO_2 (K_{MC}). Для каждой точки значения D и K_{MC} соответствуют содержанию CO_2 в минерале после 10 мин МА в углекислом газе.

Выводы:

1. Предложенные обобщенные уравнения могут быть использованы для анализа кинетики глубокой механосорбции диоксида углерода силикатами и сложными оксидами. Коэффициент механосорбции K_{MC} является полуэмпирическим параметром, характеризующим способность минерала поглощать CO_2 в ходе МА.

2. Обнаружены близкие к линейным корреляции между степенью карбонизации силикатов при механохимической активации в углекислом газе и растворимостью диоксида углерода в силикатных расплавах аналогичного состава, а также между K_{MC} и коэффициентами диффузии CO_2 в расплавах.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 06-03-32198).

Список литературы

1. Калинкин А.М. Кинетика механохимического взаимодействия некоторых кальций содержащих минералов с углекислым газом // Тр. Всеросс. науч. конф. и IV Ферсмановской научн. сессии «Геология и минерагения Кольского региона». Апатиты: Изд-во К & М, 2007. С. 288-291.

2. Калинкин А.М., Калинкина Е.В., Залкинд О.А. и др. Механосорбция диоксида углерода алюмосиликатами натрия и кальция // Неорганические материалы. 2005. Т. 41. № 5. С. 566-572.

3. Baker D.R., Freda C., Brooker R.A. et al. Volatile Diffusion in Silicate Melts and its Effects on Melt Inclusions. // Ann. Geophys. 2005. V. 48. № 4-5. P. 699-706.

4. Kalinkina E.V., Kalinkin A.M., Forsling W. et al. Sorption of Atmospheric Carbon Dioxide and Structural Changes of Ca and Mg Silicate Minerals During Grinding // Int. J. Miner. Process. 2001. V. 61. № 4. P. 273-299.

5. Papale P. Modeling of the Solubility of a Two-Component System $H_2O + CO_2$ Fluid in Silicate Melts. // Amer. Miner. 1999. V. 84. P. 477-492.

ВЛИЯНИЕ МЕХАНОАКТИВАЦИИ ШЛАКОВ КОМБИНАТА «ПЕЧЕНГАНИКЕЛЬ» В АТМОСФЕРЕ CO_2 НА ИХ СВОЙСТВА

А.М. Калинкин[1], Б.И. Гуревич[1], Я.А. Пахомовский[2], Е.В. Калинкина[1], В.В. Тюкавкина[1]
[1]Институт химии и технологии редких элементов и минерального сырья им. И.В. Тананаева КНЦ РАН
e-mail: kalinkin@chemy.kolasc.net.ru
[2]Геологический институт КНЦ РАН, г. Апатиты

Гранулированные шлаки комбината «Печенганикель» являются техногенными минеральными образованиями, основная масса которых представлена стеклом магнезиально-железистого состава. Одним из направлений утилизации таких шлаков является получение вяжущих [2, 3]. Предварительными исследованиями установлено, что вяжущие свойства магнезиально-железистых шлаков Кольской горно-металлургической компании, обработанные с использованием шаровой и вибрационной мельниц, при нормальном твердении без применения активизаторов очень слабы [4, 5]. Образцы на основе измельченных шлаков комбината «Печенганикель» имели прочность при сжатии не более 4 МПа. Вместе с тем, прочность магнезиально-железистого шлака, размолотого до удельной поверхности 570 м^2/кг в шаровой мельнице в атмосфере CO_2, при сроках твердения 28 суток и более составляла 3.5 МПа, в то время как аналогичный показатель шлака измельченного в воздушной среде равнялся только 0.3 МПа [5].

В данной работе представлены результаты исследования влияния механоактивации (МА) магнезиально-железистых шлаков комбината «Печенганикель» в центробежно-планетарной мельнице на их вяжущие свойства. В экспериментах по МА шлаков и затворению обработанных образцов варьировали атмосферу МА (воздух, углекислый газ); присутствие активизатора (растворимое стекло); удельную поверхность шлака; продолжительность твердения в нормальных условиях.

Компонентами шлакощелочных вяжущих (ШЩВ) являются тонкомолотый гранулированный шлак и растворимое жидкое стекло. Ранее показано, что в процессе твердения ШЩВ одним из определяющих факторов является содержание Na_2O как наиболее активной части растворимого стекла [2, 3]. Для достижения максимальной прочности необходимо соблюдать следующие условия: содержание Na_2O - 3÷5% (по отношению к массе тонкомолотого шлака в составе ШЩВ); модуль жидкого стекла – 1.5÷2.0; водошлаковое отношение (В/Ш) – 0.20÷0.23.

Для эффективного протекания реакций твердения в композициях на основе ШЩВ необходимо, чтобы поверхность тонкомолотого компонента активно взаимодействовала со щелочной составляющей, приводя к образованию гидросиликатов. Реакционная способность поверхностных слоев частиц порошков может заметно изменяться под влиянием МА [1, 8]. Важным фактором, влияющим на состояние поверхности диспергируемого материала, может являться газовая среда, в которой производится измельчение. Ранее обнаружено, что длитель-

ное истирание Ca-, Mg-содержащих силикатов сопровождается поглощением ими больших количеств (более 10 мас. %) атмосферного CO_2 [9, 10]. Эффект карбонизации усиливается при МА в атмосфере чистого CO_2 [6, 7]. Глубокое механически индуцированное взаимодействие силикатов с диоксидом углерода не сопровождается, как можно было бы ожидать, образованием кальцита, магнезита и других карбонатных минералов. Молекулы CO_2 под влиянием механических воздействий проникают в объем структурно разупорядоченной силикатной матрицы с образованием искаженных карбонатных групп. В результате существенно модифицируется не только структура, но и химический состав наружных слоев частиц, непосредственно участвующих в реакциях гидратации.

Механоактивацию проводили в лабораторной центробежно-планетарной мельнице АГО-2 при центробежном факторе 40 g. В качестве мелющих тел использовали стальные шары диаметром 8 мм. Отношение массы шаров к массе измельчаемого образца составляло 10. При измельчении образцов в атмосфере CO_2 барабаны мельницы перед экспериментом заполняли углекислым газом из баллона, вытесняя воздух, плотность которого в 1.5 раза меньше плотности CO_2. Заполнение барабана CO_2 повторяли через каждые 30 сек МА. Перед заполнением углекислым газом загрузку принудительно перемешивали. Измерение удельной поверхности производили методом воздухопроницаемости. Рентгенофазовый анализ (РФА) проводился на дифрактометре ДРОН-2 (CuK_α-излучение). Содержание CO_2 в образцах определяли объемным методом с помощью анализатора АН-7529.

Изображения участков полированной поверхности препаратов в обратнорассеянных электронах (СЭМ-изображения) получены с использованием сканирующего электронного микроскопа LEO-1450. Диагностика и локальный рентгеноспектральный анализ наблюдаемых фаз выполнен при помощи энергодисперсионного детектора «ROENTEC».

Из молотых шлаков, для определения их вяжущих свойств в отсутствие активизатора, изготавливались образцы из теста нормальной густоты размером 1.41×1.41×1.41 см, которые твердели во влажных условиях при температуре 20-22^{0}C. При исследовании ШЩВ готовились аналогичные кубики с учетом оптимальных условий: 5% Na_2O (по отношению к массе тонкомолотого шлака в составе ШЩВ); модуль жидкого стекла – 1.5; В/Ш –0.23.

В минеральном составе шлаков комбината «Печенганикель» преобладает магнезиально-железистое стекло - 95-98 мас.%, кристаллическая фаза (скелетные кристаллы оливина) составляет 2-5 мас.%, рудные минералы – 1-3 мас.%. Химический состав шлаков (мас.%): SiO_2 - 40.88, Al_2O_3 - 6.90, FeO - 35.40, CaO - 2.65, MgO - 10.71, (Na_2O+K_2O) – 2.1, S - 0.71, Fe_2O_3 – следы.

Удельная поверхность ($S_{уд}$) шлака в центробежно-планетарной мельнице АГО-2 достигает максимума ≈700 м^2/кг после 5 мин активации. При продолжительности обработки менее 150 сек $S_{уд}$ практически не чувствительна к среде МА, в дальнейшем диспергирование становится более эффективным в воздушной среде. Снижение $S_{уд}$ при МА в CO_2 может быть обусловлено усилением молекулярно-плотной агрегации частиц и увеличением пластичности материала в результате поглощения CO_2 наружными слоями зерен шлака. После 330 сек МА в углекислом газе содержание CO_2 в шлаке равно 0.50 мас. %. Аналогичная величина для МА в воздушной среде составляет 0.20 мас. %.

Для двух сред МА ($S_{уд}$≈700 м^2/кг) данные по прочности при сжатии ($R_{сж}$) образцов шлака без активизатора в зависимости от продолжительности твердения приведены на рис. 1. Четко видно, что МА в углекислом газе для всех сроков твердения способствует получению более прочных образцов. В течение первых 28 сут прочность повышается для обеих сред измельчения, затем наблюдается, так называемое «временное снижение прочности». Абсолютные значения прочности на сжатие в несколько раз больше, чем при использовании шаровой мельницы [5], но максимальное значение $R_{сж}$ не превышает 11 МПа (рис. 1).

На рис. 2 представлены зависимости $R_{сж}$ образцов ШЩВ от срока твердения для удельных поверхностей шлака приблизительно 400 и 700 м^2/кг. Наблюдается та же тенденция – при сравнении образцов с сопоставимыми значениями $S_{уд}$ атмосфера диоксида углерода как среда МА интенсифицирует процессы гидратации. Данные по $R_{сж}$ образцов ШЩВ в 28 сут. возрасте в зависимости от удельной поверхности шлака (не приведены) свидетельствуют о том, что с возрастанием степени диспергирования эффект положительного влияния CO_2 усиливается. Прочности образцов ШЩВ при использовании CO_2 в ходе МА шлака достигают 100-110 МПа (рис. 2).

На рис. 3 приведено типичное СЭМ-изображение полированной поверхности образца твердения ШЩВ. Морфологические характеристики образцов на основе шлака, измельченного в углекислом газе и в воздушной среде подобны. Наряду с полидисперсными частицами шлака неправильной формы, распределенными в объеме затвердевшей цементной фазы (темный фон) присутствуют сферические образования диаметром 30-200 мкм (рис. 3 слева). Сферические включения возникают, по-видимому, в результате следующих процессов. При укладке смеси в формы в объем образцов проникают пузырьки воздуха. Образующиеся поры постепенно заполняются жидкой фазой, содержащей микрочастицы шлака, которая затем твердеет. Отчетливо видно присутствие микрочастиц шлака в сферах.

Представляет интерес, как влияет атмосфера измельчения шлака на состав новообразований при твердении ШЩВ. По данным рентгенофазового анализа (не приведены), новообразования имеют аморфное или скрытокристаллическое строение. В таблице представлен усредненный состав новообразований в ШЩВ по данным микрорентгеноспектрального анализа без учета воды для образцов, полученных при измельчении шлака в углекислом газе и в воздушной среде. Анализ проводился в трещинах, заполненных цементной фазой, и в сферче-

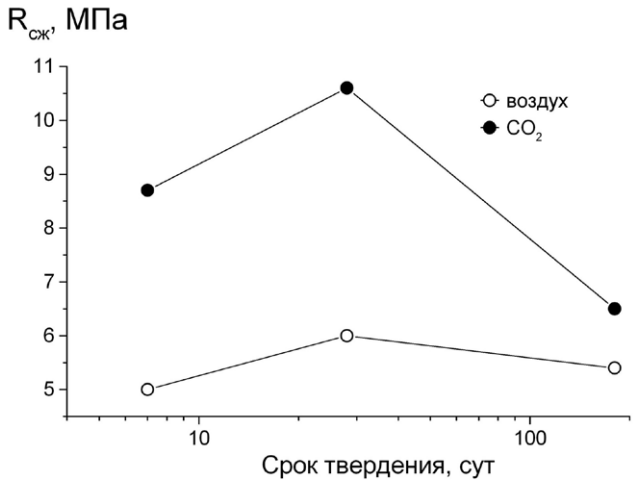


Рис. 1. Зависимость прочности при сжатии ($R_{сж}$) образцов шлака без активизатора от срока твердения. $S_{уд}$: 670 м^2/кг (воздушная среда), 690 м^2/кг (диоксид углерода).

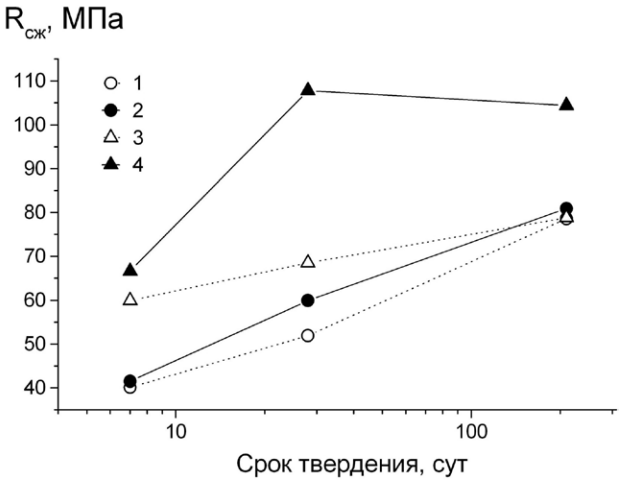


Рис. 2. Зависимость прочности при сжатии ($R_{сж}$) образцов ШЩВ от срока твердения. $S_{уд}$: 1- 410, 2 – 450, 3 – 750, 4 – 730 м^2/кг, соответственно. Среда МА: светлые символы и пунктир – воздух; темные символы и сплошные линии – CO_2.

ских включениях. При использовании в качестве среды измельчения CO_2 составы новообразованного вещества в указанных точках в целом близки. Основным отличием состава новообразованной фазы для шлака, измельченного в воздушной среде, является существенно меньшее содержание карбонатных групп. Оно в 2-2,5 раза меньше, чем для образцов, полученных с использованием помола в углекислом газе. Это свидетельствует о том, что диоксид углерода, поглощенный при измельчении наружными слоями частиц шлака в виде карбонатных ионов, в результате взаимодействия с жидким стеклом переходит в состав новообразований.

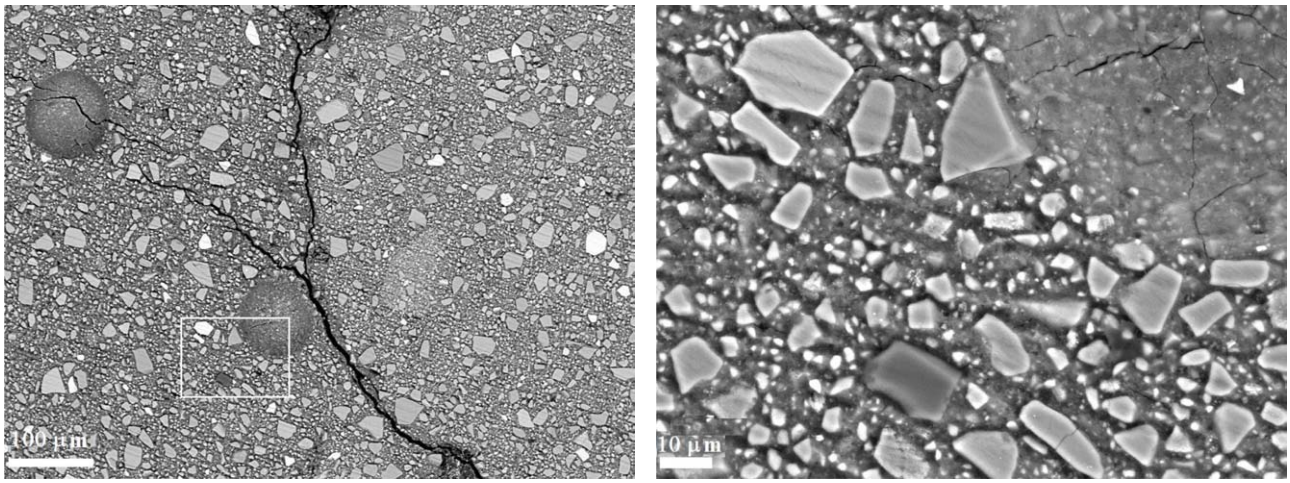


Рис. 3. СЭМ-изображения образца твердения ШЩВ на основе шлака, измельченного в воздушной среде. Справа – фрагмент, выделенный прямоугольником на рисунке слева.

Таблица. Состав новообразований в ШЩВ (мас. %) по данным микрорентгеноспектрального анализа (без учета H_2O).

Среда измельчения	CO_2			Воздух
Положение точки анализа	В трещине	Между зерен	Сферические включения	Между зерен
CO_2	19.1	16.1	16.9	8.3
MgO	7.8	6.8	9.4	7.8
SiO_2	41.2	41.2	40.1	41.8
FeO	16.2	22.7	16.9	25.7
Al_2O_3	6.0	5.8	7.0	8.3
CaO	4.6	2.7	2.2	2.8
Na_2O	3.4	2.9	6.3	3.5
K_2O	1.1	0.91	0.75	0.84
TiO_2	0.70	0.81	0.52	0.79

Таким образом, предварительная МА шлаков в атмосфере углекислого газа по сравнению с МА в воздушной среде увеличивает прочность образцов, в том числе при получении шлакощелочных вяжущих. Механизм влияния поглощенного углекислого газа на свойства ШЩВ, вероятно, заключается в следующем. При затворении тонкомолотого шлака протекает взаимодействие раствора жидкого стекла с наружным карбонизированным слоем, обладающим повышенной реакционной способностью, что ускоряет процесс образования гидросиликатов. Не исключено также, что в первом случае при затворении происходит дополнительное разложение силиката Na с образованием карбоната натрия и кремнегеля. В присутствии последнего, как известно, формирование гидросиликатов существенно ускоряется.

Список литературы

1. Аввакумов Е.Г. Механические методы активации химических процессов. Н.: Наука, 1986. 305 с.

2. Гуревич Б.И. Вяжущие вещества из техногенного сырья Кольского полуострова. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 1996. 179 с.

3. Гуревич Б.И., Зосин А.П. Установление оптимального состава вяжущего по его физико-механическим свойствам. // Химия и технология вяжущих веществ. Л.: Наука, 1968. С. 45-63.

4. Гуревич Б.И., Калинкин А.М., Тюкавкина В.В. и др. Влияние минерального состава магнезиально-железистых шлаков на их гидравлическую активность // Строительные материалы. 2005. № 8. С. 48-51.

5. Гуревич Б.И., Калинкин А.М., Тюкавкина В.В. и др. Влияние механической активации на свойства магнезиально-железистых шлаков // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2005. № 9. С. 77-80.

6. Калинкин А.М., Неведомский В.Н., Калинкина Е.В. Наноструктура диопсида $CaMgSi_2O_6$ и перовскита $CaTiO_3$, механоактивированных в углекислом газе // Неорг. материалы. 2008. Т. 44. № 6. С. 727-723.

7. Калинкин А.М., Политов А.А., Болдырев В.В. и др. Эффект глубокой карбонизации диопсида при механической активации в среде CO_2 // Докл. РАН. 2001. Т. 378. № 2. С. 233-237.

8. Хайнике Г. Трибохимия. М.: Мир, 1987. 582 с.

9. Kalinkina E.V., Kalinkin A.M., Forsling W., Makarov V.N. Sorption of Atmospheric Carbon Dioxide and Structural Changes of Ca and Mg Silicate Minerals During Grinding. I. Diopside // Int. J. Miner. Process. 2001. V. 61. № 4. P. 273-288.

10. Kalinkina E.V., Kalinkin A.M., Forsling W., Makarov V.N. Sorption of Atmospheric Carbon Dioxide and Structural Changes of Ca and Mg Silicate Minerals During Grinding. II. Enstatite, Åkermanite and Wollastonite // Int. J. Miner. Process. 2001. V. 61. № 4. P. 289-299.

ВЛИЯНИЕ МЕХАНИЧЕСКОЙ АКТИВАЦИИ СЕРПЕНТИНА НА ПОВЫШЕНИЕ ЕГО РЕАКЦИОННОЙ СПОСОБНОСТИ В ОТНОШЕНИИ ИЗВЛЕЧЕНИЯ КАТИОНОВ МЕДИ (II) ИЗ ВОДНЫХ РАСТВОРОВ

Е.В. Калинкина[1], А.М. Калинкин[1], Т.Н.Васильева[1], С.И. Мазухина[2], А.Т. Беляевский[1], М.П. Рыськина[1]
[1]ИХТРЭМС КНЦ РАН; [2]ИППЭС КНЦ РАН, г. Апатиты, e-mail: kalinkina@chemy.kolasc.net.ru

Серпентиновые минералы, сопутствующие месторождениям многих полезных ископаемых, являются одними из самых распространенных компонентов земных пород. Их используют в качестве сырья при производстве металлического магния, магнезиальных огнеупоров, керамики, активного кремнезема [5, 11]. В меньшей степени известно применение серпентиновых минералов в качестве современных коагулянтов, фильтрующих материалов и адсорбентов [4, 9, 10].

Исследованиями, выполненными в ИХТРЭМС КНЦ РАН, показано, что обожженные серпентины могут быть использованы в природоохранных технологиях в качестве реагентов для очистки загрязненных вод от тяжелых металлов. Запатентован способ очистки воды, основанный на способности термоактивированных серпентиновых минералов образовывать в гипергенных условиях устойчивые фазы с включением в их структуру ионов тяжелых металлов [4]. Наряду с термическим, известен механохимический способ активации минералов. Механическая активация (МА) в мельницах приводит к увеличению реакционной способности минералов за счет образования мелкодисперсных частиц с повышенной поверхностной энергией и, главным образом, за счет возникновения дефектов в кристаллической структуре твердого тела. При этом происходит существенное изменение физико-химических свойств диспергируемых веществ, таких, как аморфизация поверхности, повышение растворимости [3].

В данной работе исследовано влияние МА серпентина на увеличение его реакционной способности в отношении извлечения катионов меди из водных растворов при разной продолжительности сорбционных экспериментов (от 1 суток до 2 месяцев). МА-серпентин, помещенный в воду, в течение нескольких минут увеличивает pH среды до 10 и более. Согласно кинетической модели растворения силикатов магния [12], эти минералы, в том числе и серпентин, в ненасыщенных разбавленных растворах при комнатной температуре на ранних стадиях эксперимента растворяются инконгруэнтно. В ходе растворения выделено три отдельных процесса.

Это первоначальный быстрый обмен поверхностных ионов магния с водородными ионами, с последующим более длинным периодом обмена протонов и переходом в раствор поверхностных ионов магния и кремния. При этом коэффициент диффузии магния из объема частиц к поверхности существенно выше коэффициента диффузии кремния, что ведет к инконгруэнтному растворению минерала на протяжении среднего временного периода. Со временем процесс переходит в третью стадию – медленному полному растворению с поверхности.

В наших экспериментах с использованием МА-серпентина мы наблюдали эти процессы, протекающие более глубоко и с большей скоростью. МА серпентина проводили путем продолжительного истирания в механической ступке в течение 1-56 ч. Взаимодействующий с водным раствором серпентин после механического воздействия находится в крайне нестабильном «стрессовом» состоянии. Механическая обработка в первую очередь нарушает связи Si-O-Mg в октаэдрических сетках серпентина (подтверждено данными ИК спектроскопии). По-видимому, это ускоряет селективное выщелачивание магния даже при нейтральных и щелочных значениях pH среды (рис. 1). При этом, если МА серпентин взаимодействует с водным раствором меди, то с увеличением исходного содержания меди в растворе также усиливается переход магния из серпентина в раствор (рис. 2).

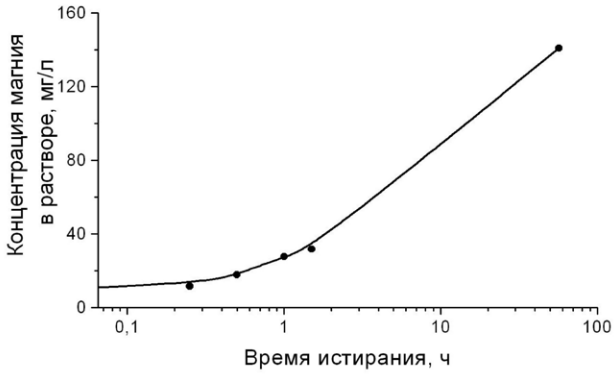


Рис. 1. Зависимость степени выщелачивания магния из серпентина от времени обработки в механической ступке. Суспензия серпентина в воде 10 г/л, время контакта 24 ч.

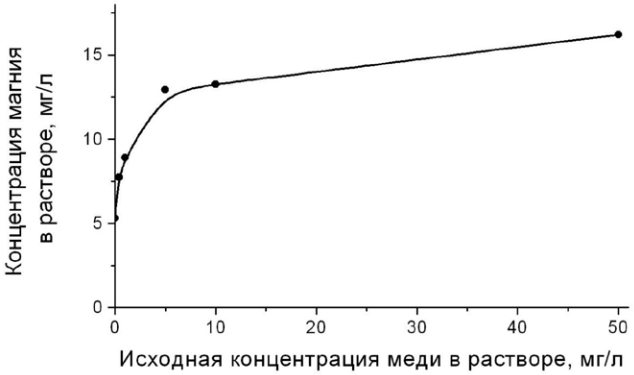


Рис. 2. Зависимость перехода магния из серпентина в раствор от исходной концентрации меди. Суспензия серпентина (56 ч в ступке) в воде 0.1 г/л, время контакта 24 ч.

В работе [8] показано, что растворение силикатов при выветривании в природных условиях или при обработке кислотой в лаборатории идет не по всей поверхности гранулы, а скорее в центрах избытка энергии – дефектах, образуя так называемые «фигуры травления». Эти «фигуры травления», имеющие сходные характерные особенности для разных структурных групп силикатов, образуются в местах обнажения нарушений пространственной решетки кристаллов, и их форма и ориентация определяются, главным образом, кристаллографией самого минерала [8]. Поверхностная морфология выщелоченных частиц в наших экспериментах, имеющих вид чрезвычайно пористого материала (рис. 3), напоминает гексагональный мотив тетраэдрической кремнекислородной сетки серпентина.

Таким образом, уже после 1 суток выдержки в водном растворе поверхность МА серпентина представляет собой результат перехода в раствор поверхностных катионов магния и замещения их на протоны в модифицированной силикатной решетке, а pH водного раствора при этом увеличивается до 10 и выше. При взаимодействии серпентина с медьсодержащим раствором через сутки контакта образуется бирюзовый медьсодержащий осадок, покрывающий неразложившиеся выщелоченные гранулы серпентина. По данным РФА, осадок идентифицирован как познякит $Cu_4(SO_4)(OH)_6 \times H_2O$ (рис. 4). На электронных микрофотографиях (рис. 3) видны его крупнопластинчатые образования из разноориентированных срастаний досчатовидных кристаллов, а также шестигранные пластинки. Кристаллы познякита на микрофотографиях расположены на более крупных частицах серпентина, поверхность которых выглядит сильно пористой. Удельная поверхность МА серпентина (по БЭТ) после суточного контакта с водой возрастает от 6.2 до 211 $м^2/г$.

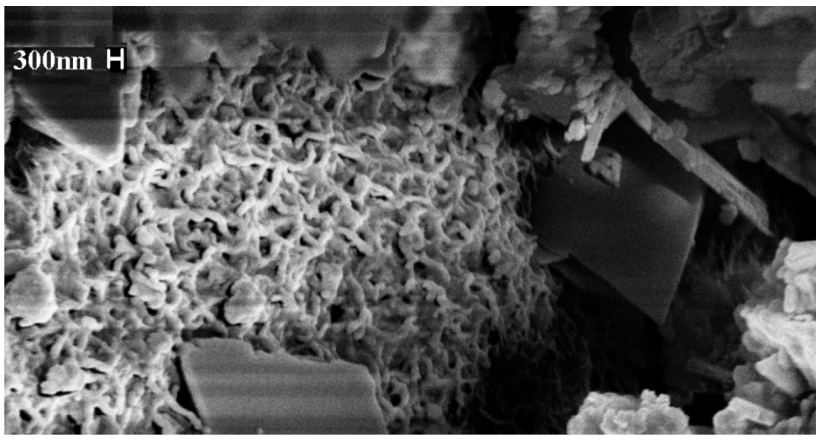


Рис. 3. Электронная микрофотография поверхности серпентина (56 ч в ступке) после 24 ч контакта с медьсодержащим раствором.

Эксперименты по осаждению меди МА серпентином из растворов с исходной концентрацией в диапазоне от

0.4 до 50 мг/л по Cu^{2+} показали, что возможны два варианта извлечения. Если количество серпентина достаточно для нейтрализации исходных слабо кислых медьсодержащих растворов и получения суспензии с pH=9-10, то в течение первых суток контакта происходит быстрое гидролитическое осаждение медьсодержащей фазы в виде основных сульфатов до остаточных концентраций менее 0.01 мг/л. Если же количество серпентина меньше необходимого для очистки достаточно концентрированных медьсодержащих растворов, то медь частично связывается за счет гидролиза в виде основных сульфатов, а далее в условиях среды, близкой к нейтральной, процесс осаждения меди переходит в замедленную стадию. Превалирующую роль, по-видимому, начинают играть не гидролитические, а сорбционные процессы, связанные с постепенно увеличивающимся переходом в раствор кремния с частично выщелоченной, обедненной магнием поверхности серпентина и участием в процессе сорбции растворенной H_4SiO_4. Здесь просматривается аналогия с процессами, описанными в [2], где взаимодействие силикагеля с ионами металлов сопровождается ощутимым растворением вещества сорбента и приводит к превращению силикагеля в гидросиликаты металлов состава $MeO\text{-}SiO_2\text{-}nH_2O$.

При взаимодействии МА серпентина с медьсодержащими растворами общая эффективность очистки обусловлена комбинацией ионного обмена, растворения, гидролиза, сорбции, соосаждения. При этом первая стадия связана с нейтрализацией кислотности и быстрым увеличением pH раствора, в результате чего происходит смещение равновесия гидролиза Cu(II) в сторону образования гидроксосоединений меди. С использованием программного комплекса «Селектор» [6] проведено термодинамическое моделирование процессов, происходящих в начальный период взаимодействия. Цель моделирования – сопоставить экспериментальные данные по составу растворов и твердых фаз, полученные в результате начального периода взаимодействия серпентина (исходного и активированного) с растворами сернокислой меди, с расчетными. Для моделирования выбраны три случая:

1. Взаимодействие неактивированного серпентина с водными растворами $CuSO_4\times5H_2O$ (1-10 мг/л по Cu^{2+}).

2. Взаимодействие серпентина после МА в механической ступке в течение 1 ч с водными растворами $CuSO_4\times5H_2O$ (1-10 мг/л по Cu^{2+}). Усиление ионного обмена между катионами магния и протонами раствора учитывали при моделировании введением в исходную систему рассчитанного количества $Mg(OH)_2$, который, растворяясь, создает в начале модельного эксперимента необходимое значение pH среды.

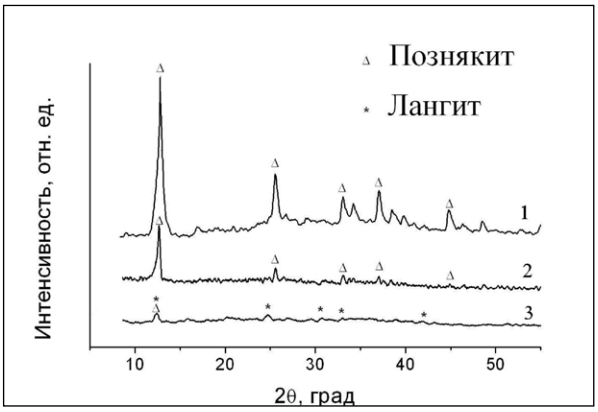


Рис. 4. Рентгенограммы Cu-содержащей фазы, образованной при взаимодействия МА серпентина с водными растворами сульфата меди(II). Время взаимодействия: 1 – 1 сутки, 2 – 2 месяца, 3 – 1.5 года.

3. Взаимодействие серпентина после МА в механической ступке в течение 3 ч с водными растворами $CuSO_4\times5H_2O$ (1-10 мг/л по Cu^{2+}). Активированный серпентин содержит 3.7 % CO_2 в виде карбонатных ионов, ассоциированных с катионами магния. Результирующее усиление растворения серпентина моделировали введением в систему рассчитанных количеств $MgCO_3$ и H_2SiO_3, которые формально образуются при механохимическом взаимодействии минерала с CO_2 при МА по реакции:

$$Mg_3Si_2O_5(OH)_4 + 3CO_2 = 3MgCO_3 + 2H_2SiO_3$$

Для каждого случая рассматривали три варианта контакта системы с атмосферой: закрытую, полуоткрытую и открытую. Конечные результаты анализа экспериментальных и расчетных данных сведены в таблицу. При взятых степенях взаимодействия (степенях растворения) серпентина с водным раствором (0.3 – 3%) расчетные данные удовлетворительно согласуются с экспериментальными.

$$4[Cu(OH)]^{+}+4[Si(OH)_2]^{2+}+6H_2O\rightarrow H_4Cu_4[Si_4O_{10}](OH)_8+12H^{+}$$

На микрофотографии (рис. 5, справа) в центре угадывается частица серпентина, покрытая новообразованными вторичными фазами, имеющими вид коллоидальных частиц. Также видны (рис. 5, слева) хорошо окристаллизованные крупнопластинчатые кристаллы познякита и/или лангита.

После двух месяцев выдержки в маточном растворе рефлексы познякита в осадке сохраняются, но их интенсивность существенно уменьшается, возможно, за счет выпадения вторичных фаз, маскирующих кристаллы познякита (рис. 4). Десорбции меди в раствор на протяжении 2-х месячной выдержки не наблюдается. При дальнейшей выдержке маточного раствора (более года) в результате гидратации и перекристаллизации первоначально образованной фазы на рентгенограмме осадка фиксируются слабо выраженные рефлексы другого основного сульфата меди – лангита, представляющего собой гидратированную форму познякита.

Вопрос об образовании силикатов и гидросиликатов меди на второй стадии сорбционного процесса остается дискуссионным, главным образом, в связи с трудностью выделения и идентификации этих соединений. Согласно данным кристаллооптического анализа, в составе осадка, полученного после 1,5 года выдержки в ма-

точном растворе присутствуют: анизотропные кристаллы лангита и/или познякита нежного голубовато-зеленого цвета с показателем преломления 1,713-1,720, изотропные зерна неправильной формы буровато-зеленоватого цвета с показателем преломления 1,630-1,635, а также зерна исходного серпентина с показателем преломления 1,570. Изотропные частицы буровато-зеленого цвета, предположительно, можно отнести к водным силикатам меди, покрывающим зерна неразложившегося серпентина. Можно допустить наличие хризоколлы $CuSiO_3 \times nH_2O$. В литературе отмечено, что обычно она представлена типичным коллоидом [1]. Иногда ее рассматривают как смесь коллоидальных планшеита, $Cu_8Si_8O_{22}(OH)_4 \cdot H_2O$, и шаттукита, $Cu_5(SiO_3)_4(OH)$, или как аморфный силикат с Si_4O_{10}-слоями, присутствующими в дефектной структуре (и относят ее к слоистым силикатам). Учитывая, что осаждение меди происходит в присутствии тонкодисперсного слоистого силиката $Mg_6[Si_4O_{10}](OH)_8$, поверхность гранул которого представляет собой обедненные магнием дефектные силикатные слои, кажется непротиворечивым формирование водных силикатов меди, подобных хризоколле, бисбииту $CuSiO_3 \times H_2O$, шаттукиту $2CuSiO_3 \times H_2O$, планшеиту $3CuSiO_3 \times H_2O$. Эти соединения из группы гидросиликатов меди являются морфологическими разностями хризоколлы. Показатель преломления, изотропия и цвет частиц осадка медьсодержащей фазы позволяют допустить наличие соединений этой группы гидросиликатов меди в составе осадка. Образование силиката меди может быть описано реакцией [7]:

Исходная конц-я меди, мг/л	Степень взаимодействия серпентина	Суммарная конц-я магния в растворе мг/л		Суммарная остаточная концентрация меди, мг/л		pH		Новообразованные равновесные фазы
Неактивированный серпентин								
		Расчет	Эксп-т	Расчет	Эксп-т	Расчет	Эксп-т	
1	0.003-0.01	0.0830	0.0663	0.123	0.248	6,66-7.18	6.68	$Cu_4SO_4(OH)_6$
5	0.003-0.01	0.083-0.262	0.103	4.05-4.67	3.74	6.00-6.05	6.26	$Cu_4SO_4(OH)_6$
10	0.003-0.01	0.083-0.262	0.109	8.98 -9.6	7.55	5.76-5.78	5.86	$Cu_4SO_4(OH)_6$
МА серпентин (учтено повышение pH суспензии за счет ионного обмена и растворения)								
1	0.01-0.03	0.826	0.681	0.00222	0.008	9.38	7.33	$Cu_4SO_4(OH)_6$
5	0.01-0.03	1.03-1.60	1.96	1.41-2.03	1.93	6.27-6.36	6.53	$Cu_4SO_4(OH)_6$
10	0.03	1.60	1.16	4.35	3.17	5.99	6.30	$Cu_4SO_4(OH)_6$
МА серпентин (учтен карбонат, поглощенный серпентином при обработке в ступке, 3 ч)								
1	0.01	2.07	2.54	0.002	0.024	9.44	9.70	$Cu_4SO_4(OH)_6$
5	0.02	2.45	2.65	0.050	0.047	7.60	7.80	$Cu_4SO_4(OH)_6$
10	0.03	2.85	3.32	1.66	0.313	6.28	6.65	$Cu_4SO_4(OH)_6$

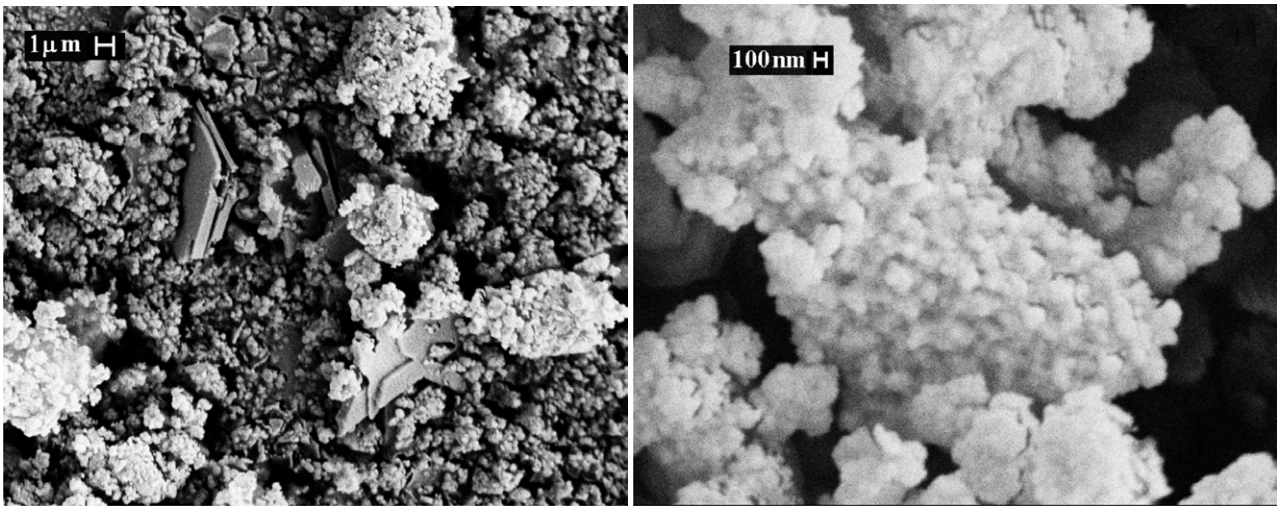


Рис. 5. Электронные микрофотографии Cu-содержащей фазы, образованной в результате взаимодействия МА серпентина с раствором сульфата меди(II) в течение 1.5 года.

Таким образом, в отношении катионов меди МА серпентин можно рассматривать как сорбционный реагент пролонгированного действия. Процесс очистки можно условно разбить на две стадии: первоначальное быстрое сорбционно-гидролитическое осаждение меди за счет обменных реакций с катионами магния серпентина, сопряженных с гидролизом, ведущее к образованию гидратированных основных сульфатов меди; последующее медленное снижение содержания меди в растворе за счет сорбционных процессов, связанных с образованием

гидросиликатов меди(II). Во время первой стадии определяющую роль играет pH среды, который устанавливается при контакте навески серпофита с раствором и величина которого зависит от отношения Т:Ж в суспензии, исходной концентрации меди и степени аморфизации серпентина.

Список литературы

1. Бетехтин А.Г. Минералогия. М.: Гос. изд-во. геол. лит, 1950. 956 с.
2. Душина А.П., Алесковский В.Б., Алексеева И.П. Взаимодействие силикагеля с ионами меди (II) // ЖПХ. 1972. № 1. С. 33-37.
3. Ломовский О.И., Болдырев В.В. Механохимия в решении экологических задач Н.: ГПНТБ СО РАН, 2006. 221 с.
4. Макаров В.Н., Кременецкая И.П., Васильева Т.Н. и др. Патент РФ №2136608//БИ. 1999. № 25.
5. Позин М.Е. Технология минеральных солей. Ч. 1. Ленинград: Химия, 1974.
6. Чудненко К.В. Теория и программное обеспечение метода минимизации термодинамических потенциалов для решения геохимических задач. Автореферат дисс. … д.г.-м.н. Иркутск, 2007. 54 с.
7. Яхонтова Л.К., Зарева В.П. Основы минералогии гипергенеза. http://www.phys.web.ru.
8. Berner R.A., Sjoberg E.L., Velbel M.A. et al. Dissolution of Pyroxenes and Amphiboles During Weathering. // Science. 1980. V. 207. P. 1205-1206.
9. Cocheci V., Tribunescu P., Gogu O. Adsorbtia pe serpentine a ionilor Cu^{2+} si Ni^{2+} din solutii apoase // Bul. sti. si tehn. Inst. politehn. Timisoara. Chim. 1982. V. 27. N 1. P. 67-74.
10. Geyer S. Kationisches anorganisches Adsorbens und Verfahren zu seiner Herstellung // Пат. док. 4136672 - N 4136672.7, заявл. 07.11.91., опубл. 13.05.93.
11. Kosuge K., Shimada K., Tsunashima A. Micropore Formation by Acid Treatment of Antigorite // Chem. Mater. 1995. V. 7. P. 2241-2246.
12. Luce R.W., Bartlett R.W., Parks G.A. Dissolution Kinetics of Magnesium Silicates. // Geochim. et Cosmochim. Acta. 1972. V. 36. P. 35-50.

СЕРПЕНТИНОВЫЕ МИНЕРАЛЫ ОТВАЛЬНЫХ ПРОДУКТОВ ОБОГАЩЕНИЯ БЕЗРУДНЫХ ОЛИВИНИТОВ ХАБОЗЕРСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ – ИСТОЧНИК ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ЩЕЛОЧНЫХ РЕАГЕНТОВ

И.П. Кременецкая[1], А.Т. Беляевский[1], В.В. Лащук[1], А.И. Ракаев[2] , Т.А. Морозова[2]
[1]Институт химии и технологии редких элементов и минерального сырья им. И.В. Тананаева КНЦ РАН г. Апатиты, e-mail: kremen@chemy.kolasc.net.ru
[2]Горный институт КНЦ РАН, г. Апатиты, e-mail: moroz@goi.kolasc.net.ru

Комплексное освоение месторождений нетрадиционного для Кольского полуострова сырья в перспективе открывает возможность создания в Мурманской области новых отраслей промышленности, например, производство магнезиальных огнеупоров, строительных и технических материалов. Потребность в магнезиальных огнеупорах, огнеупорной и химически стойкой керамике, строительных и технических материалах на внутреннем рынке России достаточно велика. Сравнительно большие запасы магний-силикатного сырья на Кольском полуострове сосредоточены в Хабозерском месторождении оливинитов (пос. Африканда), которое приурочено к интрузии ультраосновных пород Лесная Варака. Площадь интрузии около 9 кв.км. Сложена она оливинитами и пироксенитами. Месторождение хорошо разведано и, кроме того, занимает выгодное экономико-географическое положение.

Среди оливинитов выделяют рудные, с вкрапленностью и полосчатыми обособлениями титаномагнетита, и безрудные крупнозернистые и пегматоидные оливиниты. Все разновидности оливинитов на отдельных участках подверглись вторичным изменениям. Безрудные крупнозернистые и пегматоидные оливиниты развиты, главным образом, в восточной и юго-восточной части интрузии, на площади около 3 кв.км. Массив оливинитов пересечен густой сетью жильных образований, разбивающих его на глыбы неправильной формы. Трещины заполнены сунгулитом, который развивается также и по тончайшим трещинам в зернах оливина и обычно содержит пылевидный магнетит.

С 1993 г. детально разведанный участок Хабозерского месторождения разрабатывался открытым способом ОАО «ЖБИ». Оливинитовое сырье после дробления до крупности –70 мм и отсева фракции –10 (5) мм, непосредственно или после ручной рудоразборки, направлялось потребителю ОАО «Северсталь» для изготовления наливных и набивных футеровок промежуточных и сталеразливочных ковшей. При такой рудоподготовке поставляемое сырье не отличалось высоким качеством. Из-за высокого содержания в нем сунгулита потери массы при прокаливании составляли более 4%, поэтому потребитель вынужден был оливиниты подвергать предварительному обжигу при температуре более 1000°С, а в дальнейшем от поставок такого сырья отказался. Таким образом, для использования сырых хабозерских оливинитов в качестве сырья для производства форстеритовых огнеупоров, из них необходимо удалить вредные примеси, прежде всего, сунгулит.

В Горном института КНЦ РАН разработана гравитационно-магнитная технология комплексного обо-

гащения с использованием метода тяжелосредной сепарации (ТЖС) с получением высококачественного крупнокускового оливинитового концентрата на основе лабораторных исследований и последующей проверки на полупромышленной установке с использованием тяжелосредного конусного сепаратора [3]. Выбор этого метода обусловлен минералого-технологическими особенностями руды. Исходная руда крупностью – 50 мм после грохочения и отмывки по классу –5 мм, направляется на тяжелосредную сепарацию (ТЖС) при плотности разделения 2.9 г/см^3. Используется отечественный утяжелитель – ферросилиций, плотностью 6.8 г/см^3. Тяжелая фракция ТЖС-сепарации представляет собой оливинитовый концентрат. Легкая фракция тяжелосредной сепарации после дробления, поверочного грохочения по классу 10 мм, объединяется с рудным отсевом крупностью -5 мм, доизмельчается до крупности -1.6 мм, сушится и направляется на обогащение магнитной сепарацией с получением сунгулитового концентрата и иддингситового продукта. Разработанная технология комплексного обогащения руды позволяет получать:

- крупнокусковой *оливинитовый* концентрат, содержащий, масс.%: MgO - 44-45%, п.п.п. - 0.1, Al_2O_3 - 0.16, CaO - 0.86, выход концентрата и извлечение в него MgO составляет около 70 %, магнезиальный модуль MgO/ SiO_2 - 1.19, огнеупорность 1660°C;

- *сунгулитовый* концентрат, содержащий, масс.%: MgO - 37.32, Fe_2O_3 - 0.87, SiO_2 – 42.76, п.п.п. -17.59, выход 11%;

- *иддингситовый* продукт с выходом около 19 %, содержащий, масс.%: MgO - 31.73, Fe_2O_3 - 9.74, SiO_2 – 41.34, п.п.п. – 15.92.

На разработанный способ обогащения получен патент РФ [4].

Наибольшую область применения из полученных продуктов имеет оливинитовый концентрат – для производства форстеритовых огнеупоров, огнеупорной и химически стойкой керамики. Ранее установлено, что сунгулитовый концентрат может быть использован как наполнитель в лакокрасочном производстве, иддингситовый продукт – в качестве наполнителя в производстве строительных материалов, резинотехнических изделий [3].

В настоящей работе исследована другая возможность применения серпентинсодержащих продуктов, а именно оценена возможность получения на их основе реагентов для очистки воды от тяжелых металлов (ТМ). На протяжении ряда лет в ИХТРЭМС КНЦ РАН выполняются исследования, направленные на разработку технологии получения и применения магнезиально-силикатного реагента из серпентиновых минералов для иммобилизации ТМ. Реагент, полученный термоактивацией серпентиновых минералов (метасерпентин), не содержит токсичных компонентов и в связи с этим предназначен, прежде всего, для реабилитации загрязненных природных водных источников и для очистки техногенных водоемов, имеющих гидравлическую связь с подземными и поверхностными водами. Разработаны методики определения оптимальных условий получения реагента, а также определения его расхода в зависимости от состава воды [2]. Согласно указанным методикам выполнены исследования образцов серпентинитов массива Лесная Варака.

Ранее установлено, что свойства магнезиально-силикатного реагента зависят как от вида серпентинового минерала, так и от состава примесей. Рентгенофазовый анализ образцов показал, что сунгулит состоит преимущественно из лизардита с примесью доломита, иддингсит - из антигорита и гетита. Выполнен микрофрактографический анализ зерен сунгулита и иддингсита. Поверхность скола сунгулита характеризуется занозистым изломом, разрыхленностью, шероховатостью, проявлениями слоистости, характерными для лизардита. Зерна лизардита представляют собой конгломераты хаотично ориентированных слоистых микроблоков. На поверхности ожелезненных зерен иддингсита диагностируются друзы игольчатых кристаллов гетита, образующих оторочки по активным участкам компонентов иддингсита (рис. 1). Отчетливо фиксируется образование гетита на ребрах кристаллов доломита. Кроме того, наблюдается рост кристаллов гетита на торцевых частях натечных образований, состав которых не установлен.

Способ получения магнезиально-силикатного реагента (метасерпентина) предусматривает обжиг исходных серпентиновых минералов [5]. Термообработанные образцы для исследований получены прокаливанием материала в муфельной печи. Серпентинит, рассыпанный тонким слоем на металлическом поддоне, помещали в нагретую до заданной температуры печь; после выхода на режим образец выдерживали 20 минут. Режим обжига выбран исходя из результатов предварительных исследований, которые показали, что степень активации тем больше, чем больше скорость нагрева материала. Продолжительность 20-ти минутной термообработки является оптимальной для реализации условий обжига в лабораторной муфельной печи.

Анализ рентгенограмм образцов сунгулита, полученных при различных температурах обжига, показывает, что с увеличением температуры вплоть до температуры кристаллизации форстерита степень аморфизации минерала также увеличивается (рис. 2). Наблюдается снижение интенсивности отражений и увеличение их диффузности, а также образование гало и усиление фона. Заметное увеличение фона в области малых углов дифракции, которое свидетельствует о появлении смешаносойных образований [2], наблюдается для образцов лизардита, активированных термообработкой в интервале температур 550 - 750°C.

Сравнение морфологии зерен минерала показывает развитие микротрещиноватости в результате температурного воздействия. На поверхности скола зерна лизардита и на краях отдельных пластинок отчетливо фиксируются рыхлые хлопьевидные новообразования.

Результаты определения активности сунгулита в зависимости от температуры приведены на рис. 3. С уве-

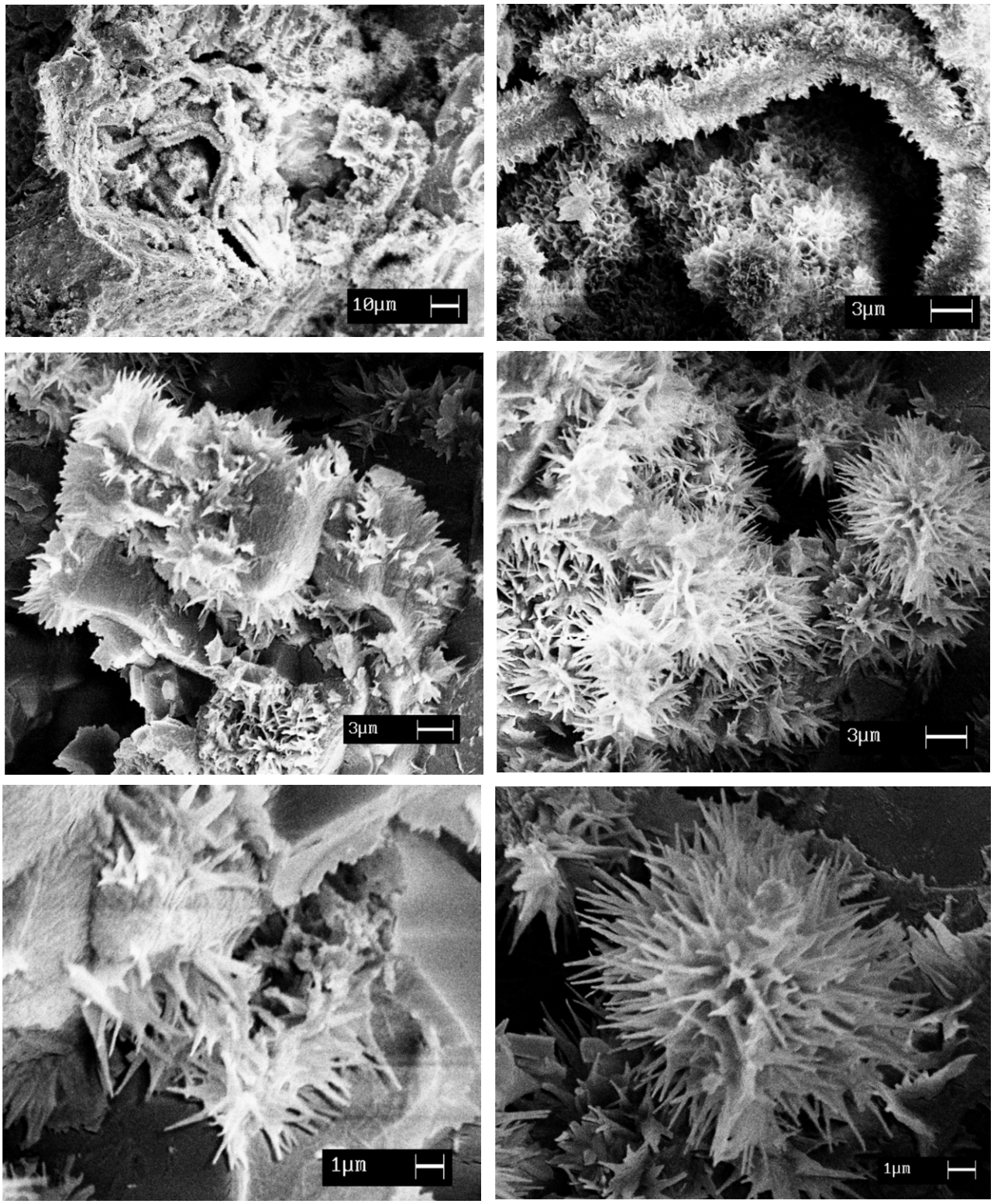


Рис. 1. Формирование друз игольчатых кристаллов гетита в образце иддингсита (Хабозерское месторождение оливинитов, массив Лесная Варака).

личением температуры прокаливания от 550 до 650°С активность растет, при 800°С – резко уменьшается. Значения щелочности для образцов, полученных в достаточно широком интервале температур (650 - 750°С), отличаются незначительно, что является благоприятным фактором для технологии получения магнезиально-силикатного реагента.

Теоретически максимальная активность идеального серпентинового минерала $Mg_3Si_2O_5(OH)_4$, состоящего из 43.0% MgO, 44.1% SiO_2 и 12.9% H_2O, в пересчете на прокаленный остаток составляет 24.7 мг-экв/г, а для образца сунгулита - 23.0 мг-экв/г. Активность метасунгулита составляет 18.2 мг-экв/г, то есть в активное состояние переходит 82% щелочных компонентов серпентинита.

Активность иддингсита значительно меньше и составляет для образца, прокаленного при температуре

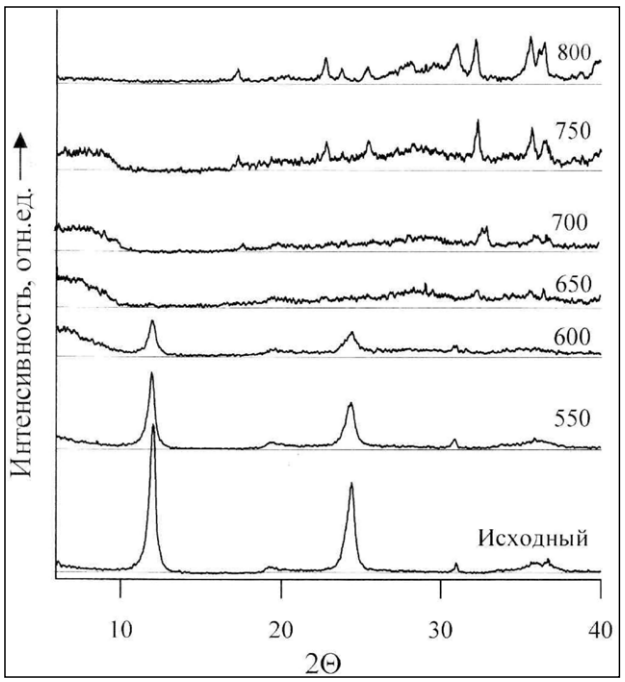


Рис. 2. Дифрактограммы полученных при различных температурах обжига, °С, образцов сунгулита.

650°С, 8.2 мг-экв/г. Предельная активность иддингсита – 18.0 мг-экв/г, степень активации – 46%.

Сопоставление свойств образцов метасерпентина, полученных с использованием сунгулита и иддингсита, выполнено для раствора, моделирующего загрязненную природную воду оз. Пыслысчимъявр (табл.). Озеро расположено в зоне воздействия комбината «Североникель» ГМК, имеет гидравлическую связь с оз. Нюдъявр и через р. Нюдуай с крупнейшим водоемом Кольского полуострова - оз. Имандра. Получены также характеристики процесса очистки воды с использованием реагента на основе сунгулита и пробы воды оз. Пыслысчимъявр, которая была отобрана в октябре 2008 г.

Концентрации ТМ в оз. Пыслысчимъявр превышают $ПДК_{рбх}$ (предельно допустимые концентрации для рыбохозяйственных водоемов) на порядок. После внесения метасерпентина наблюдается повышение pH суспензии до 10 с одновременным снижением концентраций ТМ. Однако через 24 часа значение pH начинает постепенно уменьшаться в результате поглощения углекислого газа атмосферы щелочным раствором. По истечении одного месяца степень очистки воды составила 72-86%, остаточные концентрации никеля - 48 мкг/л и меди - 15 мкг/л при pH 8.6. С увеличением продолжительности взаимодействия до трех месяцев степень очистки растет при практически неизменном pH, достигнуты остаточные концентрации 4 мкг/л Ni и 3 мкг/л Cu.

Несколько иначе идет процесс извлечения ТМ из модельного раствора. Через 1 час после внесения реагентов остаточные концентрации составляют 9 – 2 мкг/л и незначительно меняются с увеличением продолжительности взаимодействия. Значения pH в течение суток составляют 10.1 – 10.4. Через 1 месяц взаимодействия pH суспензий уменьшается до величины 9.1 – 9.2, получены остаточные концентрации 1 – 3 мкг/л.

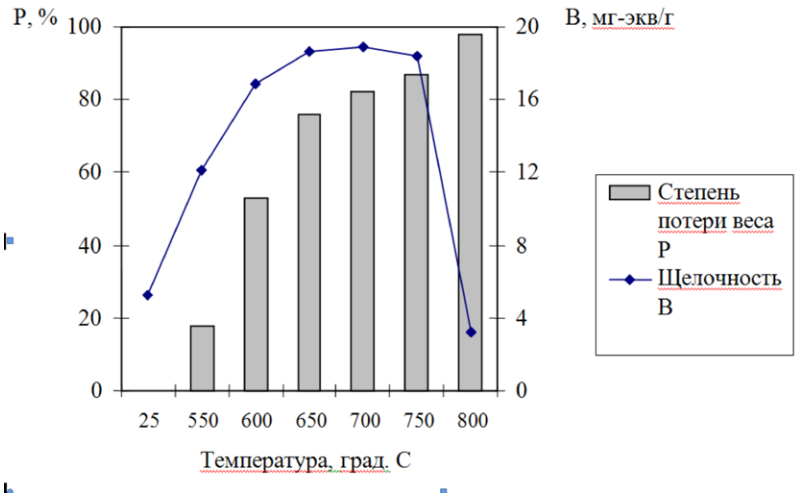


Рис. 3 Зависимость степени потери веса (гистограмма) и щелочности (кривая) от температуры прокаливания сунгулита.

Таким образом, выполненные исследования показали возможность получения реагентов на основе продуктов обогащения оливинита Хабозерского месторождения. Применение термоактивированных серпентинитов для очистки техногенно загрязненной воды позволяет достичь показателей, которые соответствуют требованиям, для рыбохозяйственных водоемов. Реагент из иддингсита характеризуется значительно меньшей активностью по сравнению с метасунгулитом. Количество реагента на основе иддингсита, необходимое для нейтрализации кислотности очищаемого раствора, более чем в два раза превышает соответствующее количество метасунгулита. Целесообразность разделения серпентинита на фракции сунгулита (лизардита) и иддингсита (антигорита) следует определять с учетом материальных затрат на различных стадиях получения и применения щелочных реагентов из серпентинсодержащих продуктов обогащения оливинита.

Работа выполнена при финансовой поддержке Президиума РАН, программа «Научные основы эффективного природопользования, развития минерально-сырьевой базы, освоения новых источников природного и техногенного сырья».

Список литературы

1. Дриц В.А., Сахаров Б.А. Рентгеноструктурный анализ смешанослойных минералов. М.: Наука, 1976.
2. Кременецкая И.П., Корытная О.П., Васильева Т.Н. Реагент для иммобилизации тяжелых металлов из

Таблица. Показатели процесса очистки проб воды метасерпентином.

Условия эксперимента	Продолжительность взаимодействия	pH	Концентрация, мкг/л	
			Ni	Cu
Природная вода оз. Пыслысчимъявр, реагент на основе сунгулита, расход 0.42 г/л	0	6.5	340	54
	1 ч	9.9	60	25
	6 ч	10.0	40	19
	24 часа	9.8	16	12
	1 месяц	8.6	48	15
	3 месяца	8.7	4	3
Модельный раствор	0	5.8	500	50
Реагент на основе сунгулита, расход 0.8 г/л	1 ч	10.4	4	2
	6 ч	10.4	2	2
	24 часа	10.3	2	1
	1 месяц	9.1	2	1
Реагент на основе иддингсита, расход 1.9 г/л	1 ч	10.1	9	2
	6 ч	10.2	3	2
	24 часа	10.1	14	2
	1 месяц	9.2	3	1

серпентинсодержащих вскрышных пород // Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение. 2008. № 4. С. 33-40.

3. Морозова Т.А., Рухленко Е.Д., Ракаев А.И. и др. Минералого-технологические исследования магний-силикатного сырья Хабозерского месторождения Кольского полуострова с целью получения на их основе огнеупорных, строительных и технических материалов // Проблемы рационального использования природного и техногенного сырья Баренцева региона в технологии строительных и технических материалов. Матер. II Межд. научн. конф. Петрозаводск, 12-15 сентября 2005. Петрозаводск: Изд-во КарНЦ РАН, 2005. С. 141-144.

4. Патент 2263546 МПК[7] B 03 B 7/00,B 03 C 1/00. №2003129848. Способ обогащения магний-силикатного сырья. Заявл. 04.10.2003 г. Зарегистр. 10.11.05 г.

5. Патент 2136608 РФ C 02 F 1/62, 1/28, 1/66. Способ очистки воды открытых водоемов от закисления и ионов тяжелых металлов / Макаров В.Н., Кременецкая И.П., Васильева Т.Н. и др. ИХТРЭМС КНЦ РАН, № 98106699/25. Заявл. 09.04.98. Опубл. 10.09.99. Б.И. 25. - 1999.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ АГРЕГАЦИИ ЧАСТИЦ НА ПОТЕРИ НИКЕЛЯ В ПРОЦЕССЕ ОБОГАЩЕНИЯ МЕДНО-НИКЕЛЕВЫХ РУД (НА ПРИМЕРЕ ПЕЧЕНГИ)

С.В. Лихачева[1], Ю.Н. Нерадовский[2], Е.Э. Савченко[2]
[1] Кольская ГМК, г. Заполярный; [2] Геологический институт КНЦ РАН, г. Апатиты

Поведение тонких классов частиц в различных процессах остается слабоизученным и представляет большой научный и практический интерес [1-4]. Особенно актуален этот вопрос для обогащения сульфидных медно-никелевых руд, где велики потери никеля с хвостами за счет шламовых фракций. Гранулометрический анализ продуктов обогащения [5] показал, что тонкие частицы класса -12 μm составляют значительную долю во всех основных продуктах, а в хвостах с ними теряется более 40 % никеля и 32 % меди от общего количества потерь (рис. 1).

Известно, что частицы менее 50 μm обладают рядом специфических свойств [6], при измельчении минералов до этой крупности происходит качественный скачок, связанный с поверхностными явлениями, а частицы менее 20-10 μm не имеют эффективных методов обогащения [3]. Благодаря сочетанию новых возможностей гранулометрической классификации и микроскопических исследований удалось установить некоторые закономерности поведения микронных и субмикронных частиц в обогатительном процессе.

Методика исследований

Исследования проводились на искусственных препаратах из порошковых проб различных фракций технологических продуктов, полученных с помощью полуавтоматического гидравлического классификатора «CICLOSISER» (фирма «WARMAN», Австралия). Изучались исходные продукты и их узкоразмерные фракции (мм): +1,6; -1,6+0,074; -0,074+0,044; -0,044+0,030; -0,030+0,020; -0,020+0,015; -0,015+0,012; -0,012. Высушенные

порошки технологических продуктов смешивались с эпоксидным клеем в пропорции 1:1, заливались в специальные обоймы и после отвердевания приполировывались. Готовые препараты исследовались как обычные аншлифы на микроскопах Ultraphot-III [«Opton»] со специальной насадкой для фотографирования на цифровую фотокамеру Power Shot A520 и «Axioplan-2» [«Zeiss» Германия] с программным управлением анализа изображений. С помощью сканирующего электронного микроскопа LEO-1450 с энергодисперсионным спектрометром Roentec уточнялся состав обломочных частиц. Контроль за размерами частиц под микроскопом осуществлялся с помощью насадки АМ9-2М. Точность измерения составляла 0.0002 мм. Фазовый состав наиболее тонких продуктов контролировался рентгеновским дифрактометром ДРОН 2.0.

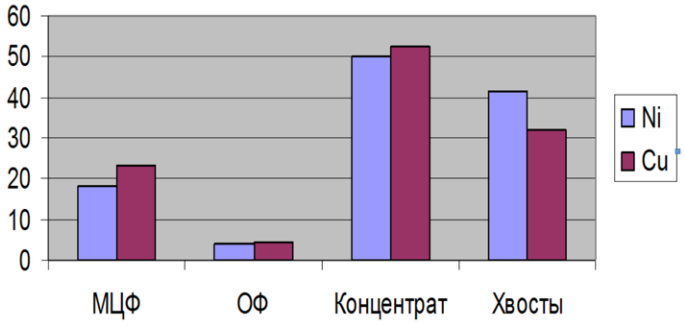


Рис. 1. Выход никеля и меди в класс -12 μm различных продуктов флотации (% от общего содержания в продукте): МЦФ - пенный продукт межцикловой флотации; ОФ – пенный продукт основной флотации.

Анализ гранулометрического состава продуктов флотации проведен на всех стадиях процесса. За основу для интерпретации взяты гранулограммы порошков индивидуальных частиц и агрегатированого материала [7]. Сопоставление с этими данными показало, что сливы гидроциклонов и хвосты содержат агрегаты. Выявлено два постоянных типа агрегатов.

К первому типу мы относим агрегаты из частиц менее 12 μm. Порошки этой фракции, выделенные на гидравлическом классификаторе, всегда состоят из агрегатов независимо из какого продукта флотации они получены (рис. 2а). В продуктах технологического процесса агрегаты-1 включают в себя более широкий спектр частиц и захватывают рудные минералы (рис. 2б, в). Агрегаты-1 имеют преимущественно форму овальных частиц и относятся к агломератам. Частицы в агрегатах такого типа соединены, вероятно, капиллярными силами в жидких прослойках. Эта модель широко используется для объяснения формирования окатышей [8].

Агрегаты-1 преимущественно сложены породообразующими минералами, а минералы находятся среди них в объеме ~1-3%. Образуются также агрегаты, обогащенные рудными минералами до 10-30 % (рис. 1а), причем распределение частиц часто имеет зональный или полосчатый характер, что свидетельствует о проявлении гравитационной дифференциации в пульпе. Состав рудной фракции в агрегатах-1 варьирует в разных продуктах. В соответствии с общей закономерностью флотационного процесса, в хвостах из рудных минералов остаются в основном магнетит и пирротин, но всегда присутствует около 1% пентландита (рис. 3) и зерна халькопирита.

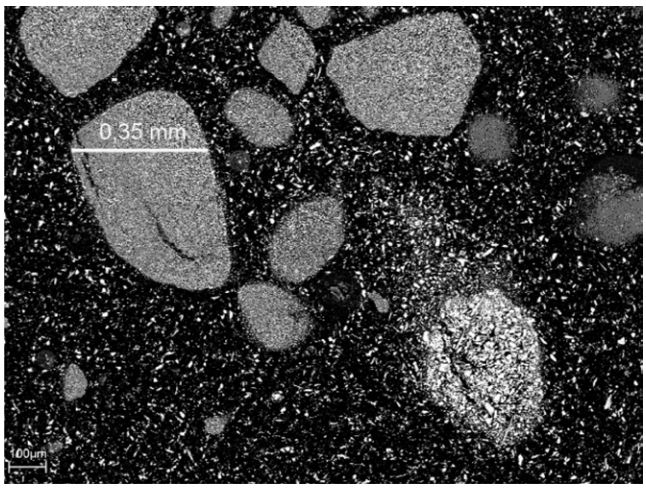
К агрегатам второго типа относятся частицы, образованные в результате взаимодействия минералов, с ферромагнитными свойствами - пирротина и магнетита. В этих агрегатах более крупные размеры зерен имеет пирротин (- 74 μm), а магнетит всегда значительно мельче (как правило, менее 5 μm). Зародышем в таких агрегатах является всегда зерно пирротина, а магнетит образует скопление микрозерен вокруг него (рис. 4).

В результате налипания зерен магнетита на пирротин поверхность последнего блокируется и понижается его флотационная способность, поэтому крупные зерна пирротина попадают в пески и в хвосты флотации (рис. 2), что доказывает отрицательную роль агрегатов данного типа в потерях никеля. В сростках с пирротином в такие агрегаты попадают даже крупные частицы пентландита.

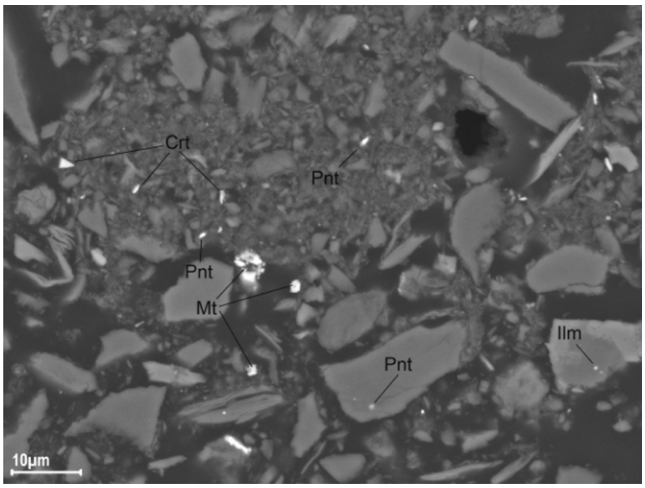
Данный тип агрегатов не относится ни к одному из рассматриваемых обычно механизмов агрегирования [10]. Характерными особенностями являются закономерное расположение пирротина в центре, а магнетита по периферии агрегатов, а также более крупные размеры пирротина по сравнению с магнетитом. По нашим данным [11], это объясняется более сильной коэрцитивной силой зерен магнетита, способных быстро ориентироваться в магнитном поле вокруг пирротина. Возможно, механизм взаимодействия объясняется более тонкими свойствами минералов, проявляющимися на наноуровне [12].

Обсуждение результатов

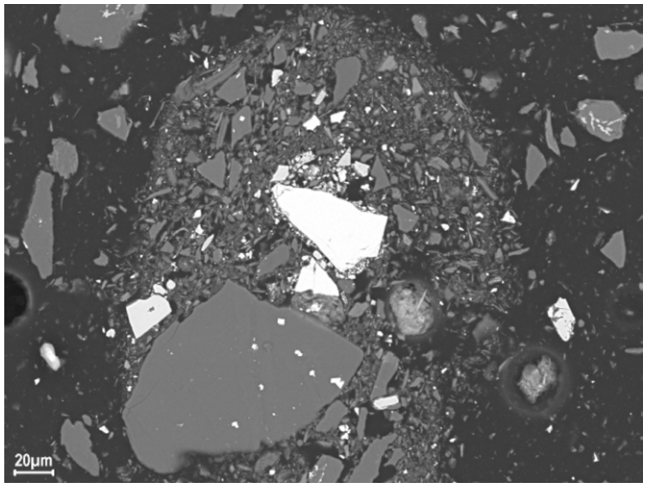
Из рассмотренных материалов очевидно, что агрегация имеет место в процессе флотации медно-никелевых руд и происходит за счет взаимодействия поверхностных сил микрочастиц и вследствие магнитных свойств минералов. Оба типа агрегации способствуют блокированию частиц сульфидов и потерям их с хвостами флотации. Анализ баланса никеля по минеральным фазам медно-никелевой руды свидетельствует, что более 90% никеля связано с пентландитом, поэтому его потери недопустимы. При исходном содержании никеля в руде 0,8 % потеря 100% пирротина повлечет недоизвлечение никеля на 0,035 % или 3 % от валового содержания, а 1 % недоизвлечения пентландита повлечет потерю 0,038 % никеля, что составит более 3% от валового содержания. Отсюда следует, что если потери никеля в хвостах составляют более 3% от валового содержания в руде, то это означает, что они связаны с потерями главного никелевого минерала – пентландита. Таким образом, по содержанию никеля в хвостах можно оценить качество извлечения пентландита. Исследования агрегатов -1 показали, что в них постоянно содержится около 1 % пентландита. Отсюда следует, что агрегатирование микрочастиц является важной причиной потерь никеля с хвостами обогащения.



а



б



в

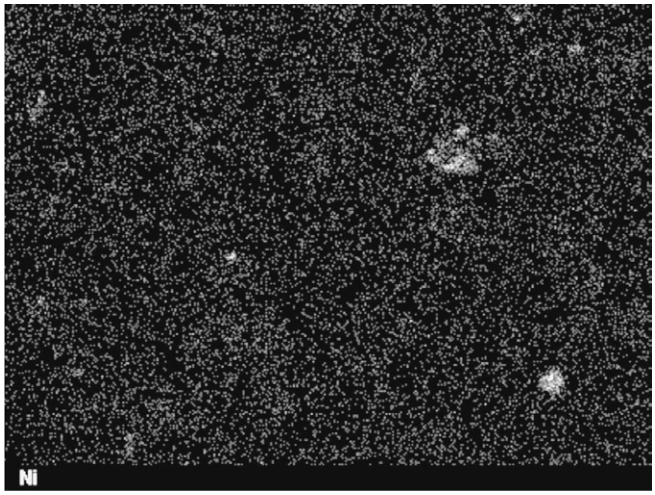


Рис.3. Включения никелевых фаз (белое) в массе агрегата-1. Изображение в лучах никеля на СЭМ LEO-1450.

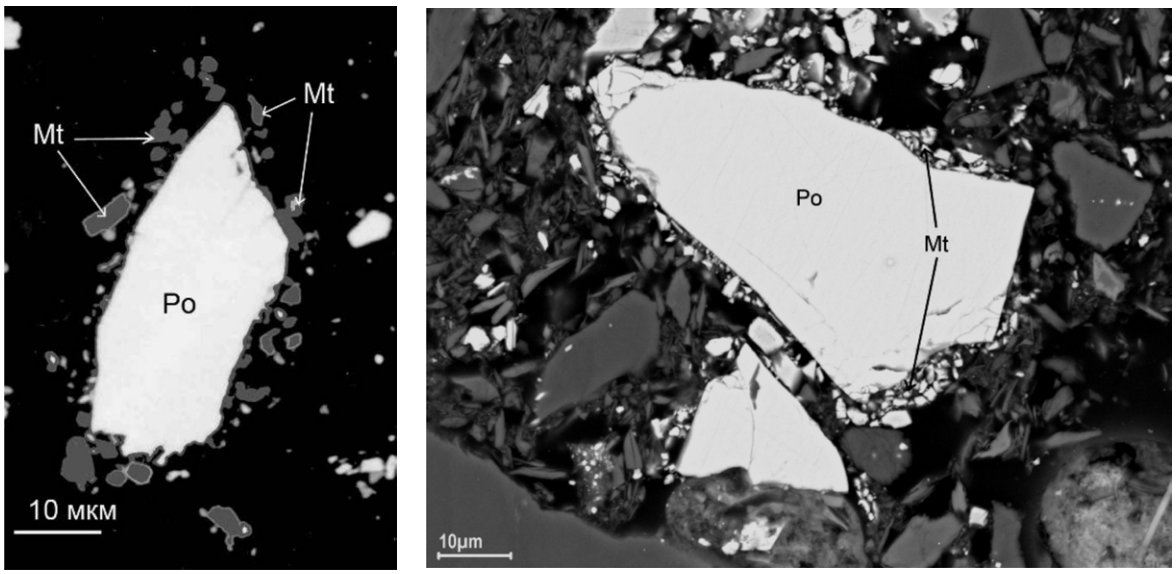
Рис. 2. Агрегаты агломерационного типа в продуктах разделения на классификаторе (1а, фракция -12 мкм) и в хвостах флотации (1б, в). Серое – силикаты, белое – сульфиды и оксиды , черное – цементирующая масса. Изображение в отраженных электронах на СЭМ LEO-1450.

Магнетито-пирротиновое взаимодействие с образованием агрегатов-2 наблюдается в разных технологических процессах и представляет важную проблему при обогащении руд [9, 13-20]. Печенгские руды характеризуются постоянным присутствием пирротина и магнетита почти в равных количествах, поэтому агрегация их неизбежна, если не принимать специальные меры по ее снижению. В настоящее время не предусмотрено специальных технологических приемов, направленных на решение этой задачи, поэтому проблема остается актуальной [16].

Выводы

В процессе флотации медно-никелевых руд происходит агрегация тонких частиц, особенно в классе менее 12 μm. Шламовая фракция способна образовывать агрегаты из идентичных по размеру зерен на всех стадиях процесса флотации. В результате гравитационно-магнитной агрегации тонких частиц рудных минералов и смешения их со шламовой фракцией силикатов, наблюдается блокирование никельсодержащих минералов и понижение их флотационной способности. Необходима разработка эффективных мер по дешламации и деагрегации продуктов флотации.

В процессе измельчения руды и флотации происходит также агрегация магнитных минералов пирротина и магнетита, что ведет к консервации никельсодержащего пирротина и сростков его с пентландитом, попаданию их в пески и переносу через все стадии процесса флотации в хвосты. Необходимо разработать меры по снижению магнитной активности пирротина или магнетита.



а б

Рис. 4. Агрегаты магнитного типа: а – фото в отраженном свете с применением компьютерной графики, б – изображение в отраженных электронах (фрагмент рис. 2).

Список литературы

1. Котова О.Б. Поверхностные процессы в тонкодисперсных минеральных системах. Е.-бург: Изд-во УрО РАН, 2004. 195 с.

2. Котова О.Б. Индустриальные наноминералы и проблемы технологической минералогии // Результаты фундаментальных и прикладных исследований по разработке методик технологической оценки руд металлов и промышленных минералов на ранних стадиях геологоразведочных работ. Петрозаводск: Изд-во КарНЦ РАН, 2006. С. 21-25.

3. Пирогов Б.И. Методология технологической минералогии и природа технологических свойств минералов // Результаты фундаментальных и прикладных исследований по разработке методик технологической оценки руд металлов и промышленных минералов на ранних стадиях геологоразведочных работ. Петрозаводск: Изд-во КарНЦ РАН, 2006. С. 7-17.

4. Наноминералогия. Ультра- и микродисперсное состояние минерального вещества. СПб.: Наука, 2005. 581с.

5. Лихачева С.В. Гранулометрический контроль технологического процесса обогащения на ОФ-1 комбината «Печенганикель» / Геология и минералогия Кольского региона. Тр. Всерос. научн. конф. Апатиты, 4-6 июня 2007 г. Апатиты: Изд-во К & М, 2007. С. 307-310.

6. Барский М.Д. Фракционирование порошков. М.: Недра, 1980. 327 с.

7. Дементьева Г.И., Петрова С.В. Агрегация малых частиц минералов и ее влияние на обогатимость руд // Цветные металлы. 1998. № 1. С. 6-9.

8. Савельев С.Г., Губин Г.Г. Разработка схемы безобжигового окускования хвостов обогащения магнетитовых кварцитов // Разработка рудных месторождений. Вып. 85. Кривой Рог, 2004. С. 85 – 89.

9. Нерадовский Ю.Н., Лихачева С.В. Особенности гранулометрического состава концентратов медно-никелевых руд Печенги // Обогащение руд. 2007. № 2. С. 30-34.

10. Митрофанов С.И., Барский Л.А., Самыгин В.Д. Исследование полезных ископаемых на обогатимость. М.: Недра, 1974. 352 с.

11. Нерадовский Ю.Н., Тюремнов В.А. Взаимодействие микрочастиц магнетита и пирротина // Обогащение руд. 2001. № 4. С. 24-28.

12. Schneider J.J. Magnetik core/shell and quantum-confined semiconductor nanoparticles via chimie douce organometallic syntesis. // Adv. Mater. 2001. V. 13. № 7. С. 529-533.

13. Алейников Н.А., Васильев А.Н. Деформационный эффект и кинетика диспергирования жидкостей в магнитном поле // Инж. Физ. Журнал. 1970. Т. 19. № 6. С. 1118-1121.

14. Усачев П.А. Поведение магнитных минералов в комбинированных процессах обогащения медно-никелевых руд Кольского полуострова // Комбинированные методы переработки руд. М.: Наука, 1979. С. 72-81.

15. Кудрявцева Г.П., Гаранин В.К. Жиляева В.А. К проблеме повышения извлечения никеленосного пирротина из вкрапленных медно-никелевых руд. Магнетизм и минералогия природных ферромагнетиков. М.: МГУ, 1982. 293 с.

16. Максимов В.И., И.А.Блатов, А.Д.Маслов и др. К проблеме повышения извлечения никеленосного пирротина из вкрапленных медно-никелевых руд // Цветные металлы. 1995. № 9. С. 67-69.

17. Гзоян Т.Н. К вопросу генетической дефектности магнетита Михайловского месторождения КМА // Обогащение руд. 2002. № 3. С. 29-33.

18. Каменева Е.Е., Рухленко Е.Д. Пути повышения качества магнетитового концентрата ОАО «Ковдорский ГОК» // Обогащение руд. 2002. № 1. С. 27-31.

19. Каменева Е.Е., Скамницкая Л.С. Обогащение минерального сырья Карелии. Петрозаводск: Изд-во КарНЦ РАН, 2003. 230 с.

РАДИОГЕОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПЛОЩАДОК СТРОИТЕЛЬСТВА ГАЗОПРОВОДА ШТОКМАНОВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Н.А. Мельник[1,2], П.В. Икконен[3], С.С. Сандимиров[2], С.Н. Макогонюк[2], А.А. Смирнов[3]
[1] Институт химии и технологии редких элементов и минерального сырья им. И.В. Тананаева КНЦ РАН
[2]Институт проблем промышленной экологии Севера КНЦ РАН, e-mail: melnik@chemy.kolasc.net.ru
[3]Апатитский филиал Мурманского государственного технического университета, г. Апатиты

Штокмановское газоконденсатное месторождение, расположенное на шельфе Баренцева моря, представляет собой 4 газоносных пласта, залегающих в средне-позднеюрских отложениях, вскрытых бурением на глубине от 1700 до 3000 м. Газ метановый (более 90%), малосернистый, содержание стабильного конденсата от 4.8 до 14 г/м^3. Его запасы оцениваются примерно в 3.8 трлн. м^3, месторождение относится к крупнейшим в России и уникальным в мире [1, 4]. При реализации проекта – обеспечение поставок газа по трубопроводу в Европейскую часть России и в газопровод «Северный поток», города и поселки Мурманской области. В настоящее время перспективы освоения месторождения значительно возрастают, т.к. большая часть эксплуатируемых в России месторождений выработаны на 50-90% [1]. В последние годы интенсивно обсуждаются и изучаются на разных уровнях проблемы добычи и транспортировки природного газа этого месторождения, в том числе влияние на окружающую среду. Для оценки воздействия предполагаемого строительства и эксплуатации магистрального газопровода Мурманск-Волхов на окружающую среду необходимо знать фоновое состояние ее на данной территории, в том числе радиоэкологическое. Согласно действующим законодательным и нормативным документам [8 – 10], такие исследования необходимо проводить как на стадии инвестиций, так и на стадиях проектирования, строительства, эксплуатации месторождения и магистрального газопровода. Радиационную опасность может представлять не только строительство, но и эксплуатация газопровода, т.к. вместе с газоконденсатом и промысловыми водами могут выкачиваться сопутствующие нефти и газу природные радионуклиды, в основном, радий-226, которые осаждаются на стенках внутренних поверхностях нефтегазопромыслового оборудования и накапливаются в количестве, достаточном для того, чтобы отразиться на окружающей среде и здоровье обслуживающего персонала [6].

Естественный радиационный фон на исследуемой территории складывается из космического излучения и излучения природных радионуклидов, содержащихся в поверхностном слое земной коры. Основной вклад в формирование мощности дозы гамма-излучения на территории Мурманской области и Карелии вносят природные радионуклиды рядов урана-238 и тория-232, калий-40, содержащиеся в горных породах (амфиболовые, биотит-амфиболовые и биотитовые гнейсы с прослоями железистых кварцитов, магнетит-куммингтонитовые кварциты, гранат-биотитовых гнейсы и др.), часто содержащие акцессорные минералы [2, 5, 7]. На исследуемых участках возможны техногенные загрязнения, связанные с испытанием ядерного оружия на Новой Земле в 1960-х годах и последствиями Чернобыльской аварии. Радиационная обстановка на этих территориях ранее не изучалась.

Данная работа посвящена радиогеоэкологическому обследованию проектируемых участков для строительства производственных зданий газопровода (компрессорные станции (КС) и ремонтно-технические центры (РТЦ)) на территории Мурманской области и Карелии. Исследования проводились в 2008 г. в соответствии с требованиями действующих нормативных документов, предъявляемыми к территориям застройки и проектированию производственных зданий и сооружений [3, 8], с целью обеспечения радиационной безопасности объектов, обслуживающего персонала и населения, окружающей среды.

Оценка радиационной безопасности на стадии проектирования и проведения инженерно-изыскательских работ на участках строительства магистрального газопровода Мурманск-Волхов выполнялась по техническому заданию ООО “ГП «Промнефтегазэкология» (г. Тюмень) на основании Аттестата аккредитации лаборатории радиационного контроля ИХТРЭМС КНЦ РАН, выданного Федеральным агентством по техническому регулированию и метрологии (область аккредитации – радиологическое обследование и оценка территории участков застройки, жилых и производственных зон, санитарно-защитных зон, зон наблюдения, почвы, растительности и т.п.). Объектами исследований были территории инженерно-изыскательских работ, общая площадь которых составляла 120 га (шесть площадок по 20 га): на территории Мурманской обл. - КС2 «Оленегорская», РТЦ1 «Кандалакша», КС3 «Зеленоборская»; на территории Карелии - КС4 «Кемь», КС5 «Медвежьегорская», РТЦ2 «Медвежьегорск». Радиационно-экологическое обследование территорий включало определение следующих радиационных параметров:

- измерение гамма – фона (мкР/ч, мкЗв/ч) методом непрерывной пешеходной гамма-съемки (по пересеченной лесной и болотистой местности);
- измерение мощности амбиентной эквивалентной дозы гамма-излучения и нейтронного излучения (МАЭД, мкР/ч и мкЗв/ч) на контрольных точках (КТ) по сетке 50х50м;
- определение концентрации радона и продуктов его распада (эквивалентные равновесные объемные активности (ЭРОА) дочерних продуктов распада радона и торона) в атмосферном воздухе на контрольных точках (по 20 КТ на каждой площадке) и в приземном слое (Бк/м^3, по 30 КТ, измерения сопровождались проходкой копуш);
- определение плотности потока радона (ППР, мБк/м^2·с);
- экспрессное определение радионуклидного состава почвы и плотности потока альфа- и бета-частиц

(частиц/см^2·мин) на контрольных точках, определенных для контроля радона.

Во время экспедиционных работ на 6 исследуемых площадках отобрано 17 проб почв (тип почв - лесная, торфяная, подзол, песчаная). В лабораторных условиях проведены пробоподготовка и определение содержания природных (^{226}Ra, ^{238}U, ^{232}Th и ^{40}K) и техногенных (^{134}Cs, ^{137}Cs, ^{90}Sr и др.) радионуклидов. Данные учитывались при оценке радоноопасности и радиационной безопасности исследуемых районов.

Исследования проводили радиометрическими и спектрометрическими методами по аттестованным методикам с использованием сертифицированной и поверенной аппаратуры: радиометры и дозиметры - ДРГ-01Т1, МКС-04Н, СРП-88Н, МКС-А03-1Н, РАА-20П2 “Поиск”; радиологический комплекс “Прогресс-АБРГ” [2]. Результаты основных радиационных показателей приведены в табл. 1, 2.

Таблица 1. Характеристики уровней гамма-излучения.

Наименование	Гамма-фон		МАЭД	
площадки	количество измерений на площадках	мкЗв/ч	количество КТ на площадках	мкЗв/ч
КС2 «Оленегорская»	2670	0.03-0.07	89	0.11±0.01
РТЦ1 «Кандалакша»	2970	0.03	99	0.12±0.01
КС3 «Зеленоборская»	2970	0.03	99	0.11±0.01
КС4 «Кемь»	2400	0.02-0.05	80	0.11±0.01
КС5 «Медвежьегорская»	2430	0.02-0.07	81	0.10±0.01
РТЦ2 «Медвежьегорск»	2970	0.01-0.04	99	0.11±0.01

Таблица 2. Радиационные характеристики приземного слоя воздуха.

Наименование площадки	Концентрации, Бк/м^3			Плотность потока Rn,
	ОА Rn	ЭРОА Rn	ЭРОА Tn	мБк/(м^2·с)
КС2 «Оленегорская»	4±2	2±2	1±1	30
РТЦ1 «Кандалакша»	8±2	5±2	2±1	15
КС3 «Зеленоборская»	2±2	2±2	1±1	20
КС4 «Кемь»	2±2	2±2	2±1	30
КС5 «Медвежьегорская»	2±2	2±1	2±1	35
РТЦ2 «Медвежьегорск»	7±3	4±2	2±1	25

Таблица 3. Радиационно-гигиенические характеристики проб почвы, отобранных на территории инженерно-изыскательских работ.

№	Шифр	Удельная радиоактивность, Бк/кг				$A_{эфф}$,	МАЭД,
п/п	пробы	^{137}Cs	^{40}K	^{226}Ra	^{232}Th	Бк/кг	мкЗв/ч
1	2	3	4	5	6	7	8
1	КС2-1	<1.8	276±64	6.9±2.9	8.3±3.3	42.5±10.6	0.13
2	КС2-2	14.9±3.0	105±60	12.2±7.4	9.0±5.7	32.3±7.5	0.13
3	*КС2-3	<1.5	284±64	7.2±2.9	12.0±3.6	48.4±11.1	0.14
4	РТЦ1-1	14.6±4.3	274±80	15.1±5.5	4.4±2.1	44.1±11.0	0.10
5	*РТЦ1-2	24.1±6.3	257±87	21.8±7.8	5.1±6.6	52.5±13.1	0.12
6	КС3-1	13.8±3.5	216±60	24.3±5.6	3.4±1.6	47.1±11.8	0.10
7	КС3-2	11.2±2.9	272±66	13.3±4.0	2.9±1.1	40.4±10.1	0.10
8	КС4-1	<1.5	399±84	12.3±3.7	10.6±3.7	62.2±13.0	0.12
9	КС4-1	<1.7	405±88	12.3±3.9	10.8±4.0	62.8±13.8	0.10
10	*КС4-2	<2	353±130	9.1±3.0	7.8±2.6	47.7±11.9	0.13
11	КС5	<2	677±134	20.8±5.4	33.9±7.0	125.7±25.1	0.11
12	*КС5	<2.5	708±147	20.6±6.2	37.1±8.4	132.5±27.8	0.12
13	РТЦ2	4.9±3.1	484±110	13.1±5.5	17.7±6.5	79.7±18.3	0.12
14	*РТЦ2	<3	1090±212	41.1±9.3	70.1±12.7	162±32	0.14

Примечания: 1. В графах, содержащих значения удельных активностей, после знака ± приводится величина среднеквадратичного отклонения по исследованной выборке. Погрешность определения удельных активностей составляет не более 10%. 2. Расчет $A_{эфф}$ выполнен по НРБ-99, п. 5.3.4. [3]. 3.* пробы содержат выветренные горные породы.

Установлено, что гамма–фон на исследуемых участках не превышает естественного для данной местности. Радиационных аномалий и наличия точечных источников излучения не выявлено. На всей территории преобладают низкие уровни радиации, особенно в заболоченных местах, составляющих от 30 до 80% площади участков, – 0.02 мкЗв/ч (микроЗиверт в час). Повышение уровня радиации до 0.25 мкЗв/ч характерны для участков с выходами на поверхность коренных пород. Согласно НРБ-99 (п.5.3.2) значение МАЭД внешнего гамма-излучения на участках предполагаемого строительства производственных зданий не превышает среднее значение мощности дозы на открытой местности (в районе расположения здания) более чем на 0.2 мкЗв/ч.

На всех площадках значения плотности потоков альфа-, бета- и нейтронного излучения низки и находились в пределах 0-6 частиц/см^2·мин в зависимости от вида излучения; при экспрессном определении радионуклидного состава почвы в полевых условиях обнаружен только калий-40. Концентрация радона в приземном слое воздуха, объемная активность дочерних продуктов радона и торона в воздухе, плотность потока радона на исследуемых участках значительно ниже нормативных значений для вновь строящихся зданий (соответственно 100 Бк/м^3, 80 мБк/м^2·с (НРБ-99, п. 5.3.2 и ОСПОРБ-99, п. 5.2.3). Однако, необходимо учесть возможность повышения концентраций радона при строительстве объектов (на значительной глубине в котлованах под здания) и провести дополнительные исследования в теплое время года, когда наблюдается максимальное выделение радона из почвы. Поэтому вероятность повышения выхода радона из почвы определялась также дополнительными радиологическими исследованиями проб почвы, отобранных на исследуемых участках.

Изучение радиационно-гигиенических характеристик почвы в стационарных условиях показало, что в почве содержатся природные радионуклиды в количестве (мас.%): уран-238 – от 0.0005 до 0.0024, торий-232 - от 0.002 до 0.024 (табл. 3). В материнских горных породах содержание урана-238 повышается до 0.004 мас.%, что является предпосылкой образования радона в подземных водах. В торфяных почвах содержание определяемых радионуклидов выше, чем в почве песчаного типа, за исключением К-40. Удельная активность радия-226 во всех типах почв находится на уровне 5-22 Бк/кг, для почв с большим количеством выветренных горных пород (РТЦ2) – до 42 Бк/кг. Максимальные значения радия-226 и тория-232 обнаружены в почве на участке РТЦ2 (Медвежьегорск), что обусловлено высоким содержанием в ней обломков горных пород. Эти участки можно рассматривать как потенциально радоноопасные. МАЭД на поверхности воздушно-сухих проб почвы соответствовал значениям, полученным в полевых условиях. Средние значения эффективной удельной активности почвы находятся в пределах 25-195 Бк/кг с учетом неопределенности измерений (рис. 1).

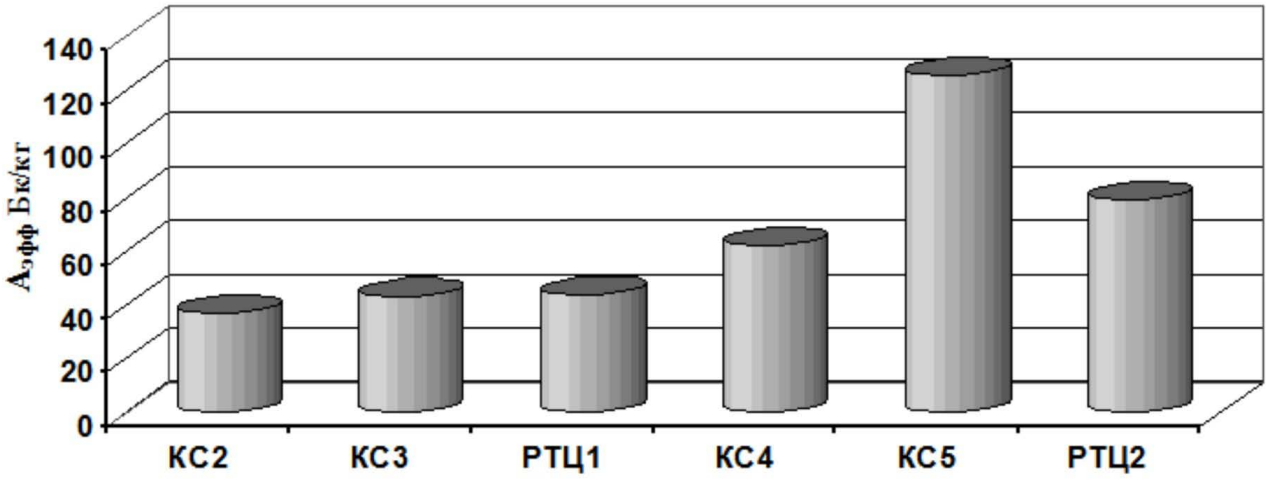


Рис. 1. $А_{эфф}$ почвы на площадках строительства газопровода.

На территории Мурманской области (КС2, РТЦ1 и КС3) основной вклад в $А_{эфф}$ почвы вносит калий-40 (до 94%); в Карелии (КС4, КС5 и РТЦ2), вклад калия-40 в $А_{эфф}$ не превышал 58% (рис. 2). Вклад радия-226 и тория-232 в $А_{эфф}$ на участках Карелии составлял 16-20% и 22-35%. Исследуемые почвы имеют калиевый и калий-ториевый характер радиоактивности. Эти данные хорошо согласуются с геологическим строением районов.

Учитывая полученные данные, а также плотность и влажности почвы, коэффициенты диффузии радона из глинистых, песчаных и торфяных типов почв, коэффициенты эманирования, полученных экспериментальным методом (измерения в полевых условиях альфа-радиометром РРА-20П2) были рассчитаны значения плотности потоков радона для максимальных концентраций радия-226 (табл. 2). Установлено, что ППР не превышает 35 мБк/м^2·с, что значительно ниже нормативных значений для вновь строящихся зданий (НРБ-99 (п. 5.3.2), ОСПОРБ-99 (п. 5.2.3), СП 11-102-97).

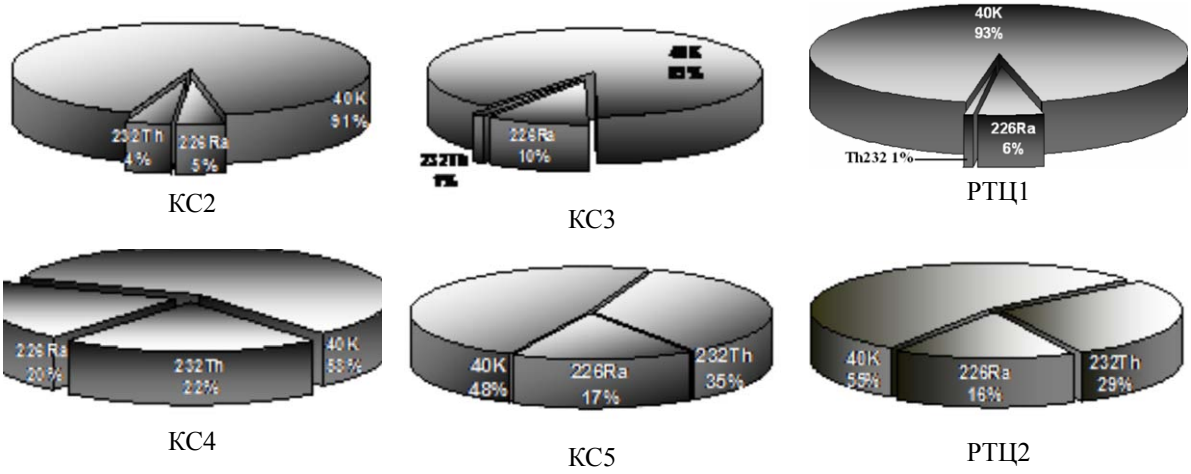


Рис. 2. Вклад радионуклидов в $A_{эфф}$ почв Мурманской области и Карелии.

Техногенные радионуклиды, кроме ^{137}Cs, в значимых количествах не обнаружены. По содержанию радионуклида цезия-137 исследуемые территории Мурманской области и Карелии относятся к незагрязненным. Незначительное повышение концентраций его (до 25 Бк/кг) отмечается в торфяной почве (северные участки: КС2, РТЦ1, КС3) и рассматривается как вторичное загрязнение. Плотностью выпадения ^{137}Cs и ^{90}Sr (менее 0.1 Ки/км^2) можно пренебречь.

Из приведенных радиационных характеристик можно сделать вывод о том, что отведенные под проектирование и строительство площадки относятся к радонобезопасным, противорадоновой защиты не требуется. Почвы относятся к нерадиоактивным и при выемке грунт может быть использован в качестве насыпи или для других целей. Радиационная обстановка в районе предполагаемого строительства магистрального газопровода Мурманск-Волхов отвечает нормативным требованиям для населения (НРБ-99). Инженерно-изыскательские работы в районе по радиационному фактору относятся к безопасным. Все участки будут расположены в удалении от городов и поселков и не представляют угрозы для здоровья населения. Полученные данные включены в ОВОС и могут быть использованы в качестве фоновых значений при последующих исследованиях. В процессе эксплуатации газопровода необходим периодический радиационный контроль за уровнем возможного радиоактивного загрязнения оборудования вследствие содержания природных радионуклидов в исходном сырье.

Список литературы

1. Брагинский О.Б. Мировой нефтегазовый комплекс. М.: Наука, 2004. 605 с.

2. Мельник Н.А. Радиогеоэкологические аспекты безопасности использования горнопромышленных отходов Кольского региона в производстве строительных материалов. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2003. 114 с.

3. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99): Гигиенические нормативы. СПб. 2.6.1.758-99. М.: Минздрав России, 1999. 116 с.

4. Остистый Б.К., Лузин Г.П., Меркулов О.Н. Проблемы освоения углеводородных ресурсов шельфовых акваторий западной Арктики. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 1999. 149 с.

5. Мельник Н.А. Радиационный мониторинг естественных радионуклидов в северных широтах // Север-2003: Проблемы и решения. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2004. С. 77- 89.

6. Санитарные правила по обеспечению безопасности на объектах нефтегазового комплекса России СП 2.6.1.1291-03. Утв. Гл. гос. сан. врачом РФ, введены в действие, зарегистрированы в Минюсте за № 4595.

7. Мельник Н.А. Специфические особенности минерального сырья Кольского региона для производства строительных материалов // Строительные материалы. 2006. № 4. С. 57-60.

8. СП 11-102-97 Инженерно-экологические изыскания для строительства. М.: Госстрой России, 1997. 37 с.

9. Федеральный закон РФ «Об охране окружающей среды», № 7-ФЗ от 10.01.2002 г. (в ред. от 26.06.2007 г.).

10. Федеральный закон РФ «О радиационной безопасности населения». М.: № 3-ФЗ, 9 января 1996. 24 с.

РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМЫ ПЕРЕРАБОТКИ ТИТАНИТА

Д.Л. Мотов
Институт химии и технологии редких элементов и минерального сырья им. И.В.Тананаева КНЦ РАН
г. Апатиты, e-mail: motov@chemy.kolasc.net.ru

Еще во времена Первой Полярной конференции – в апреле 1932 г. – председатель Объединения лакокрасочной промышленности СССР И.Ф. Байков заявил, что на базе – сфеновой руды намечено строительство комбината титановых белил годовой мощностью 60 тыс. т в районе Кандалакши, а геолог П.М. Северов в журнале «Карело-Мурманский край» № 3-4 (март 1932 г.) заверил, что сфеновые руды Кукисвумчорра и особенно Юкспора заслуживают серьезного внимания как источник титанового сырья.

До 30-х гг. прошлого века ни отечественная, ни зарубежная промышленность не знала способов переработки титанита (сфена). Этот вопрос возник после обнаружения его промышленных запасов в Хибинах. Для разложения сфена предлагали различные методы: 1) обработка хлорной известью, 2) сплавление с поваренной солью и воздействие на раствор перегретым паром, 3) получение карбидов с последующим хлорированием, 4) разложение соляной кислотой. Эти способы сложны и не представляют интереса для промышленности. При разложении сфена азотной кислотой получали продукт кремового цвета – «силитан», состоящий из двуокиси титана (40–50%), кремнекислоты (37–40%), железа (3%) и примесей.

Разработка сернокислотной технологии сфена началась в 1932 г., когда В.Е. Тищенко и Я.М. Песин сделали попытку получить двуокись титана непосредственно из хибинской апатито-сфеновой руды, содержащей 21.7% ~ TiO_2, 20% P_2O_5, 3.3% Fe_2O_3. Из-за примеси апатита в исходном материале титан почти не переходил в раствор, а оставался в осадке в виде фосфата. Был сделан вывод о том, что эта руда непригодна для получения титановых пигментов.

Обработку сфенового концентрата производили 80%-ной серной кислотой при 140–145°С с расходом на 1 вес. ч. концентрата 1.5 вес. ч. H_2SO_4. Процесс разложения занимал 10–11 ч. Выщелачивание водой измельченной массы проводили в течение 7 ч при 97°С. Отфильтрованный раствор после восстановления металлическим железом подвергали гидролизу с применением «зародышей». Гидролизованный продукт после промывки прокаливали при 500° в течение 3 ч. Общий выход двуокиси титана от содержания ее в сфеновом концентрате не превышал 70%, а качество пигмента оставалось неудовлетворительным.

По способу, разработанному в НИИ лакокрасочной промышленности и затем проверенному в заводских условиях, рекомендовалось разлагать концентрат 50–55%-ной серной кислотой при 110–113°С и при отношении сфен: серная кислота 1:1.5 в течение 20–30 ч. Раствор отделяли от осадка и подвергали гидролизу для получения двуокиси титана, а твердый остаток прокаливали и использовали как низкосортный пигмент бежевого или розового цвета. Растворы, полученные после разложения сфена, имели высокий кислотный фактор, неблагоприятный для получения методом гидролиза двуокиси титана. В связи с этим гидролиз производили только после частичной нейтрализации раствора известковым молоком, при этом получался смешанный титатано-кальциевый пигмент, содержащий около 20% двуокиси титана и обладающий низкими малярными свойствами. Этот метод сернокислотной переработки сфена в небольших масштабах применялся в 1934–1940 гг. на химическом заводе № 3 треста «Ленгорместпром» в Ленинграде и в артели «Химик» Кировска. В обоих случаях процесс носил полукустарный характер, в связи с чем себестоимость получаемого пигмента была весьма высока.

Концентрат производился из сфеновой руды на специально построенной для этих целей обогатительной сфеновой фабрике, примыкающей к ловчорритовой фабрике на 23-м километре у г. Кировск.

В 1959 г. в Кольском филиале АН СССР нами были проведены исследования по комплексной переработке сфенового концентрата в лабораторном, а затем в крупнолабораторном масштабах. В основу метода переработки была положена так называемая сернокислотно-аммонийная схема, сущность которой заключалась в том, что концентрат сплавляли со смесью серной кислоты и сульфата аммония, а при выщелачивании сплава раствором сульфата аммония титан высаливали в виде оксосульфатотитаната аммония $(NH_4)_2TiO(SO_4)_2 \times H_2O$. Осадок отфильтровывали и промывали. Титановую соль выщелачиванием переводили в раствор и методом гидролиза из него получали двуокись титана.

На лабораторной установке шнекового типа нами были проведены испытания непрерывного способа разложения сфенового концентрата серной кислотой и смесью серной кислоты с сульфатом аммония. Был использован концентрат с крупностью помола 200 меш., а также после вибропомола. Степень разложения сфенового концентрата в аппарате непрерывного действия составляла 83% при температуре реагирующей массы на выходе из аппарата 220°С. В транспортном отношении при разложении сфенового концентрата смесью серной кислоты и сульфата аммония установка шнекового типа обладала большими возможностями, так как при максимальной подаче пульпы сплав до выхода из аппарата не затвердевал.

Исследование кинетики разложения сфенового концентрата в периодическом процессе позволило сделать вывод о том, что при температуре около 200°С высокая степень разложения сфена (97%) может быть достигнута при сплавлении со смесью серной кислоты и сульфата аммония. Серная кислота (купоросное масло) или серная кислота с малой добавкой сульфата аммония для вскрытия сфенового концентрата в этих условиях были менее активными реагентами, причем разложение сфенового концентрата серной кислотой следовало проводить при температуре ниже 180°С, тогда титан в сплаве получали в виде растворимых сульфатов и выщелачивали в раствор.

Осуществление технологического процесса через стадию выделения оксосульфатотитаната аммония для сфенового концентрата имело смысл только в случае его комплексной переработки с извлечением редких металлов. Однако вследствие малого содержания в сфеновом концентрате редких металлов комплексная схема не была достаточно эффективной. На переработку 1 т сфенового концентрата, содержащего 30% TiO_2, расходовали 1.5 т серной кислоты (моногидрата) , 0.4 т сульфата аммония и получали около 240 кг двуокиси титана и 1.4 кг Nb_2O_5.

Проведены также исследования по разложению сфенового концентрата серной кислотой с целью получения растворов сульфата титана с низким кислотным фактором. При температуре, не превышающей 180°С, и соответствующем расходе кислоты разложение сфена протекало по реакции:

$$CaTiSiO_5 + 2H_2SO_4 = TiOSO_4 \times H_2O + CaSO_4 + SiO_2 + H_2O.$$

При этом с титаном связывался один моль серной кислоты. Теоретически могли быть получены титановые растворы с кислотным фактором менее двух. Была изучена зависимость степени разложения сфена и кислотного фактора получаемых растворов от тонины помола концентрата, продолжительности нагревания и температуры реакции. При 120°С достигали разложения сфена не более чем на 40%. С повышением температуры нагревания реагирующей массы в течение 10–12 ч извлечение титана достигало 60–70%. Однако при температуре 170°С и выше наблюдали образование безводного титанилсульфата и извлечение титана понижалось.

Причина плохой вскрываемости сфена серной кислотой при 170–180°С связана с тем, что основная масса сфена разлагается за первые полчаса нагревания, затем скорость реакции замедляется вследствие выделения кремнекислоты, плотной пленкой обволакивающей зерна материала и препятствовавшей диффузии серной кислоты внутрь зерен. В разбавленной серной кислоте пленка кремнекислоты образуется более рыхлой и проницаемой для серной кислоты и продуктов реакции. При жидкофазном вскрытии растворы сульфата титана получали с высоким кислотным фактором и они были непригодны для гидролиза. В условиях твердофазного процесса при малом расходе серной кислоты получали растворы с кислотным фактором, близким к требуемому, но в этом случае получался пористый, твердый спек, не извлекаемый из реактора. Переход титана в раствор составил в среднем при выщелачивании твердофазного спека 66%.

Основные показатели сернокислотных технологических схем, разработанных ранее для сфена с целью получения из него титановых пигментов, приведены в таблице. Эти схемы были недостаточно эффективны и не позволяли получать качественные титановые пигменты. Очевидной причиной этого является своеобразие сфенового концентрата как титанового сырья, содержащего значительные количества примесей фосфора и алюминия, отрицательно влияющих на процесс.

Таблица. Технологические схемы сернокислотной переработки сфенового концентрата с получением титановых пигментов.

Автор схемы	Показатели						Качество полученного продукта
	Расход H_2SO_4 (моногидрата) на 1 т концентрата, т	Концентрация H_2SO_4, %	Температура разложения t, °С	Продолжительность разложения, ч	Степень вскрытия, %	Степень перехода титана в раствор, %	
ГИПХ	1.5	80	140-145	10-11	70	70	Двуокись титана неудовлетворительного качества
НИИЛКП	4.0	50-55	110-113	20-30	<50	<50	Смешанный титано-кальциевый пигмент, содержащий 20-25% двуокиси титана и обладающий низкими пигментными качествам
КФАН СССР	2.7 + 0.8 сульфата аммония	92.5	230-260	около 1 ч	89	80	Грубая, жесткая двуокись титана желтого цвета
КФАН СССР	1.5-2.4	80-92.5	120-200	24	70	65	То же

Вопрос о создании промышленной технологии переработки сфенового концентрата на титановые пигменты был поставлен перед нами в 1968 г. в связи с важностью комплексного использования богатейших апатито-нефелиновых руд. Объединением «Апатит» была намечена схема выделения сфенового концентрата из хвостов нефелиновой флотации.

Проведенный нами анализ возможных технологических схем показал, что наиболее эффективной может быть схема, по которой разложение сфенового концентрата проводится серной кислотой при ее минимальном расходе, но с получением после выщелачивания концентрированных титановых растворов, по кислотному фактору благоприятных для выделения методом гидролиза титано-кальциевых пигментов с высоким содержанием двуокиси титана. В связи с этим нами проведены лабораторные исследования и разработаны основные операции технологии. Процесс складывался из следующих операций: помол до крупности -200 меш, очистка сфенового концентрата от вредных примесей апатита и нефелина обработкой оборотными кислыми растворами, сульфатизация, выщелачивание, фильтрация

титанового раствора, гидролиз, прокалка с получением титанового пигмента. По этой схеме, наряду с титановым пигментом, получался кальциево-кремнеземный продукт, который путем несложной обработки можно было использовать в качестве пигмента-наполнителя. Отходом производства являлась гидролизная серная кислота, которая применялась для химической очистки исходного сфенового концентрата. Было изучено влияние концентрации серной кислоты, температуры, длительности процесса, Т:Ж и других факторов на степень очистки сфена от фосфора и алюминия. Разработан процесс, при котором удается получить сфеновый концентрат с содержанием менее 0.1 P_2O_5.

Сульфатизация сфенового концентрата исследовалась в освинцованном реакторе при непрерывном перемешивании. Найдены условия, обеспечивающие практически полное вскрытие сфена. Титан образует моногидрат титанилсульфата (СТМ), хорошо растворимый в воде и практически нерастворимый в сернокислых растворах, а при сульфатизации переходящий в твердую фазу. Освобождающаяся при вскрытии сфенового концентрата кремнекислота не обволакивает частиц сфена и не препятствует его дальнейшему разложению, а находится с осадке в виде самостоятельной тонкодисперсной фазы.

Выщелачивание продукта сульфатизации ведется в определенном режиме, позволяющем получать сернокислые титановые растворы с содержанием около 180 г/л двуокиси титана и кислотным фактором 2.1-2.5. Гидролиз сернокислых титановых растворов производился после частичной их нейтрализации известковым молоком с получением титано-кальциевого пигмента, содержащего не менее 50% двуокиси титана. Вторым продуктом был кальциево-кремнеземный пигмент-наполнитель, в котором в тонкодисперсной форме сочетаются ангидрит и аморфный кремнезем с небольшим количеством пигментной двуокиси титана. Технология проверена на модельной установке, смонтированной на АНОФ-2 Объединения «Апатит». Модельные испытания подтвердили основные показатели процесса, полученные в лабораторных условиях. Химическая очистка сфенового концентрата позволяла снизить содержание вредных примесей апатита и нефелина. Степень очистки от фосфора составляла для гравитационного концентрата 95-98%, для флотационного: от фосфора – 85%, от алюминия >60%. Разработанный режим двухстадийной сульфатизации очищенного сфенового концентрата 70-72%-ной кислотой с ее расходом 1.1-1.3 т (моногидрата) на I т концентрата обеспечил степень вскрытия сфена 95-97%.

В процессе сульфатизации меняется состав жидкой и твердой фаз и происходит загустевание реакционной массы за счет увеличения количества твердой фазы на 80-100%. Применение соответствующего режима разбавления позволяло вести процесс сульфатизации с сохранением пульпы в текучем состоянии, что очень важно для технологического оформления процесса. Разработанный режим выщелачивания позволил перевести в раствор 80% титана, содержащегося в сфеновом концентрате. Растворы после выщелачивания содержали 140-200 г/л двуокиси титана при отношении серной кислоты к двуокиси титана (кислотном факторе) в пределах 2.0-2.8. Установлен режим гидролиза с применением титановых «зародышей» и нейтрализацией избытка серной кислоты 18%-ным известковым молоком до кислотного фактора 2.0. Степень гидролиза составила 95-98%.

Получены новые титановые пигменты. Титано-кальциевый пигмент характеризуется следующими показателями: белизна - 95-97%, маслоемкость - 30-35 г/100 г, укрывистость - 48-60 г/м^2, интенсивность 600-700 условных единиц, дисперсность - 60-70% частиц менее I мкм, остаток на сите 0.04 К после мокрого просева 0.2-0.3%. Второй продукт - кальциево-кремнеземный пигмент-наполнитель содержит до 10% пигментной TiO_2, 40-45% тонкодисперсного ангидрита и столько же аморфного тонкодисперсного кремнезема. Он светло-бежевого цвета, обладает укрывистостью 100-120 г/м^2, маслоемкостью 25-30 г/100 г, дисперсностью 50-60% частиц размером менее I мкм, остаток на сите 0.04 К после мокрого просева 0.2-0.3%.

Продукты, полученные на модельной установке, были направлены для испытания в отраслевые институты, лакокрасочные заводы страны и промышленные предприятия Мурманской области. Испытания показали, что титано-кальциевый пигмент может быть использован в качестве титановых белил для масляных и водоэмульсионных красок, обладающих высокими пигментными характеристиками. По времени высыхания, твердости пленки и укрывистости этот пигмент превосходил широко применяемые тогда цинковые белила. Кроме того, для приготовления белил из титано-кальциевого пигмента не нужны дефицитные наполнители, их заменяет содержащийся в продукте ангидрит. Судя по результатам испытаний, также должен был получить широкое применение в народном хозяйстве кальциево-кремнеземный пигмент-наполнитель.

На основе выполненных исследований был выдан «Технологический регламент» на проектирование опытно-промышленного цеха по переработке сфенового концентрата на титановые пигменты производительностью 1000 т концентрата в год. Ленинградским филиалом ГИПИ лакокрасочной промышленности в 1978 г. было закончено проектирование. Предполагалось, что работа на опытно-промышленной установке производительностью 1 т в сутки готового продукта даст возможность отработать технологию, подобрать соответствующую аппаратуру для оформления процесса, расширить круг потребителей и выполнить их требование к продуктам. Для удобства эксплуатации почти все оборудование было стандартизировано, что позволяло иметь гибкую схему получения пигментов на основе двуокиси титана, но и давало возможность проведения работ по отладке технологии пигментной двуокиси титана. С самого начала было решено создать единую установку, а скорее цех, состоящий из двух отделений: обогатительного и технологического, причем схема обогащения разрабатывалась ОАО «Апатит», а технология переработки сфенового концентрата на пигменты - нами в ИХТРЭМСе КФ АН.

Трудности возникли сразу при утверждении в октябре 1978 г. проекта ОПУ в Минхимпроме при участии двух Главков - Горнохимического как хозяина комбината «Апатит» и Лакокрасочного как потребителя пигментной продукции. Проектантов ГИПИ ЛКП представлял главный инженер проекта (ГИП) В.Л. Герман, разработчиков-химиков автор этих строк, а от предприятия, где должна была быть размещена ОПУ – начальник ЦЛ В.И. Котилевский. Реализация проекта оценивалась в 3 млн. рублей, а это требовало его утверждения на уровне Министра

химпромышленности Л.А. Костандова.

При рассмотрении вопроса представитель комбината «Апатит» В.И. Котилевский заявил, что обогатительное отделение им не требуется, так как у них создается своя отдельная горно-обогатительная установка для отработки схем обогащения различных апатито-нефелиновых руд, на которой можно будет, наряду с апатитовым и нефелиновым, попутно получать сфеновый концентрат и снабжать им ОПУ «Пигмент». Я как разработчик технологии и представитель Института химии КФ АН категорически настаивал на том, чтобы была построена комплексная установка, на которой из текущих хвостов нефелиновой флотации фабрики АНОФ-2 постоянно, а не от случая к случаю, нарабатывался сфеновый концентрат, служащий сырьем для технологического отделения ОПУ «Пигмент».

У комбината «Апатит» в лице В.И. Котилевского был весомый довод – удешевить строительство и сократить сроки ввода в эксплуатацию объекта. Мнения по этому вопросу разошлись, но судьбу установки решила позиция главного инженера по строительству Горнохимического Главка И.Б. Вассермана. Помог случай. Ему в тот день 6.10.1978 г. исполнилось 70 лет – для чиновника солидный возраст - и в Главке сотрудники готовились к торжеству. Я невольно оказался в орбите этого события и написал стихи - посвящение юбиляру, в которых постарался отразить его многолетнюю деятельность строителя горнохимических объектов. Я прочел эти стихи во время торжества. Юбиляр был растроган и при всех объявил, что он теперь считает своим долгом и буквально делом жизни дать дорогу этой ОПУ, от которой, как он понимал, зависила судьба сфена, а с ним комплексного обогащения и развития флагмана Главка – комбината «Апатит». Он сдержал свое слово, Проект был утвержден Министерством и выделены средства для его реализации.

Строительство силами треста «Апатитстрой» началось в 1979 г. У нас появился выпускник Ленинградской техноложки А.Г. Артеменков и мы с ним курировали строительство. Видя положительную позицию Минхимпрома, руководство комбината «Апатит» в лице Г.А. Голованова выступило с инициативой за счет средств Комбината построить Пилотную установку, на которой обкатать технологию, чтобы легче было бы освоить со временем строящийся цех. В проектировании Пилотной установки отличилась Н.Я. Васильева, которая так прикипела к этому делу, что со временем возглавила Центральную лабораторию комбината «Апатит», в которую вошел и сам цех «Пигмент». Название цеху дал сам Г.А. Голованов.

Изюминкой технологии было сернокислотное вскрытие очищенного сфенового концентрата 68-70%-ной серной кислотой с ее постепенным разбавлением до 55%-й, при этом сфен разлагался, титан переходил в раствор и высаливался из него в виде хорошо растворимой в воде фазы – СТМ, после чего масса фильтровалась и жидкая фаза возвращалась на следующее вскрытие с добавлением концентрированной кислоты, чтобы получалась 68-70%-я H_2SO_4 в начале процесса. Такая технология обеспечивала сравнительно низкий расход серной кислоты и давала такой кислотный фактор раствора, поступающего на гидролиз, чтобы при нейтрализации известью получить оптимальное соотношение сульфата кальция и диоксида титана (1:1) в получающемся титано-кальциевом пигменте.

В самом начале испытаний, когда на Пилотной установке пустили новый чистенький реактор, вскрытие происходило ночью и закончилось так называемым «козлом», то есть масса схватилась и ее нельзя было ни перемешать, ни выгрузить. Это был удар по технологии. Анализ показал, что вскрытие по титану было очень высокое (99%), но в чистом реакторе не было никакой затравки и СТМ не кристаллизовался, а просто полимеризовался и жидкая фаза перешла в вязкое стеклообразное состояние. Такое произошло только один раз. Затем мы при сульфатизации вводили как затравку кристаллы от предыдущего вскрытия и подобных фокусов больше не было. Цех «Пигмент» был официально сдан в эксплуатацию в 1984 г. Эксплуатация цеха и исследования идут и в настоящее время. В многоплановой работе по технологии сфена участвовали от ИХТРЭМС помимо автора сотрудники Максимова Г.К., Герасимова Л.Г., Артеменков А.Г., Дубошин Г.Н., Фрейдин Б.М., Харченко Т.Т., Сафонова Л.А. и др.

Первоначально на Установке была реализована переработка сфенового концентрата на титано-кальциевый пигмент, представляющий собой сочетание $CaSO_4$ как ядра с оболочкой из диоксида титана при их весовом соотношении 1:1. В дальнейшем поставлена цель получения непосредственно пигментного TiO_2 рутильной модификации. На первом этапе была осуществлена упрощенная технология, по которой вскрытие проводится серной кислотой 950-1100 г/л при Т:Ж=1:2.0-2.5, температуре 140-155°С в течение 1-4 ч. При этом, хотя и не достигается высокая степень вскрытия сфена (менее 90%), но не происходит осаждение СТМ и титан остается в жидкой фазе. После охлаждения суспензии и фильтрации уже из этого чистого раствора при нагревании осаждается СТМ. Кальциево-силикатный осадок подвергается гидроклассификации и переводится в пигмент-наполнитель. На втором этапе решалась задача создания промышленной технологии, схема которой представлена на рисунке.

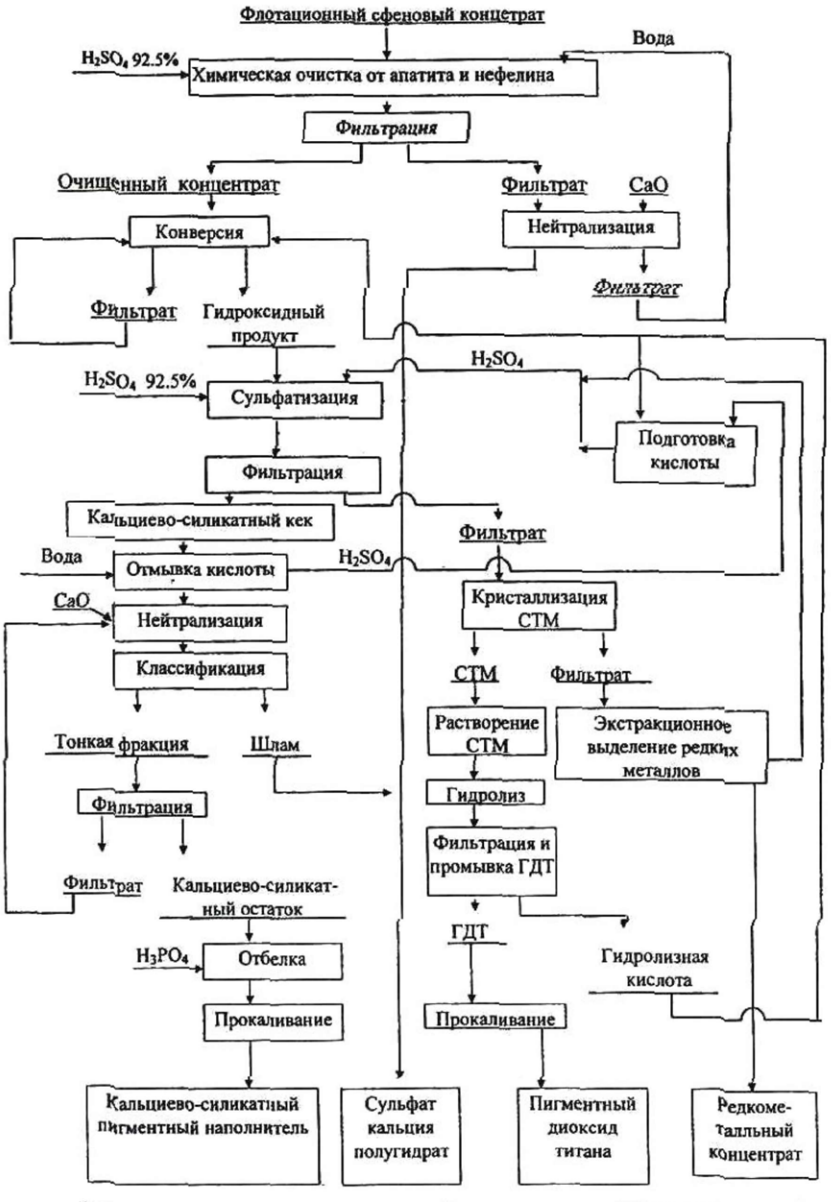
С целью увеличения степени извлечения титана перед сульфатизацией предложена операция кислотной конверсии сфена в гидроксидный продукт (ГП), предусматривающая разрушение кристаллической решетки минерала с переводом титана в отдельную легко вскрываемую фазу. Для конверсии используется 22-32%-я серная кислота, что экономически и экологически оправдано, так как при этом появляется возможность использования в замкнутом цикле отхода производства - сернокислого раствора после гидролиза СТМ. Кислотная конверсия осуществляется при атмосферном давлении или в автоклаве, причем не требуется измельчения концентрата. Сульфатизация ГП после конверсии проводится 65-70%-й серной кислотой при 110-120°С в течение 1.0-1.5 ч с достижением степени перехода титана в продукционный раствор 95-97%. В таком растворе

содержание TiO_2 составляет 80-110 г/л, H_2SO_4 950-1100 г/л, то есть он пригоден для непосредственного выделения СТМ без какого-либо концентрирования. Кристаллизация СТМ происходит на 97-99% в течение 4-5 ч при 140-145°С с введением зародышей.

После растворения СТМ в воде при 60°С получаются сернокислые растворы, содержащие 280-300 г/л TiO_2 и имеющие низкий кислотный фактор (1.4-1.6), благоприятный для синтеза путем термогидролиза пигментного TiO_2. Последний обладает белизной 96.6-97.7 усл.ед., разбеливающей способностью 1810-1860 усл. ед. Степень рутилизации 98-99% достигается за счет того, что из сфенового концентрата предварительной очисткой перед конверсией удаляется примесь фосфора. Низкое содержание хромофорных примесей в сырье и дополнительное их удаление при конверсии позволяет ликвидировать стадию отбелки продукта гидролиза и существенно сократить его отмывку.

Преимуществом технологии, базирующейся на использовании отхода собственного производства - гидролизной кислоты для получения ГП и его сульфатизации, является снижение расхода H_2SO_4 в 1.3 раза по сравнению с переработкой традиционного титанового сырья - ильменита, а также существенное уменьшение количества отходов.

Исследования последних лет позволили разработать комплексную технологическую схему для промышленной реализации. Она предусматривает, наряду с основным продуктом - пигментным TiO_2, получение кальциево-силикатного пигментного наполнителя из твердого остатка после сульфатизации ГП путем его нейтрализации, классификации и прокаливания с выходом 4 т на 1 т TiO_2 Сернокислый раствор после химической очистки нейтрализуется известковым молоком с образованием полугидрата сульфата кальция, который может быть использован как минерализатор для цемента. Из фильтрата после кристаллизации СТМ выделяется редкометалльный концентрат (РМК), перерабатываемый экстракционным способом. Попутное извлечение редких металлов в РМК составляет ~2 кг в пересчете на Nb_2O_5 на 1 т сфена.



Технологическая схема комплексной сернокислотной переработки сфена.

Во что же превратилась сейчас Установка «Пигмент», созданная для перехода к промышленной технологии? Она стала Центральной лабораторией ОАО «Апатит», в которой как-то реализовался проект тридцатых годов о создании на Кольском полуострове Северного Химического комбината. Перечень производимой в ней продукции составляет 13 наименований. По тоннажу на первом месте стоит алюмоквасцовый коагулянт-флокулянт (АККФ), получаемый при кислотной обработке нефелиновых хвостов и используемый для сгущения пульпы апатитового концентрата на АНОФ-2 и АНОФ-3. К нему примыкает кремниевый золь из нефелина для взрывчатки на рудниках ОАО «Апатит». Из химических продуктов можно назвать очиститель ржавчины «Неффос», паста «Скайдра», водоэмульсионная краска ВД-К4-115, термос-плюс, титановый дубитель кож, в небольших количествах титановый пигмент, оболочковый пигмент и двуокись титана. Продукцию дает и обогатительное отделение – это эгириновый, титаномагнетитовый и сфеновый концентраты. Причем последний проходит химическую очистку от апатита и нефелина, а эта очистка осуществляет-

ся в химическом отделении и она была разработана как первичная операция для сернокислотной переработки сфенового концентрата. Очищенный сфеновый концентрат зарекомендовал себя как материал для покрытий сварочных электродов. Эгирин применяется в пожарном деле, титаномагнетит как утяжелитель в буровых работах. Так что функционируют и живут оба отделения – обогатительное и химическое. И напрасно при утверждении проекта в 1978 г. в Минхимпроме представитель АО «Апатит» отказывался от обогатительной части. Она пригодилась и без нее цех не смог бы существовать.

А как обстоят дела с переходом к промышленной технологии сфена, ради которой и создавалась ОПУ «Пигмент»? Можно констатировать, что промышленная сернокислотная технология сфенового концентрата разработана и остановка за малым, то есть за самим сырьем. Титанитных руд как таковых нет. Реален только сфен в хвостах нефелиновой флотации. Но его содержание в апатито-нефелиновой руде составляет около 5%, а показатели извлечения при обогащении остаются низкими, менее 20%. Это делает стоимость сфенового концентрата на уровне 4-5 тыс. руб./т и поэтому сфен не может конкурировать с традиционным титановым сырьем – ильменитом. Обогащение пока не дало требуемых показателей, но можно надеяться, что на этом поприще появятся новые научные идеи и степень извлечения сфена из хвостов в концентрат существенно возрастет. Тогда проблема титанита сможет быть решена. В частности, рассматривается возможность реализации технологии переработки сфенового концентрата с получением пигментного TiO_2 и попутной продукции. Этот промышленный модуль на 20 тыс. т пигментной TiO_2 может быть создан на площадке рафинировочного комплекса Комбината «Североникель» ОАО «Кольская ГМК», где возможно использование свободных мощностей в рамках диверсификации производства. При этом будет использована производимая на комбинате серная кислота.

В заключение можно резюмировать, что наша многолетняя химико-технологическая работа по титаниту дала свои плоды и нам остается только надеяться на усилия обогатителей.

СТРУКТУРА И СОСТАВ ШЛАКОВ ПЕЧЕНГИ: ИССЛЕДОВАНИЯ НА СКАНИРУЮЩЕМ ЭЛЕКТРОННОМ МИКРОСКОПЕ

Ю.Н. Нерадовский[1], Е.Э. Савченко[1], Н.Н. Гришин[2], А.Г. Касиков[2], Е.А. Окорочкова[2]
[1]Геологический институт КНЦ РАН, e-mail: nerad@geoksc.apatity.ru
[2]Институт химии и технологии редких элементов и минерального сырья им. И.В. Тананаева КНЦ РАН
e-mail: kasikov@chemy.kolasc.net.ru, г. Апатиты

Шлаки Печенги давно привлекают внимание как отходы производства и потенциальное сырье для производства строительных материалов. Исследованию состава и практического использования шлаков посвящена обширная литература [1-5], но рационального технологического решения до сих пор не найдено. В настоящее время на комбинате «Печенганикель» Кольской ГМК шлак получается при плавке в руднотермических печах специальной шихты, состоящей из концентрата в виде окатышей, богатой руды, кварцевого песка и оборотов металлургического производства. Считается, что он представляет собой хорошо закаленное стекло или гомогенный силикатный расплав с небольшим количеством корольков штейна, поэтому во многих работах рекомендуется к использованию целиком. Нами проведены исследования воздействия окислительного и восстановительного обжига на шлак с целью повышения контрастности свойств фаз для последующего эффективного разделения отдельных компонентов обогатительными способами [6]. Установлено чрезвычайно различное поведение частиц шлака при одних и тех же условиях. С целью выяснения причины этого явления проведены дополнительные исследования структуры исходного шлака Печенги. Результаты представлены в данной работе.

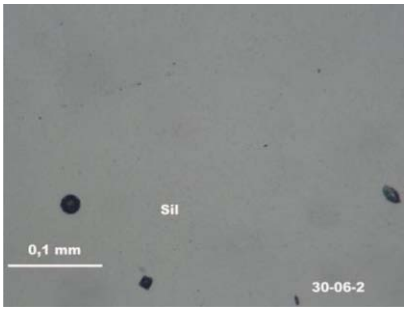


Рис. 1. Поверхность гомогенной частицы шлака - без видимых включений сульфидов. Фото в отраженном свете.

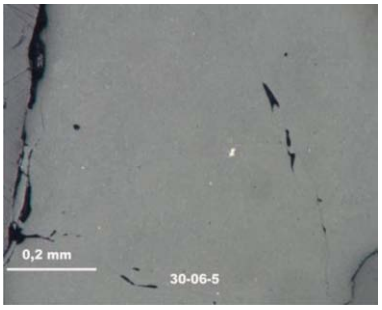


Рис. 2. Поверхность тонкодисперсной частицы шлака – с многочисленными пылевидными включениями сульфидов (белое). Фото в отраженном свете.

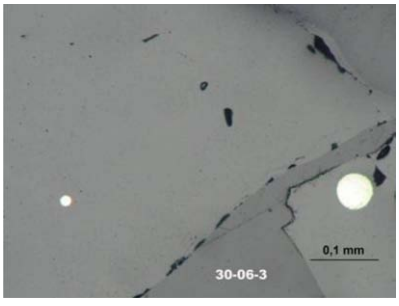


Рис. 3. Поверхность грубодисперсной частицы шлака – с крупными каплями сульфидов (белое). Фото в отраженном свете.

Форма и распределение частиц сульфидного вещества в силикатном расплаве шлака различны. Оптическими методами выявлены три типа частиц: гомогенные, тонкодисперсные и грубодисперсные (рис. 1-3).

Особенности гомогенных частиц шлака

Гомогенные частицы шлака состоят из силикатного стекла сложного состава (%): (Na_2O 1.51; MgO 11.43; Al_2O_3 7.67; SiO_2 42.41; SO_2 3.64; K_2O 1.04; CaO 3.52; TiO_2 1.05; MnO 0.51; FeO 27.21; NiO 0.00; CuO 0.00.). Около 20 % объема силикатного стекла составляют участки (кластеры), обогащенные серой (рис. 4). Они фиксируются по большей интенсивности отражения электронов. Размеры кластеров 200-300 нм. Форма округлая, распределение хаотическое. По концентрации элементов основная масса кластеров слабо отличается от фона, но присутствуют частицы с резко повышенным содержанием серы (рис. 5), вблизи которых в стекле снижается число основных кластеров.

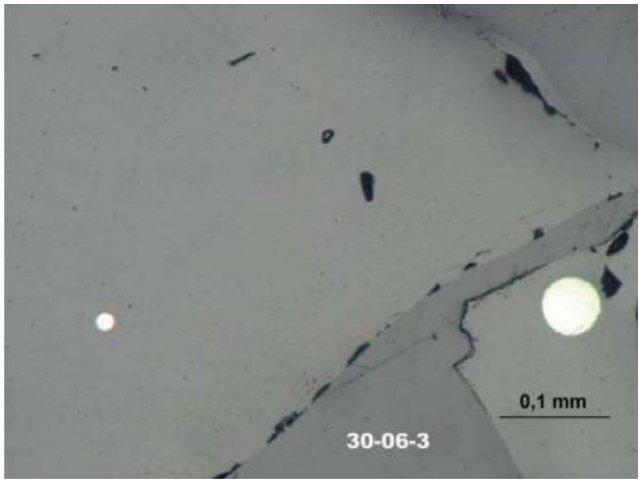


Рис. 4. Равномерная кластерная структура гомогенной частицы шлака. Размеры кластеров 200-300 нм, содержание около 20%, распределение хаотическое. Здесь и далее изображения в отраженных электронах на СЭМ LEO-1450.

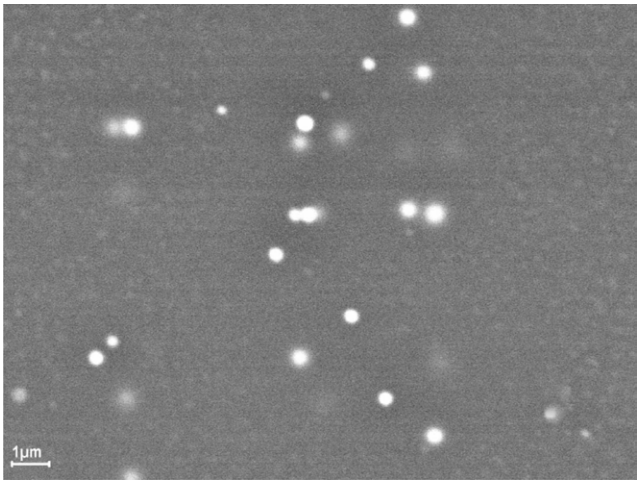


Рис. 5. Неравномерная структура в области развития частиц с высоким содержанием серы в гомогенной частице шлака: вокруг обогащенных серой кластеров число основных кластеров в стекле уменьшается и оно гомогенизируется.

Таким образом, структура шлака в оптически гомогенных частицах соответствует о аморфному силикатному стеклу, содержащему кластеры обогащенные серой. Кластеры являются, вероятно, конечной формой растворения серы в силикатном расплаве.

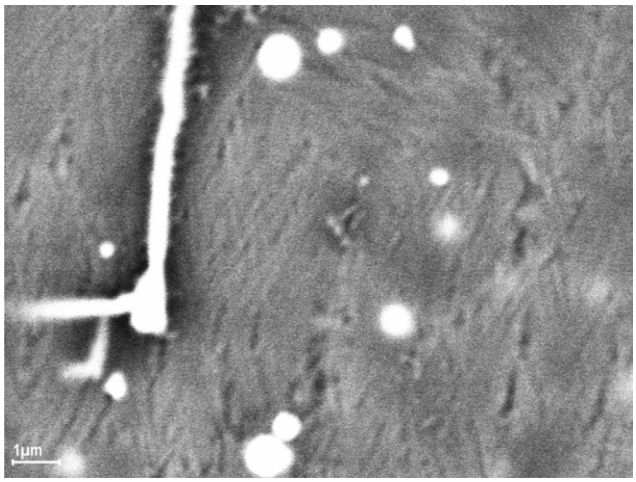


Рис. 6. Тканевая структура силикатной матрицы с включениями шариков сульфидного состава капель и пирротина в тонкодисперсной частице шлака.

Особенности тонкодисперсных частиц шлака

Тонкодисперсные частицы шлака состоят из частично раскристаллизованного до оливина силикатного расплава Fe-Si-Mg состава с включениями шариков сульфидного Ni-Fe-S расплава и пластинок пирротина. Основная часть силикатного расплава имеет тканевую структуру (рис. 6), в ней наблюдаются пятнистые агрегаты оливина скелетной структуры. Химический состав стекла с тканевой структурой: Na_2O 2.01; MgO 5.79; Al_2O_3 8.10; SiO_2 37,93; SO_2 4,68; K_2O 1.20; CaO 3.09; TiO_2 1.01; MnO 0.33; FeO 35,88; NiO 0.00; CuO 0.00. Включения сульфидного расплава имеют размеры 0,5-1,0 мкм. Выделения пирротина приурочены к области кристаллизации оливина. Пирротин не связан с шариками сульфидного расплава. Размеры пластинок пирротина 3-5 мкм, толщина около 0,5 мкм. Пластинки пирротина срастаются иногда под прямым углом. Пирротин выделяется в результате кристаллизационной дифференциации силикатного стекла при образовании оливина, за счет сброса избытка серы и железа.

Таким образом, в частицах шлака с тонкодисперсными включениями сульфидного вещества наблюдается раскристаллизация силикатного расплава до оливина и выделение сульфида железа.

Особенности грубодисперсных частиц шлака

Грубодисперсные частицы состоят из стекла состава (%): Na_2O 1.48; MgO 11,94; Al_2O_3 7,84; SiO_2 42,56; SO_2 3,45; K_2O 1.06; CaO 3.48; TiO_2 1.07; MnO 0.43; FeO 25,99; NiO 0.31; CuO 0.38% и сульфидных капель. Стекло

содержит кластеры Fe-Si-Mg-S состава в объеме около 20%, размеры их 100-200нм, близкие к таковым в гомогенных частицах (рис. 4). Вместе с тем, в матрице грубодисперсных частиц меньше размеры и количество кластеров, а также содержится примесь никеля и меди.

Сульфидные капли имеют размер от 1 до 50 мкм. По данным сканирования в характеристических лучах по составу и морфологии выделений установлено, что в составе преобладает высокосернистый Fe-Ni-S сплав -75%, присутствует металлическая медь -5% и вюстит -10% (рис. 7). Структура сплава гипидиоморфнозернистая, зерна неправильные со сложными извилистыми границами, размеры 5-10 мкм. Вдоль границ зерен наблюдаются выделения двух никелевых фаз типа металлического никеля и треворита. Общий объем их около 10%. Внутри зерен сплава присутствуют выделения крестовидных кристалликов вюстита размером около 1-5 мкм и металлическая медь в виде звездчатых кристаллов размером 1-5 мкм.

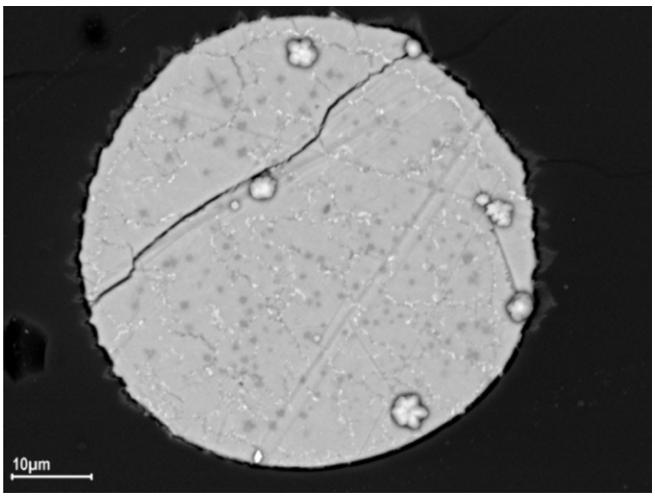


Рис. 7. Структура сульфидной капли диаметром 50 мкм. Видна сложная зернистая структура главного высокосернистого Fe-Ni-S сплава и звездочки металлической меди. По границам зерен сплава прослеживаются зерна металлического никеля (светлое) и треворита? (темное). В зернах сплава заметны также крестообразные кристаллы вюстита.

Таким образом, структура грубодисперсных частиц шлака похожа на гомогенные частицы, но отличается присутствием корольков (капель штейна) с медью и никелем, а также примесью Ni и Cu в силикатном стекле, содержащем кластеры Fe-Si-Mg-S состава.

В целом, гомогенные и грубодисперсные частицы шлака имеют аналогичную структуру стекла и близкий химический состав, а тонкодисперсные резко отличаются от них по этим параметрам. Для практических целей очевидно, что извлечение полезных компонентов Ni и Cu целесообразно только из грубодисперсных частиц шлака, в которых примесь этих элементов присутствует в стекле и корольках. Остается неясным, почему при одинаковом химическом составе стекла примесь Ni и Cu присутствует только в стекле с корольками штейна.

Выводы

Шлак представляет собой неоднородный силикатный расплав с включениями корольков штейна, оливина и пирротина. Силикатный расплав имеет кластерную структуру, состоит из стекла сложного состава, в котором присутствуют наноразмерные участки (кластеры), обогащенные Fe-Si-Mg-S. Состав силикатного расплава в основном устойчив, кроме участков кристаллизации оливина. В этих местах вследствие перехода MgO и SiO_2 в оливин стекло имеет пониженное содержание MgO и SiO_2, повышенное – FeO, за счет избытка S образуется пирротин.

Форма и распределение частиц сульфидного вещества в силикатном расплаве шлака различны и неравномерны. Выделено три типа частиц шлака, различающихся по этим признакам: гомогенные, тонкодисперсные и грубодисперсные. Присутствие примеси Ni и Co установлено только в шлаке с корольками штейна. Таким образом, извлечение полезных компонентов Ni и Cu целесообразно только из грубодисперсных частиц шлака.

Список литературы

1. Металлургические шлаки Мончи и Печенги. Л.: Наука, 1965.

2. Железо-магнезиальные металлургические шлаки Кольского полуострова. Л.: Наука, 1966.

3. Россинский Е.Е. Металлургические шлаки медно-никелевой промышленности Заполярья. Л.: Наука, 1974. 271 с.

4. Волохонский А.Н., Реженова С.А. Минералогическая оценка шлаков медно-никелевых руд как критерий их практического использования // Минералогические критерии комплексной оценки минерального сырья Кольского полуострова. Апатиты: Изд-во КФ АН СССР, 1982. С. 47-55.

5. Таужнянская З.А., Дорохина Л.Н., Шифрина Э.Д. и др. Перспектива создания безотходных производств на предприятиях цветной металлургии Кольского полуострова // Комплексное освоение минеральных ресурсов Севера и Северо-запада СССР (Европейская часть). Петрозаводск: Изд-во КарНЦ АН СССР, 1990. С. 18-20.

6. Нерадовский Ю.Н., Гришин Н.Н., Касиков А.Г. и др. Фазовые превращения при восстановительно-сульфидирующем обжиге отвальных шлаков комбината «Печенганкель» // Геология и минералогия Кольского региона. Тр. Всерос. научн. конф. Апатиты, 4-6 июня 2007 г. Апатиты: Изд-во К & М, 2007. С. 313-315.

МИНЕРАЛЬНЫЕ ПРИМЕСИ В КИАНИТЕ ХИЗОВААРСКОГО РУДНОГО ПОЛЯ

Л.С. Скамницкая, Т.П. Бубнова
Институт геологии КарНЦ РАН, г. Петрозаводск

Изучение рудообразования и вторичных изменений кианитовых руд Хизоваарского рудного поля позволило выделить три промышленных типа руды, отличающихся по условиям образования, вещественному составу, гранулометрии слагающих минералов, а также характеру кристаллизации кианита [3]. Наиболее заметны непостоянный габитус и окраска кианита, которая меняется от белой и светло-серой через бледно-голубую, голубую и синюю до темно-серой и черной.

Отличительной особенностью кианита в рудах Северной линзы (*метаморфогенный тип*) является приуроченность их к графитизированным гранат-биотитовым сланцам, что определяет цвет кианита - синевато-черный, темно-серый до черного, что обусловлено равномерным вхождением тонкодисперсного углеродистого вещества. На участке «Восточный» и «Фукситовый» распространены *метасоматические руды.* Для кианита из руд участка «Восточный» характерно присутствие мелких включений кварца и наличие графита трех видов - чешуйчатый и скрытокристаллический до тонкораспыленного в количестве 2-3 %. На участке «Фукситовый» преобладает кианит грязно-голубого цвета. На промышленно значимой Южной линзе руды представлены плотными, средне - мелкозернистыми м*етаморфогенно-метасоматическими* кианит-кварцевыми сланцами, для которых характерны широкие вариации количественного минерального состава. Кианит, представлен кристаллами светло-голубоватого или грязно-белого цвета (табл. 1).

Таблица 1. Морфологические характеристики кианита Хизоваарского рудного поля.

Месторождение, участок	Генетический тип	Характерные особенности кианита			
		содержание в руде, %	Цвет	Характер кристаллизации	Размеры, мм
Восточный Фукситовый	метаморфогенный метасоматический	18-24	Темносерый Грязно-голубой	Кристаллы таблитчатого и призматического облика	длиной до 33-40, толщиной до 50.
Северная Линза	метасоматический	До 25	Синевато-черный, темно-серый до черного.	Удлиненные призматические кристаллы	от 0,5×1 до 0,8×1,6
Южная Линза	метаморфогенно-метасоматический	10-49	Голубой, грязно-бело-серый	Переменный: Игольчатый-91% Лучистый -9%	3 х0,5 (0,01-0,06) 0,16 х 0,05 - 4,3 х 1,6

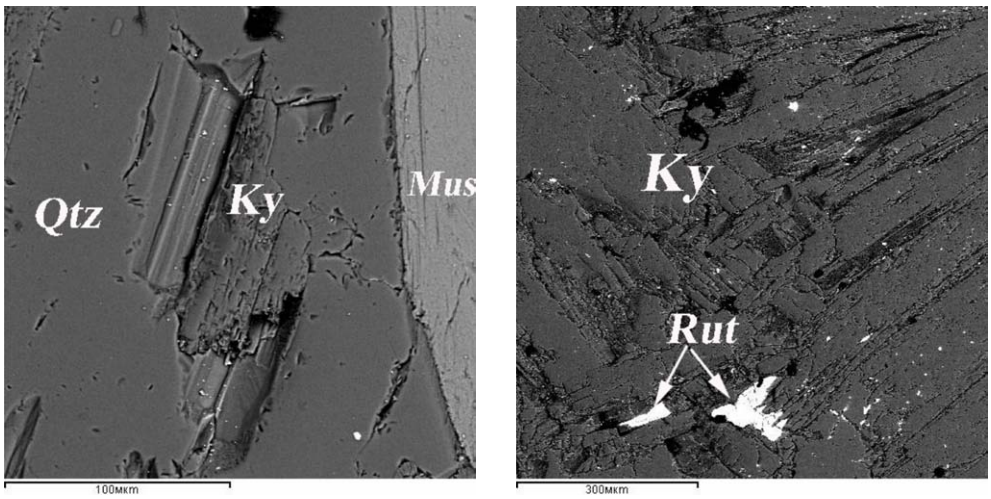


Рис. 1. Морфология кианита: а) игольчатый; б) радиально-лучистый. Qtz – кварц, Ky – кианит, Mus – мусковит, Rut – рутил. Изображение выполнено на сканирующем электронном микроскопе VEGA II LMU.

Кианит в руде Южной Линзы по характеру кристаллизации переменный - игольчатый и лучистый при значительном преобладании первого (рис. 1 а и б). Кристаллы кианита разбиты трещинками по плоскости пинакоида. Значительная часть зерен имеет скелетную структуру.

Включения в игольчатом кианите представлены пленками, минералами, а также флюидными включения-

ми. Пленки на кианите образуются чаще всего в результате частичного замещения пирита лимонитом с образованием бурого налета гидроксидов железа. Минеральные включения в кианите представлены: кварцем, размером 20-70 мкм и менее, пиритом, рутилом размером 10-30 мкм и менее, реже распространены включения апатита (рис. 2а, б).

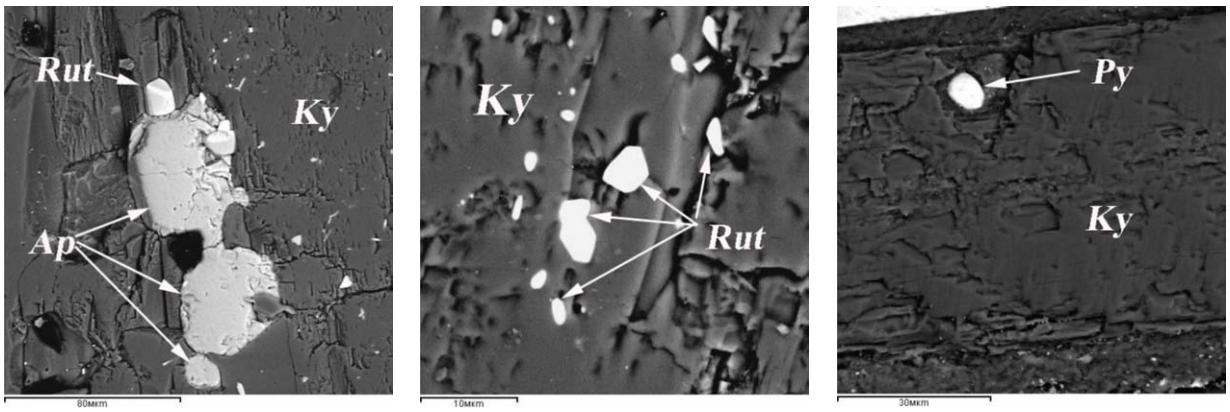


Рис. 2. Включения в кианите. Ky – кианит, Ap – апатит, Rut – рутил. Изображение выполнено на сканирующем электронном микроскопе VEGA II LMU.

Прорастания кианита мелкими зернами кварца и рутила наиболее характерны. Количество включений кварца непостоянно, (обычно содержание кварца не превышает 5-6% от площади кристалла кианита) и только в отдельных случаях поднимается до 20-25%. Еще более непостоянно содержание рутила. Включения *рутила* в кианите развиты в виде пойкилобласт, отмечаются крупные вкрапления – до 0,04 мм, и пылевидные, размер которых составляет тысячные доли мм (рис. 2-б).

Лучистый кианит имеет грубо-игольчатую, либо плоско-таблитчатую форму. В последнем случае соотношение длины к ширине 10-12:1. Длина кристаллов кианита колеблется от долей до 30-35 мм, составляя в среднем 15-20 мм. С краев и по спайности кианит замещается мусковитом, образующим мелкие, неправильные пластины. Мусковитизация обычно слабо развита. Исключение представляют мелкие зоны дробления, где кианит местами почти нацело замещен крупночешуйчатой слюдой. Включения сульфидов (в основном пирита) имеют переменный размер, присутствуют и очень мелкие включения (рис. 2-в).

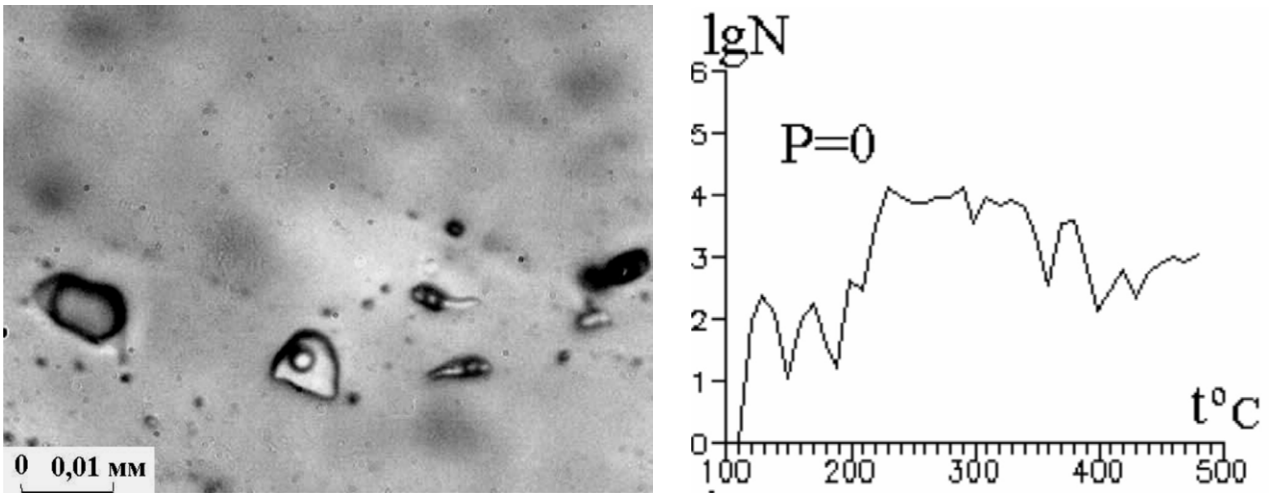


Рис. 3. Флюидные включения (а) и декрептограмма газово-жидких включений (б) в кианите.

Флюидных включений в кианите немного. Изучение показало их сложный многокомпонентный состав, гранулометрию и расположение (рис. 3-а) без видимой закономерности, преобладают включения размером менее 0,01 мм, что подтверждается декрептограммой (рис. 3-б). Анализ жидкой фазы, полученной методом дифференцированных водных вытяжек (методика ВСЕГЕИ, 1973) приведен в табл. 2. Вытяжка из флюидных включений в кианите кислая (pH 4,65), поэтому HCO_3 разрушается с образованием CO_2 и воды, нулевой результат не является истинным. Состав вытяжки - сульфатно- бикарбонатный, среди катионов преобладают Ca^{2+} и Na^{+}, в значительно меньшем количестве присутствуют Mg^{2+}, K.

Таблица 2. Концентрация и видовой состав элементов-примесей флюидных включений.

pH вытяжки	Концентрация примесей, в мг/л						
	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^{+}	K^{+}	HCO_3	SO_4^{2}	$C_{орг}$
4,65	3,4	0,51	1,4	0,38	0	76,8	35,8

Примечание: Состав катионов и анионов в водной вытяжке изучался с помощью атомной абсорбции, ионной хроматографии и потенциометрическим методом; органический углерод определяли фотохимическим методом в лаборатории гидрохимии и гидрогеологии Института водных проблем Севера КарНЦ РАН.

Изучение кианита и особенностей его состава в руде с использованием сканирующем электронном микроскопе VEGA II LSH (анализатор INCA Energy 350, ускоряющее напряжение-20 kV, ток зонда-350 pA), показало, что составы игольчатых и лучистых кианитов не отличаются от стехиометрического: содержание Al_2O_3 - 63,45-63,81%, SiO_2 – 36,19 - 36.36 %. Встречаются кианитовые разности с пониженным содержанием алюминия, повсеместно среди радиально лучистых присутствуют реликты каолинита (табл. 3, опр. 3, 4), что согласуется с гипотезой Н.А. Волотовской [1] о генетической связи кианита с исходной глинистой толщей.

Таблица 3. Состав кианита и кварца по данным микроанализатора INCA ENERGY 350.

Определение	Al_2O_3	SiO_2	Fe_2O_3
1	63.46	36.54	—
2	49.60	50.40	—
3	35.09	44.12	1,23
4	37.95	45.75	0,54

Таким образом, изучение кианита и характера включений в нем с использованием сканируещего электронного микроскопа, позволило установить причину отличия стехиометрического состава от реально получаемого при обогащении. Из руд с игольчатым кианитом концентраты, содержат 55,5-56% Al_2O_3, из руд с лучистым кианитом - 58% Al_2O_3 [3]. Предел обогатимости кианита по Al_2O_3 соответствует 60,02% (табл. 4), что связано наличием в кианите неудаляемых включений и присутствием реликтов каолинита.

Таблица 4. Качественная характеристика кианитового концентрата.

Концентрат	Содержание оксидов, % по массе						
	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	FeO	Na_2O	K_2O
Товарный	37,80	1,46	57,10	0,61	0,28	0,04	0,03
Предельно обогащенный	37,50	1,20	60,02	0,40	0,03	0,05	0,04

Список литературы

1. Волотовская Н.А. Жиров Б.К. Хромсодержащие минералы свиты Хизоваары // Известия Карелофинской базы АН СССР. 1948. № 1. С. 41-53.

2. Скамницкая Л.С., Щипцов В.В., Бубнова Т.П. Промышленный минерал кианит Хизоваарского месторождения: технологические аспекты // Матер. Всерос. научн. конф. «Типоморфные минералы и минеральные ассоциации – индикаторы масштабности природных и техногенных месторождений и качества руд». Екатеринбург: Изд-во УрО РАН, 2008. С. 138-140.

3. Хизоваарское рудное поле. Петрозаводск: Изд-во КарНЦ РАН, 1988. С. 60-79.

ГИПЕРПРЕССОВАННАЯ СТРОИТЕЛЬНАЯ КЕРАМИКА ИЗ ОТХОДОВ ОБОГАЩЕНИЯ АПАТИТ-НЕФЕЛИНОВЫХ И ВЕРМИКУЛИТОВЫХ РУД

О.В. Суворова[1], Д.В. Макаров[1], В.В. Лащук[1], Ю.П. Меньшиков[2], В.Е. Плетнева[1]
[1]Институт химии и технологии редких элементов и минерального сырья им. И.В.Тананаева КНЦ РАН г. Апатиты, e-mail: suvorova@chemy.kolasc.net.ru
[2]Геологический институт КНЦ РАН, г. Апатиты

Экологически безопасная и экономически оправданная переработка техногенного сырья требует вовлечения в передел силикатной составляющей, содержание которой может достигать 95-97 %. Кроме того, для достижения рентабельности технологий переработки бедного сырья на современном этапе необходимо организовывать получение товарной продукции из нерудного сырья, стоимость которого может намного превосходить стоимость металлов. По данным [1], при переработке Зыряновского хвостохранилища по комбинированной технологии наи-

больший вклад (60 %) в стоимость товарной продукции вносит инертный материал (отвальные продукты технологии), цену которого приняли как для карьерного песка. Стоимость существенно возрастет при организации производства строительных материалов. Одним из перспективных направлений утилизации отходов является получение стеновых и тротуарно-дорожных керамических материалов методом гиперпрессования.

Гиперпрессование (трибопрессование) – метод получения строительных материалов путем взаимного трения мелкодисперсных частиц вещества под высоким давлением и когезии между ними. В присутствии вяжущих (например, цемента) необходимые давления прессования и глубина помола резко уменьшаются. Количество вяжущих в зависимости от вида и марки изделия составляет от 6 до 20 %. Приготовленные изделия выдерживают на складе в течение 3-5 суток, за это время они набирают 60-70 % от конечной прочности. Время полного созревания изделий составляет 28 суток. Смесь для изготовления изделий состоит из трех компонентов: основное сырье (отходы горнопромышленного комплекса, в количестве 65-85 %), портландцемент (марки от 300 до 500), пигмент (минеральные пигменты или мелкоперемолотые породы, 1 %) и вода (до 8-15 %). В качестве потенциального техногенного сырья для такого производства в Мурманской области могут рассматриваться, например, хвосты обогащения апатит-нефелиновых руд Хибинских месторождений и хвосты обогащения вермикулитовых руд Ковдорского месторождения.

Вредные компоненты и примеси для гиперпрессованных материалов, так же как и для заполнителей бетонов можно разделить на снижающие прочность и долговечность строительного материала, ухудшающие качество поверхности и вызывающие коррозию цементного камня [2]. К первой группе относятся минералы, не устойчивые к выветриванию, в частности, нефелин. В процессе эксплуатации они могут разрушаться и замещаться мало прочными рыхлыми продуктами выветривания. В некоторых случаях продукты имеют больший объем, чем исходный минерал. В результате в материале возникают локальные напряжения, что снижает его прочность. Содержание каждого из неустойчивых к выветриванию минералов не должно превышать 10 %. В то же время, исследования В.Н. Макарова показали, что присутствие нефелина в заполнителе не всегда играет отрицательную роль, объемный эффект при взаимодействии минерала с $Ca(OH)_2$ зависит от условий реакции [2]. Настоящее исследование посвящено обоснованию возможности получения и оптимизации составов гиперпрессованной керамики из отходов обогащения вермикулитовых и апатит-нефелиновых руд.

Материалы на основе отходов обогащения апатит-нефелиновых руд

Анализ минерального состава отходов обогащения апатит-нефелиновых руд (табл. 1) показал, что содержание вредных примесей (исключая нефелин) не превышает допустимых пределов. Их можно использовать для производства кирпича методом гиперпрессования при условии его работы выше гидроизоляционного слоя и не в агрессивных средах.

Таблица 1. Минеральный состав отходов обогащения.

Апатит-нефелиновых руд		Вермикулитовых руд	
Минералы	Содержание, мас.%	Минералы	Содержание, мас.%
Апатит (свободные зерна)	5.43	Апатит	10.04
Нефелин	61.42	Оливин	45.30
Полевой шпат	7.41	Диопсид	21.17
Эгирин	12.94	Вермикулит	12.65
Сфен	3.19	Магнетит	8.66
Титаномагнетит	1.73	Сунгулит	0.80
Ильменит	0.21		
Прочие (биотит, эвдиалит)	0.25		
Шламы, сростки	5.43		

По гранулометрическому составу отходы относятся к мелкозернистым пескам. Эксперименты по обоснованию возможности получения гиперпрессованной керамики вели с отходами текущего производства. Методом РФА исследовано взаимодействие в модельных системах нефелин – портландит и апатит – портландит. Для первой системы через 90 суток зафиксировано снижение интенсивностей рефлексов портландита и увеличение – новообразованной фазы типа кальцийсодержащего натролита. Вероятно, имеет место реакция типа:

$2NaAlSiO_4$	+	$3Ca(OH)_2$	=	$Ca_3[Al_2Si_2O_{10}]\cdot 2H_2O$	+	2NaOH
141 2.56 2·55		74 2.23 3·33.2		426 2.20 193.6		

Здесь столбцы цифр обозначают сверху вниз: мольную массу, истинную плотность (г/см^3), удельный объем. Минерал типа натролита условно представлен в виде формулы $Ca_3[Al_2Si_2O_{10}]\cdot 2H_2O$. Расчет объемного эффекта реакции показывает, что объем новообразованной фазы типа натролита больше объема нефелина, но меньше сум-

марного объема нефелина и портландита (92.4 %). Следовательно, в материале не должны возникать локальные напряжения, которые могут привести к разрушению изделий.

Во второй системе через 200 суток также обнаружено значительное снижение интенсивностей рефлексов портландита, появляются рефлексы карбоната кальция, образующегося вследствие карбонизации $Ca(OH)_2$ при взаимодействии с CO_2 воздуха. Нежелательных новообразованных фаз не зафиксировано.

Из керамических масс готовили кубики 40х40х40 мм. Составы прессмасс: №1 – отходы обогащения (92 %), цемент (8 %), вода (8% сверх 100%); №2 – отходы обогащения (85 %), цемент (15 %), вода (8% сверх 100%). Давление прессования изменяли от 100 до 300 МПа. Использовали обычное твердение и твердение во влажных условиях. Определяли прочность при сжатии, изгибе, плотность, водопоглощение, морозостойкость и теплопроводность материалов после 28 суток твердения. Результаты испытаний представлены в табл. 2. Как видно, полученные материалы удовлетворяют требованиям, предъявляемым к кирпичу гиперпрессованному.

Таблица 2. Свойства гиперпрессованных материалов на основе отходов обогащения апатит-нефелиновых руд.

Давление прессования, МПа	Плотность, кг/м^3	Предел прочности, МПа		Водопоглощение, %	Морозостойкость, циклы	Теплопроводность, Вт/м°К
		при сжатии	при изгибе			
Состав №1						
100	2240	14.9	3.2	10.97	не менее 50	0.532
200	2310	17.1		-	не менее 50	-
300	2330	15.3	3.5	10.63	не менее 50	-
Состав №2						
100	2300	21.0	5.3	11	более 50	0.544
200	-	22.0	-	-	более 50	-
300	2340	20.8	4.8	9.9	более 50	-

Материалы на основе отходов обогащения вермикулитовых руд

Минеральный состав отходов обогащения приведен в табл. 1. Отходы обогащения вермикулитовых руд, как и большинство других видов техногенного сырья Кольского полуострова, также содержат нежелательные примеси. К их числу можно отнести вермикулит, сунгулит, апатит и магнетит [2]. Методом РФА исследовано взаимодействие в модельных системах вермикулит – портландит и сунгулит – портландит.

Таблица 3. Свойства гиперпрессованных материалов на основе отходов обогащения вермикулитовых руд.

Давление прессования, МПа	Плотность, кг/м^3	Предел прочности, МПа		Водопоглощение, %	Морозостойкость, циклы	Теплопроводность, Вт/м°К
		при сжатии	при изгибе			
Состав №1						
100	2630	12.64	2.2	7.84	не менее 50	0.754
100*	2520		1.3			0.627
200	2700	14.68			не менее 50	-
200*	2630	16.30	2.8			
300	2770	14.97	2.9	5.99	не менее 50	-
300*			1.9			
Состав №2						
100	2570	20.6	5.1	8	более 50	0.699
100*						0.614
200	2650	21.8			более 50	-
300	2630	22.1	5.2	6	более 50	-

Примечание: *из материала хвостов предварительно отделялась магнитная фракция.

Для обеих систем через 200 суток характерно снижение интенсивностей рефлексов портландита и образование кальцита. В системе вермикулит – портландит, кроме этого, обнаружено появление рефлексов серпентиноподобной фазы, вероятно кальцийсодержащей, однако интенсивности рефлексов невелики. В целом, продуктов реакций, которые могут вызвать нежелательные объемные эффекты, не выявлено. Составы прессмасс соответствуют рассмотренным составам из апатит-нефелиновых отходов. Образцы для определения прочностных харак-

теристик, плотности, водопоглощения, морозостойкости и теплопроводности готовились аналогично материалам на основе отходов обогащения апатит-нефелиновых руд. Результаты испытаний представлены в табл. 3. Материалы удовлетворяют требованиям, предъявляемым к кирпичу гиперпрессованному. В отличие от материалов на основе хвостов обогащения апатит-нефелиновых руд, для полученной керамики характерна несколько большая теплопроводность и плотность. Использование предварительной магнитной сепарации для удаления магнетита позволяет снизить эти показатели.

Таким образом, исследования взаимодействия в модельных системах: нефелин – портландит, апатит – портландит, вермикулит – портландит, сунгулит – портландит позволили обосновать возможность получения гиперпрессованной керамики из отходов обогащения вермикулитовых и апатит-нефелиновых руд. Материалы удовлетворяют требованиям, предъявляемым к кирпичу гиперпрессованному.

Список литературы

1. Кушаков Л.Б., Хан О.А., Сапрыгин А.Ф. Разработка технологии комплексной переработки техногенного полиметаллического песка // Цветные металлы. 2003. № 10. С. 64-65.

2. Макаров В.Н. Экологические проблемы хранения и утилизации горнопромышленных отходов. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 1998. Ч. 1. 126 с. Ч. 2. 146 с.

ОБОСНОВАНИЕ КОМПЛЕКСНОСТИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ИНДУСТРИАЛЬНЫХ МИНЕРАЛОВ КАРЕЛИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ ОСНОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ МИНЕРАЛОГИИ

В.В. Щипцов
Институт геологии КарНЦ РАН, г. Петрозаводск, e-mail: shchipts@krc.karelia.ru

Без колебания мы должны признать область нерудных полезных ископаемых именно той, к которой все больше и шире будут предъявлять свои требования промышленность и хозяйство будущего.

Академик А.Е.Ферсман

Значение индустриальных минералов

В настоящее время общее число индустриальных минералов и горных пород, используемых в хозяйственной деятельности, превысило 170. Индустриальные минералы (ИМ) занимают исключительно важное место в народном хозяйстве, без них не может эффективно функционировать фактически ни один базовый экономический комплекс страны.

Территория Карелии представляет собой потенциально значимую минерально-сырьевую область [7]. Особенно актуальной становится оценка потенциала с позиций комплексного освоения. Необходимо определить, что к комплексным месторождениям ИМ относятся те, из которых на данном этапе экономически выгодно и технически возможно извлечь несколько ценных минералов (или компонентов), используемых в различных областях промышленного производства: огнеупорное, керамическое, стекольное, химическое, строительное и т.д. Характерной чертой современного этапа освоения недр становится вовлечение в промышленную сферу новых, включая новые типы проявлений, и малых месторождений. Приоритетными становятся исследования, направленные на повышение комплексности использования минерального сырья, полноты извлечения полезных компонентов, получение новых и нетрадиционных видов продукции.

Применительно к ИМ новыми следует считать ранее неизвестные минералы и породы (выявленные в последние 10 - 20 лет), которые по химическому составу и другим качественным показателям могут явиться по отношению к традиционным видам альтернативным источником. Например, в Карелии к этим видам относятся шунгитсодержащие сланцы, анортозиты, мусковитовые кварциты, ставролиты, кварцевые прибрежные россыпи, барий-стронциевые полевые шпаты и др. Понятие «новое сырье» можно рассматривать разномасштабно - как на мировом, так и региональном уровнях.

К нетрадиционным видам следует относить те из них, полезные свойства которых были известны, но в современных экономических условиях разработаны новые технологические решения, позволяющие говорить о рентабельности и эффективности их использования [4]. Например, в Карелии о промышленной ценности кианита, граната и диатомитов сообщалось уже в 30-х годах прошлого столетия, но в то время технологический уровень изученности носил характер стартового и не определял в значительной степени возможные области использования и конечные продукты промышленного производства. К подобным ИМ в Карелии их можно также отнести тальковый камень, ильменит, апатит, кварцевые порфиры, нефелиновые сиениты и др.

Следует подчеркнуть важную особенность многих видов ИМ многоцелевого назначения, в чем заключается большое отличие от руд металлов и горючих ископаемых, где ценность сырья определяется, прежде всего, содержанием полезного компонента. Качество ИМ оценивается в зависимости от их физико-химических свойств и особенностей минерального состава, диапазон которых весьма широк и многообразен.

Основные принципы систематизации индустриальных минералов Карелии

Систематизация является неотъемлемой частью динамической оценки состояния запасов или ресурсов и обоснования стратегий их разработки с учетом критерия доступности запасов (minerals availability), то есть доступность минеральных ресурсов в системе «общество - минеральные ресурсы», характеризующее возможность их эффективного и безопасного использования в зависимости от состояния ресурсов, потребности в них и достигнутого технологического уровня [5].

Нами предложен новой подход к классификации ИМ Карелии [6, 9]. В основу положен критерий конечного применения минерального продукта по аналогии с имеющимися разработками Международной рабочей группы по индустриальным минералам [10]. Исходными стали данные по промышленной продукции, опытным партиям, лабораторным испытаниям и теоретическим разработкам. Такой подход концентрирует внимание на практической значимости геолого-технологических исследований минерального сырья для получения из него продукта, соответствующего требованиям промышленности (абразивная, газовая и нефтяная, керамическая, медицина, металлургия, пищевая, строительные материалы, сельское хозяйство, стекольная производство, химическая, электро-, электронная и оптическая промышленность, смешанные отрасли производства, а также окружающая среда).

Роль минералого-технологических исследований

Знание вещественного состава полезного ископаемого, особенностей и свойств его составляющих, как используемых в настоящее время, так и выделяемых в виде отвалов или отходов, не находящих применения, является непременным условием наиболее полного и эффективного использования сырья на всех стадиях его трансформации - начиная от геологического изучения недр, добычи полезного ископаемого, обогащения, до химической или металлургической переработки, включая наиболее эффективное использование извлекаемых химических элементов или их стандартных соединений в различных отраслях производства.

Практика обогащения полезных ископаемых показывает, что представления об идеальных кристаллах и минералах не могут служить основой для разработки новых технологий и технологических решений. Современный уровень исследований, в отличие от традиционных методов эмпирической оценки обогатимости руд, предполагает изучение взаимосвязи генезиса минералов и технологических свойств минеральных агрегатов. За последние годы накоплен обширный фактический материал по технологической минералогии руд различного состава, определено влияние изоморфизма поверхности, дефектов кристаллической решетки, текстурно-структурных особенностей минеральных комплексов на природу адсорбционных центров и другие свойства минералов, ответственных за их поведение в разделительных процессах.

На примере минералого-технологического изучения минералов и руд Карелии установлено, что свойства (характер оруденения, текстурно-структурные особенности, размер вкрапленности рудных и нерудных минералов, их состав, гранулометрическая граница раскрытия сростков, химический состав минералов и т. д.) являются основой для выбора технологии обогащения. В соответствии с принятой методологией, исследования проводились в двух направлениях. Первое – теоретическое предположение и экспериментальное изучение закономерностей изменения свойств минералов с целью интенсификации процессов обогащения. Второе – выбор и научное обоснование технологий обогащения на основе изучения закономерностей селективного разделения парагенетических ассоциаций ИМ.

Одним из перспективных направлений развития технологии обогащения является разработка и обоснование способов и методов изменения природных свойств минералов с целью повышения технологических показателей. Использование термических, радиационных, химических и других видов энергетического воздействия на минералы является важнейшим современным направлением технологии и минералогии. Преобразование свойств минералов в заданном направлении позволяет не только изменять обогатимость руд, но и создавать новые процессы извлечения полезных компонентов. В развитие этого научного направления нами изучена возможность повышения технологических показателей обогащения кианитовых, графитовых, гранатовых и некоторых других типов руд Карелии на основе предварительного модифицирования свойств минералов [8].

Особенностью современного этапа геолого-технологического изучения ИМ Карелии является исследование новых нетрадиционных видов на стадии поисков и оценки. В этой связи в лаборатории геологии, технологии и экономики минерального сырья ИГ КарНЦ РАН выполнены системные технолого-минералогические исследования целого ряда перспективных типов ИМ: маложелезистых мусковитовых сланцев, гранатовых и гранат-ставролитовых, кианитовых, титансодержащих, апатит-карбонатных руд, анортозитов и нетрадиционных видов полевошпатового сырья на стадиях прогнозирования, поисков и оценки [3].

На примере ИМ Карелии выполнен комплекс исследований по выявлению и научному обоснованию механизмов изменения их свойств под воздействием ультразвука, химически активной плазмы, СВЧ-излучения, протонного облучения, воздействия мощными электромагнитными импульсами [8]. Идея заключена в усилении контрастности свойств разделяемых минералов на основе направленного воздействия различными силовыми полями для повышения эффективности процессов обогащения. Становится возможным на принципиально но-

вом уровне показать технологические решения на основе разработанной в лаборатории блок-схемы технолого-минералогического изучения ИМ. Особое внимание при исследованиях уделено методам технологической минералогии. По нашей инициативе проводятся российские семинары по технологической минералогии и публикуются материалы в сборниках научных статей.

Поиск перспективных объектов ИМ на территории Карелии, прежде всего, определяется благоприятными для этого геологическими факторами. В результате поисково-оценочных работ на территории Карелии выделен ряд объектов кварцсодержащих пород, перспективных для получения высокочистых кварцевых концентратов. Это кварц-кианитовые и кварц-мусковитовые метасоматиты Хизоваарской структуры, сливные кварциты оз. Степаново, кварцсодержащие породы участка Меломайс [1, 2]. Кроме того, интересными для изучения представляются гранатовые метасоматиты месторождения гранатов «Высота 181» (на С-З Хизоваарской структуры), где кварц в породе также в среднем составляет 40-50% и может быть попутным компонентом при разработке данного месторождения на гранат.

Закономерности вещественного состава могут быть проанализированы на примере Хизоваарского месторождения кианитовых руд, на которое в настоящее время выдана лицензия с правом освоения. История изучения кианитовых руд очень поучительна, так как она отражает эволюционный переход от оценки их использования для получения алюминия, затем для производства силумина и, наконец, кианит становится практически ценным индустриальным минералом, химические и физические свойства которого стали предметом внимания, в первую очередь, для использования в огнеупорной и керамической промышленности.

Например, в ресурсный потенциал Тикшеозерского массива входят апатитоносные карбонатиты проявления «Карбонатитовый». Апатитсодержащие карбонатиты рассматриваются как комплексные, где главная роль принадлежит кальцитовым карбонатитам. Из других карбонатов присутствуют доломит-анкерит, образующие изоморфный ряд, и в качестве акцессорных - арагонит и анкилит. Отличительная особенность карбонатитов Тикшеозерского массива – это повышенное содержание в них окиси кальция, по содержанию которого выделены высококальциевая (CaO от 35.10 до 51.80 %) и магниево-кальциевая (CaO от 23.30 до 39.40 %) разновидности. Карбонатиты, помимо вышеназванных карбонатов, содержат в том или ином количестве апатит, флогопит, биотит, магнетит, пирохлор и другие минералы. Среднее содержание P_2O_5 4.3 %.

Большой объем выполненных лабораторных исследований показал перспективы переработки конкретных природных типов руды (кианит, апатит, кварц, ильменит, гранат, нефелин-полевой шпат и другие). Данные исследования позволяют определить роль и влияние геолого-минералогических факторов и типоморфных свойств минералов на оптимальный выбор технологии переработки от стадии рудоподготовки до циклов обогащения.

Выводы

Выполнен цикл научных исследований по обоснованию ценности перспективных ИМ карельской части Фенноскандинавского щита (апатит-карбонатные, кианитовые, гранатовые, мусковитовые руды, новые типы полевошпатовых пород – анортозиты, кварцевое сырье и др.), позволивший на принципиально новом уровне показать технологические решения с оценкой комплексности их многоцелевого использования.

Методология комплексной оценки ИМ заключается в рациональном комплексировании минералого-аналитических исследований и перспективных технологий их переработки. При этом увеличивается лицензионная привлекательность сырьевых объектов, поскольку предполагает увеличение экономической эффективности производства при внедрении инновационных технологий.

Список литературы

1. Данилевская Л.А., Скамницкая Л.С., Щипцов В.В. Кварцевое сырье Карелии. Петрозаводск: Изд-во КарНЦ РАН, 2004. 226 с.

2. Данилевская Л.В., Щипцов В.В. Состояние и ресурсы минерально-сырьевой базы кварца Республики Карелия // Разведка и охрана недр. 2007. № 10. С. 29-33.

3. Каменева Е.Е., Скамницкая Л.С. Обогащение минерального сырья Карелии. Петрозаводск: Изд-во КарНЦ РАН, 2003. 30 с.

4. Ларичкин Ф.Д., Каменев Е.А., Мотлохов В.Н. Нетрадиционные виды минерального сырья: актуальность, определение и классификация // Горный журнал. 2003. № 1. С. 16-20.

5. Пешков А.А., Мацко Н.А., Кононыхин М.А. и др. Проблемы обоснования стратегий освоения минерально-сырьевых ресурсов // Горный журнал. 2005. № 4. С. 18-23.

6. Щипцов В.В. Значение индустриальных минералов Карелии в областях промышленного производства // Геология и полезные ископаемые Карелии. Вып. 3. Петрозаводск: Изд-во КарНЦ РАН, 2001.

7. Щипцов В.В. Обзор и оценка индустриальных минералов Республики Карелия // Геология рудных месторождений. Т. 47. 2005. № 1. С. 3-15.

8. Щипцов В.В., Каменева Е.Е., Скамницкая Л.С. Теория и практика обогащения минерального сырья Карелии // Труды КарНЦ РАН. Вып. 9. Петрозаводск, 2006. С.183-195.

9. Щипцов В.В. Систематизация индустриальных минералов Карелии по конечному продукту // Матер. Всерос. научн. конф. «Научные основы химии и технологии переработки комплексного сырья и синтезеа еа его основе функциональных материалов». Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2008. С. 239-242.

10. Virta R., Lorenz W., Reguero M. Industrial minerals and rocks. Classification of end uses // Industrial Minerals. 1994. N. 319. P. 133-139.

Фоторепортаж

ВЫХОД

VAIO

Хроника

Хибиниада продолжается

Что манит и тянет геологов в Кольское Заполярье? Что ещё не изучено и куда держать путь? Говорят, не узнаешь, пока не заглянешь в историю.

Встала на крыло

С истории освоения Кольского края началась VI Всероссийская Ферсмановская научная сессия, которая прошла в Геологическом институте КНЦ РАН.

– Заниматься наукой, не зная истории, невозможно, – считает Юрий Войтеховский, директор Института. – У нас нет штатных историков, поэтому к ведению исторической секции привлечены работники всех музеев Кировска, Апатитов, Мончегорска, доктора и кандидаты исторических наук.

Заместитель председателя КНЦ РАН Валентин Петров представил уникальную книгу о первой Полярной конференции 1932 года, в которой опубликованы стенограмма конференции с комментариями учёных, материалы прессы того времени. Стенограмма передаёт живую речь её участников, дух людей.

– В резолюции конференции было предписано издать по ней книгу, но задачу выполнили только через 77 лет, – с гордостью показывает первый экземпляр Юрий Леонидович. – Перечитывая, какие задачи ставил Ферсман в 1932 году, и анализируя, что сделано, а что нет, я сделал для себя пометки.

За шесть лет Ферсмановская сессия встала на крыло, набрала всероссийскую и международную известность. В зале Института собралось 120 участников, за два дня прозвучало 50 докладов. С визитом приехал доктор Джэфри Глэсби из Англии, опубликовавший 4 статьи о ведущих геохимиках мира, в том числе и о Ферсмане. На сессии мы услышали его увлекательный доклад о Лоренце Уэйджере, исследователе, альпинисте и геологе.

Всё в комплексе

Кажется, ну что ещё можно обсуждать спустя 80 лет. Можно и нужно, считает Игорь Сергеевич Красоткин, доцент КФ Костромского университета. Его "история с продолжением" про хибинский титанит возвратила нас в 1930-е годы, когда начинал работу горно-химический трест "Апатит". Одно за другим открывали месторождения апатита, ловчорита, пирротинов, молибденовых руд. Тогда В.И. Кондриков и А.Е. Ферсман впервые заговорили о комплексном использовании месторождений. Условия были самые благоприятные: горно-обогатительное производство динамично развивалось, быстро решались организационные вопросы. Но в 1937 году в тресте "Апатит" произошли существенные кадровые перестановки, что отражалось на работе предприятия. Потом – Великая Отечественная война, а уже после войны началась совсем другая жизнь. На первое место встало производство апатитового концентрата.

– О комплексном использовании месторождений заговорил в 70-е годы Георгий Александрович Голованов, генеральный директор ПО "Апатит", – отмечает Игорь Сергеевич. – Но только спустя много лет геологи занялись другими полезными компонентами – хибинским титанитом и эгирином. Совместно с Институтом химии КНЦ РАН создали опытно-промышленную установку "Пигмент", на которой из руды получают сфеновый концентрат и производят пигменты.

Сейчас в КНЦ разрабатывается стратегия социально-экономического развития Мурманской области до 2025 года в соответствии с документом "Основы государственной политики РФ в Арктике на период до 2020 года", подписанным Дмитрием Медведевым.

"Гостеприимный дом моего детства"

Наука – не только исследования. Это ещё и интересная и увлекательная жизнь геологов. На сессию приехала Евгения Борисовна Хализова, свидетельница "ферсмановского" времени. Она попала на Горную станцию АН СССР "Тиетта", которая располагалась на берегу озера Малый Вудъявр, в 1932 году восьмилетней девчонкой.

– Моя мама, Ирина Дмитриевна Борнеман-Старынкевич, была геохимиком, – рассказала Евгения Борисовна. – Первый раз она приехала в Хибины в 1930 году в командировку на месяц, а в 1932 году Ферсман пригласил её возглавить лабораторию в "Тиетте".

Маленькая Женя сразу перезнакомилась со всеми обитателями станции, особенно сдружилась с Владимиром Ильичом Фридолиным, "комариным королём", или, как его ещё называли, "лесным эльфом". Их дружба продолжалась до конца его дней.

Маленькая Женя увязывалась с геологами, ботаниками, химиками во все маршруты и возвращалась с небольшими коллекциями минералов. Увлечение не прошло даром. Евгения стала минералогом в Московском институте минералогии и геохимии редких элементов (ИМГРЭ).

В своих мемуарах "Дорога длиною в жизнь" Евгения Борисовна вспоминает, как Ферсман, сидя за самоваром с обитателями станции, предложил назвать горную станцию Тиеттой, что в переводе с лопарского – "наука". Она описывает трёхэтажный деревянный дом станции удивительной конструкции – с холлом высотой в два этажа, балконом по периметру здания, на котором любили гулять сотрудники "Тиетты".

Евгения Борисовна рассказала случай, как на станцию забрели немецкие туристы, по всей видимости, коммунисты (*других бы не пустили*. – **Авт.**). Муж и жена заблудились в лесу. Пока искали пристанище, все обморозились. Мужчина попал в больницу, а его жена в это время жила на станции и начала учить русский язык. Обитатели "Тиетты" ещё долго с ними переписывались.

Евгения Борисовна помнит, как Ферсман приезжал весной и брал детей на руки. Однажды Александр Евгеньевич с её мамой отправился на оленях в тундру. По дороге им встретился дом. Оказалось, там живёт семья, у которой была шикарная библиотека, а дети знали наизусть "Евгения Онегина".

– В 1934 году в Хибинах снимали эпизоды фильма "Семеро смелых". Актёры Алексей Жарков, Пётр Алейников, Тамара Макарова каждый день приходили на станцию в гости пить чай. Меня спрашивали, кем хочу стать. А я отвечала – балериной или геологом, – рассказала Евгения Борисовна. – Эти четыре года, проведённые на "Тиетте", были самые счастливые в моей жизни.

Тайны Хибин

Сколько ещё тайн хранят в себе Хибины? Горному массиву больше 300 миллионов лет. Вы знаете, что горы из года в год вырастают на несколько сантиметров, что в Хибинах пробурено до 2 тысяч разведочных скважин. До сих пор геологи находят новые минералы, но не промышленного значения. Хибины интересны всему миру, ведь они представляют собой уникальный комплекс щелочных пород. Об этом говорили лауреаты академической премии им. А.Е. Ферсмана А.П. Хомяков и О.Б. Дудкин, доктора геолого-минералогических наук. Несколько докладов геологи посвятили актуальной для Мурманской области проблеме поисков месторождений золота и платины.

Светлана Ерёмочкина

Евгения Борисовна Хализова. Спустя 77 лет...

Горная станция "Тиетта" на берегу озера Малый Вудъявр, 1930-е годы

Содержание

Войтеховский Ю.Л. Открытие VI Всероссийской Ферсмановской научной сессии. 1
Петров В.П. Идеи А.Е.Ферсмана о комплексном освоении Кольского Заполярья: 80 лет спустя 2

Секция «Доклады лауреатов премии акад. А.Е. Ферсмана»

Боруцкий. Б.Е. О соотношении химического состава, кристаллической структуры и генетической характеристики минерала при выделении минеральных видов и их разновидностей 9
Дудкин О.Б. Риссчорриты и ювиты Хибинского щелочного массива в ряду калиевых магматических пород мира 13
Хомяков А.П. Цирконосиликаты группы келдышита: страницы истории их открытия и роль в минералогической изученности Кольского региона 16

Секция «История науки»

Буссен И.В. К истории изучения Ловозерского щелочного массива: 1935-1976 гг. 22
Веселовский Н.Н. К истории открытия платиноносности Федорово-Панского интрузива 1986-1990 гг. . . . 31
Войтеховский Ю.Л. К истории учения о природном кристалле 35
Войтеховский Ю.Л. К истории Мончегорского музея цветного камня им. В.Н. Дава 41
Гостева Э.В. Чупилин Иван Ильич. Факты биографии. 43
Гурская Л.И. Д.Ф. Мурашов и М.В. Денисова – исследователи Кольского полуострова 45
Даувальтер В.А., Даувальтер М.В., Кашулин Н.А., Сандимиров С.С., Югай В.С. Материалы Мончезерской лимнологической экспедиции 1933 года и современный химический состав воды и донных отложений озер в зоне влияния атмосферных выбросов комбината «Североникель» 48
Дюжилов С.А. «Золотые звездочки» на карте Хибин: К вопросу об истоках апатитового дела 52
Зайцев А.В. Главный геолог комбината «Североникель» Пётр Владимирович Лялин (1910 - 1992). 56
Каменев Е.А. История открытия Хибинских месторождений. 58
Красоткин И.С., Шпаченко А.К., Войтеховский Ю.Л., Лесков А.А. Краткая история Хибинского титанита 63
Мотов Д.Л. Менделеевский отклик в Хибинах 65
Прохоренко Н.С., Шпаченко А.К. Письма академика А.Е. Ферсмана к профессору П.Н. Чирвинскому . . 68
Саморукова А.Г. Основные комплексы источников по истории Кольского филиала АН СССР. 74
Халезова Е.Б., Е.И. Макарова Е.И., Шпаченко А.К. «Люди там жили»: «Тиетта» глазами ее обитателей 78
Шпаченко А.К., Войтеховский Ю.Л. Горный инженер с.Ф. Малявкин 87
G.P. Glasby. On life of Lawrence R. Wager, an outstanding mountaineer and explorer 93

Секция «Минералогия и кристаллография»

Борисова В.В., Волошин А.В. Новые поступления в коллекцию музея Геологического института за 2008 г. 99
Бучко И.В., Сорокин А.А., Толкачев М.Д. Минералогические особенности хорогочинского массива (юго-восточное обрамление Северо-Азиатского кратона) 101
Войтеховский Ю.Л., Чернявский А.В., Басалаев А.А., Савченко Е.Э. Золото участка Кайлары 105
Годнева М.М., Мотов Д.Л., Кузнецов В.Я. Синтез новых аналогов минералов – фторофосфатоцирконатов рубидия 109
Зозуля Д.Р., Лялина Л.М., Куллеруд К., Равна И.К., Савченко Е.Э. Баотит из лампроитовой дайки Квалойя, Северная Норвегия 111
Калачев В.Ю., Волошин А.В., Савченко Е.Э. Глубинный ксенолит-вебстерит из жерловой фации Контозерской кальдеры 115
Ковалев С.Г. Минералого-геохимические предпосылки благороднометального оруденения нетрадиционных типов на западном склоне Южного Урала. 123
Кулешевич Л.В., Лавров О.Б. Минералогия Au–содержащего медносульфидного месторождения 126
Воронов Бор в Кумсинской структуре центральной Карелии. 126
Лавров О.Б., Кулешевич Л.В. Первые находки рениевых минералов в Карелии 130
Лялина Л.М., Зозуля Д.Р., Савченко Е.Э. Минералогия и генезис циркона в редкоземельно-циркониевом месторождении Сахарйок, Кольский полуостров. 133
Магарилл С.А., Первухина Н.В., Борисов С.В. Новые данные о строении и кристаллохимии природных ртутьсодержащих сфалеритоподобных сульфосолей галхаита и акташита. 137
Рейхард Л.Е. Результаты электронно-микроскопических исследований оолитовых железных руд из киммерийских отложений Таманского полуострова 140
Смирнова Н.Л. Минеральные виды и разновидности 144

Тимофеева Е.А. Новый тип редкоземельно-фосфатной минерализации на западном склоне Южного Урала 148
Чернявский А.В., Войтеховский Ю.Л., Волошин А.В., Савченко Е.Э., Павлов В.А. Благороднометальная и сульфидная минерализация в породах Панареченской вулкано-тектонической структуры 151
Шпаченко А.К., Войтеховский Ю.Л., Басалаев А.А., Савченко Е.Э. Минералогия золото-висмут-сурьмяной ассоциации кварцевой жилы р. Подманюк (Большие Кейвы, Кольский полуостров): первые данные 157
Грознова М.В., Сорохтина Н.В., Зайцев В.А., Когарко Л.Н., Костицын Ю.А. Новые изотопные данные по карбонатитам и альбититу массива Гремяха-Вырмес 163
Ильченко В.Л. Об эффекте зеркального отражения элементов упругой симметрии в системе «ксенолит – вмещающая порода» 164
Каржавин В.К. Карбонат-силикатные породы как источник алмазообразования в Хибинах 168
Кондрашова Н.И. Санукитоиды Ялонварской структуры (Балтийский щит) 176
Люлько М.С. Геологическое строение участка Лойпишнюн Мончетундровского массива 180
Мельникова О.В., Сорокин А.А. Петрографические и минералогические особенности Базальтовых андезитов Амуро-Зейской депрессии 184
Нивин В.А. Газогеохимические особенности кимберлитов трубки «ермаковская-7» на Кольском полуострове 187
Нивин В.А., Ловчиков А.В., Рахимов Р.Г. Первые результаты мониторинга хода водорода и сопоставления полученных данных с сейсмичностью на руднике «Карнасурт» (Ловозерское редкометальное месторождение, Кольский полуостров). 190
Ройзенман Ф.М. Теория богатого флюидного рудообразования под воздействием «углекислотной волны» 193
Трофимов Н.Н. Петрохимическая характеристика дифференциатов Пудожгорского интрузива и генезис титаномагнетитового оруденения.. 196
Филиппов М.М., Бискэ Н.С., Первунина А.В. Контактовый метаморфизм шунгитоносных пород Максовского месторождения (Карелия) 199
Ahmad T., Kaulina T.V., Wanjari N., Mishra M.K., Nitkina E.A. Precambrian magmatic rocks form the Central Indian tectonic zone: Geochemical and isotopic constraints 203
Mishra M.K., Ahmad T., Kaulina T.V. Geochemical, characterization of Tirodi basement gneisses, north of Central Indian Shear (CIS) from the Central Indian Tectonic Zones (CITZ) 207

Секция «Месторождения полезных ископаемых и методы их изучения»

Еремин Г.М. Пути совершенствования разработки месторождений полезных ископаемых региона в Заполярье. 211
Жирова А.М. Изученность Хибинского массива геофизическими методами 213
Каменев Е.А. Жизненные циклы функционирования Хибинских месторождений. 217
Лащук В.В., Жиров Д.В., Иванченко В.Н., Калинин А.А., Корчагин А.У., Усачёва Т.Т. Влияние изменений минерального состава, структуры на физико-механические свойства и декоративность вмещающих габброноритов месторождений платиноидов (Имандра-Варзугский участок) 222
Мясникова О.В., Тришина О.М., Ковалевский М.В., Горбацевич Ф.Ф., Шеков В.А. Структура и свойства гранитов из месторождений нерудных строительных материалов 226
Ройзенман Ф.М. Высокоточный количественный прогноз – основа эффективности горно-геологической отрасли 230
Ройзенман Ф.М. Прогнозирование крупнейшего месторождения цезиеносных редкометальных пегматитов в Вороньетундровском рудном поле (Кольский полуостров) 233
Сорохтин Н.О., Козлов Н.Е. Потенциальная нефтегазоносность окраинно-континентальных образований рифейского этапа развития Тимано-Варангерской зоны байкалид 236
Трофимов Н.Н., Голубев А.И. Пудожгорское благороднометалльное титаномагнетитовое месторождение (карелия) 238
Борозновская Н.Н., Годнева М.М. Рентгенолюминесцентные свойства фтористых соединений циркония, допированных Ag(I) или Ce(III) 243
Бубнова Т.П. Технологическая минералогия гранатовых амфиболитов Беломорского подвижного пояса Карелии. 244
Гришин Н.Н., Иванова А.Г., Максимов В.И. Карботермическое восстановление кианита. 248
Гришин Н.Н., Нерадовский Ю.Н., Касиков А.Г., Ракитина Е.Ю., Савченко Е.Э. Прямое восстановление железа из руд и концентратов 250
Данилевская Л.А. Основные принципы технологичекой минералогии в применении к кварцевому сырью 252
Калинкин А.М Механохимическое взаимодействие силикатных минералов с CO_2: корреляции с растворением CO_2 в магматических расплавах 256

Калинкин А.М., Гуревич Б.И., Пахомовский Я.А., Калинкина Е.В., Тюкавкина В.В.
Влияние Механоактивации шлаков комбината «Печенганикель» в атмосфере CO_2 на их свойства 259
Калинкина Е.В., Калинкин А.М., Васильева Т.Н., Мазухина С.И., Беляевский А.Т., Рыськина М.П.
Влияние механической активации серпентина на повышение его реакционной способности в отношении извлечения Катионов меди (II) из водных растворов 262
Кременецкая И.П., Беляевский А.Т., Лащук В.В., Ракаев А.И., Морозова Т.А. Серпентиновые минералы отвальных продуктов обогащения безрудных оливинитов Хабозерского месторождения – источник для получения щелочных реагентов 266
Лихачева С.В., Нерадовский Ю.Н., Савченко Е.Э. Исследование влияния агрегации частиц на потери никеля в процессе обогащения медно-никелевых руд (на примере Печенги). 270
Мельник Н.А., Икконен П.В., Сандимиров С.С., Макогонюк С.Н., Смирнов А.А.
Радиогеоэкологическая оценка производственных площадок строительства газопровода Штокмановского месторождения 274
Мотов Д.Л. Решение проблемы переработки титанита 278
Нерадовский Ю.Н., Савченко Е.Э. Гришин Н.Н., Касиков А.Г., Окорочкова Е.А. Структура и состав шлаков Печенги: исследования на сканирующем электронном микроскопе. 283
Скамницкая Л.С., Бубнова Т.П. Минеральные примеси в кианите Хизоваарского рудного поля 286
Суворова О.В., Макаров Д.В., Лащук В.В., Меньшиков Ю.П., Плетнева В.Е. Гиперпрессованная строительная керамика из отходов обогащения апатит-нефелиновых и вермикулитовых руд 288
Щипцов В.В. Обоснование комплексности месторождений индустриальных минералов Карелии с использованием теоретических основ технологической минералогии. 291
Фоторепортаж 294
Хроника 301

Труды VI Всероссийской (с международным участием) Ферсмановской научной сессии

Апатиты, 18-19 мая 2009 г.

Рекомендовано к пречати Советом Кольского отделения РМО
и Учёным советом института КНЦ РАН

Научное некомерческое издание осуществлено при финансовой поддержке
Российского фонда фундаментальных исследований (грант 09-05-06019-г)
и департамента экономического развития правительства Мурманской области

Отпечатано в ООО К & М

184209 г. Апатиты Мурманской обл., ул. Ферсмана, д. 17 а
тел. / факс (881555) 77329

Тираж 100 экз.