

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ МИНЕРАЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ КАК ОСНОВА ВЫЯВЛЕНИЯ НОВЫХ ТИПОВ РУД И ТЕХНОЛОГИИ ИХ КОМПЛЕКСНОГО ОСВОЕНИЯ

**МАТЕРИАЛЫ ГОДИЧНОГО СОБРАНИЯ
РОССИЙСКОГО МИНЕРАЛОГИЧЕСКОГО ОБЩЕСТВА**



**Санкт-Петербург
2006**

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
ОТДЕЛЕНИЕ НАУК О ЗЕМЛЕ
РОССИЙСКОЕ МИНЕРАЛОГИЧЕСКОЕ ОБЩЕСТВО

**СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ
МИНЕРАЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИХ
ИССЛЕДОВАНИЙ КАК ОСНОВА
ВЫЯВЛЕНИЯ НОВЫХ ТИПОВ РУД И
ТЕХНОЛОГИИ ИХ КОМПЛЕКСНОГО
ОСВОЕНИЯ**

Материалы Годичного собрания
Российского минералогического общества

Санкт-Петербург. 3-5 октября 2006 г.

Санкт-Петербург
2006

Современные методы минералого-геохимических исследований как основа выявления новых типов руд и технологии их комплексного освоения. Материалы Годичного собрания Российского минералогического общества. СПб, 2006. 218 с.: ил.

В сборник включены тезисы докладов Годичного собрания Российского минералогического общества «Современные методы минералого-геохимических исследований как основа выявления новых типов руд и технологии их комплексного освоения», проходившего в Санкт-Петербурге с 3 по 5 октября 2006 г. и посвященного обсуждению последних достижений в области минералогии, геохимии и технологии освоения новых типов руд.

Тематические направления Годичного собрания 2006 года: новые типы руд металлических и неметаллических полезных ископаемых; минералогия техногенных месторождений полезных ископаемых; современные методы исследования свойств минералов для прогнозирования технологических показателей и оценки качества минерального сырья.

Тезисы публикуются в авторской редакции при минимальной редакторской правке.

Ответственные редакторы: Ю.Б.Марин
С.В.Петров
В.В.Смоленский

Компьютерный макет: В.В.Смоленский

Настоящее издание осуществлено при финансовой поддержке:

Российского фонда фундаментальных исследований (РФФИ);

Всероссийского научно-исследовательского геологического института им. А.П.Карпинского (ВСЕГЕИ).

**НОВЫЕ ТИПЫ МЕСТОРОЖДЕНИЙ И НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
РАЗРАБОТКИ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ – РЕШЕНИЕ
МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВЫХ ПРОБЛЕМ XXI ВЕКА**

Рундквист Д.В.

Московское отделение. Государственный геологический музей
им. В.И.Вернадского РАН

**NEW TYPES OF MINERAL DEPOSITS AND NEW TECHNOLOGIES
OF MINING PRODUCTION - THE DECISION OF PROBLEMS TO
MEET DEMAND FOR MINERALS IN THE XXI CENTURY**

Rundqvist D.V.

Moscow branch. Vernadsky State Geological Museum RAS

1. Реализация устойчивого развития мировой экономики (sanstanable development), декларированного в решениях ООН с участием глав государств в 1992, 1995, 2002 г.г., зависит от многих факторов, наряду с которыми важнейшее значение приобретают: а) обеспечение минерально-сырьевыми ресурсами, б) разработка экологически чистых и эффективных технологий комплексного извлечения и использования полезных ископаемых.

2. Экспоненциально растущие потребности в сырье, создание новых материалов требуют расширения спектра используемых природных элементов, минералов, пород; глобализация мировой экономики (деятельность международного валютного фонда, транснациональных компаний, хеджевых фондов, фьючерских соглашений и др.) определяет все возрастающий по темпам рост цен на энергетические ресурсы, металлы, неметаллы и другие виды полезных ископаемых.

3. Масштаб современных потребностей в сырье, уровень современных технологий извлечения полезных ископаемых, необходимость создания дорогостоящей инфраструктуры новых месторождений диктует все возрастающую роль в мировой добыче крупных и суперкрупных по запасам месторождений (КСКМ), оправдывающих затраты при многолетнем цикле их эксплуатации. Сегодня КСКМ, составляющие примерно 1 % от известных и 5-10 % от разрабатываемых месторождений определяют от 60 до 80 % мировой добычи полезных ископаемых.

4. Проведенный по Программе ОНЗ РАН анализ минерально-сырьевого потенциала мира, истории поиска и открытия месторождений

позволяет определить две главные задачи решения проблемы минерально-сырьевых ресурсов XXI века:

а) Конкретизацию перспектив выявления КСКМ традиционных типов с освоенной технологией разработки при использовании современного комплекса геолого-геодинамических, космогеофизических, формационных, минералого-геохимических методов исследований и критериев прогноза с использованием информационных ГИС-технологий и программных методов распознавания образов. Наибольшие перспективы при этом сохраняют территории, перекрытые платформенными чехлами до глубин 1000-1500 м, северные и полярные, относительно еще малоизученные территории, а также шельфы, внутренние моря, океанические структуры – рифты, котловины, поднятия, трансформные разломы, горячие точки и др.

б) Выявления, систематизация и изучение принципиально новых типов рудной минерализации, создающих КСКМ. Многовековая история развития геологии и горного дела, металлогении свидетельствует о радикальных изменениях в географии распределения КСКМ по мере выявления и освоения новых типов. Только за последние полвека сырьевая картина мира была существенно изменена после открытия месторождений золота типа Карлин (США), платиноидов Стиллуотерского (США) и Норильского типов (Россия), урановых месторождений типа несогласий и типа Олимпик-Дам (Канада и Австралия), ураноносных песчаников (СССР - Казахстан, Средняя Азия), редкометально-редкоземельных карбонатитов, выявленных за последние 40-50 лет практически на всех древних щитах, уникальных по масштабам титана нефтесодержащих стратиформных залежей в Коми Республике (Ярегский тип) и многих других.

Особенно активно выявление новых типов КСКМ происходит в последние годы - 2000-2006 г.г. – в связи с новым уровнем аналитических прецизионных минералого-геохимических исследований и современными возможностями горных наук от экологически чистой разработки горных масс до эффективного извлечения комплекса рудных элементов. Например, несомненно крупные перспективы Ge и редкометально-TR оруденения, а также Au-Pt-Pd в углеродистых угленосных толщах (Алдан, Приморье), Re в фумаролах Камчатки и Re в виде самостоятельного минерала – сульфида Mo и Re (таркианита), обнаруженного в месторождениях типа Стиллуотер, In в скарноидных толщах Магаданской области, олова из горизонтов окварцованных охристых марганецсодержащих пород (Приморье) и др. – все это принципиально меняет наши представления об ограниченности запасов в мире стратегического минерального сырья.

5. В целом в настоящее время геология вступила в новую – постплейтплюмтектоническую фазу развития. Пересмотру подвергаются фундаментальные представления о свойствах среды, с которой имеют дело геологи и геофизики. Этот процесс затронул, прежде всего, проблемы

геодинамики, но нет никаких сомнений, что в относительно скором времени в поле зрения новой теоретической геологии найдет свое место и весь спектр теоретических проблем металлогении, включая вытекающие из них практические задачи поисков месторождений. Это позволяет надеяться на дальнейшую конкретизацию критериев прогноза и поиска и в конечном итоге эффективность всего комплекса геологоразведочных работ. Успехи геологии и горных наук определяют, что проблемы устойчивого развития экономики будущего (sustainable development) лимитируются (при должном развитии регионально-геологических исследований, совершенствовании методов металлогенического анализа, разработки и обогащения полезных ископаемых) не природными ресурсами планеты, а распространением в глобальном масштабе принципов, ценностей, морали рыночных отношений, возводимых в ранг государственной политики ведущих стран, отходом от традиционных ценностей народов, духовно воспитывавшихся многими предыдущими поколениями.

6. В заключение представляется целесообразным провести серию региональных совещаний и конференций Минералогического общества по возможным новым типам крупномасштабного оруденения изучаемых регионов, по новым разработкам в области технологии, эксплуатации и извлечения полезных компонентов, комплексного экологически чистого использования руд. Эта работа должна осуществляться в тесном контакте с деятельностью Комиссии по технологической минералогии и получить освещение в специальных выпусках журнала «Записки минералогического общества».

**СУЛЬФИДНЫЕ МИНЕРАЛЫ В РУДОКОНТРОЛИРУЮЩИХ
ГОРИЗОНТАХ КВАРЦ-ГЕМАТИТОВЫХ ПОРОД КОЛЧЕДАННЫХ
МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЮЖНОГО УРАЛА**

Аюпова Н.Р.

Ильменское отделение. Институт минералогии УрО РАН
aupova@ilmeny.ac.ru

**SULFIDE MINERALS IN THE ORE-BEARING LAYERS OF QUARTZ-
HEMATITE ROCKS AT THE MASSIVE SULFIDE ORE DEPOSITS OF
THE SOUTH URALS**

Ayupova N.R.

Ilmeny branch. Institute of mineralogy, Urals branch of RAS
aupova@ilmeny.ac.ru

Седиментационные ареалы колчеданных месторождений Южного Урала представлены госсанитами. Термин «*gossan*» – железная шляпа, широко используется в зарубежных работах, в том числе и для обозначения субмаринных железных шляп, ассоциирующих с “черными курильщиками” (Hekinian et al., 1980; Herzig et al., 1991). На колчеданных месторождениях Кипра и Омана подобные оксидно-железистые образования – «*охры*» рассматриваются как близкие аналоги современных госсанов (Constantinou and Govett, 1972; Karpoff et al., 1988). Несомненно, железные шляпы разрушались и апосульфидные охры переотлагались, смешивались с фоновыми отложениями. Литифицированные аналоги таких отложений на колчеданных месторождениях Южного Урала названы *госсанитами* (Масленников, 1987; Зайков и др., 1993; Теленков, Масленников, 1995).

Основными породообразующими минералами госсанитов являются гематит, кварц и хлориты. Госсаниты образуют пластообразные тела ярко-красного, кирпичного и бурого цвета, мощность которых варьирует от первых сантиметров до 1 м. Взаимоотношения между сульфидами и госсанитами весьма сложны, многообразны и в какой-то мере, определяются пространственным положением их относительно сульфидных руд. Во многих случаях госсаниты небольшой мощности перекрывают сульфидные залежи. На склонах и выклинках рудных тел отмечается тонкое ритмичное чередование железооксидной и сульфидной минерализации. Над слоистыми сульфидными песчаниками в ассоциации с гиадокластитами наблюдаются небольшие слои (до 10–30 см) госсанитов с прослоями апогиалокластитовых хлоритолитов.

Слои госсанитов прослеживаются на больших расстояниях от колчеданных рудных тел, залегая над гиалокластитами базальтового или кислого состава. Например, на Молодежном месторождении – до 300 м; на Талганском – до 400 м; на Узельгинском – до 200–250 м; на Чебачьем – до 250 м (Аюпова, Масленников, 2005).

Госсаниты, залегающие в кровле сульфидных рудных тел (автохтонные), имеют массивную, пятнистую и грубополосчатую текстуры и мелко-, тонкозернистую, обломочную и микрообломочную структуры. Проксимальные госсаниты, залегающие на выклинках колчеданных залежей (аллохтонные), имеют обычно слоистые текстуры и представлены чередующимися слоями кремнисто-железистого состава, сульфидов и хлоритолитов. Дистальные госсаниты обычно являются смесью преобразованного фонового гиалокластического материала и единичных апосульфидных агрегатов. В этом случае мельчайшие сульфидные частички смешиваются с гиалокластическими осадками и изменяют свой облик до неузнаваемости, образуя псевдоморфозы гематит-кварцевого состава. Присутствие многочисленных бактериоморфных структур и находка трубчатых организмов в госсанитах позволяет предполагать, что в придонных преобразованиях сульфидно-гиалокластических осадков в Si-Fe-ассоциации немаловажную роль сыграл биогенный фактор (Аюпова, Масленников, 2005).

В госсанитах многих колчеданных месторождений Южного Урала хорошо сохранились реликтовые *пирит*, *халькопирит*, *сфалерит* и *галенит*. Очень часто в госсанитах наблюдается полный набор сульфидной минерализации практически всех стадий: первичный пирит-марказитовый – промежуточный пирит-халькопирит-сфалерит-галенитовый – поздний халькопиритовый с галенитом. Все эти сульфидные агрегаты частично или полностью окислены.

Наблюдаются так же полные псевдоморфозы гематит-кварцевых агрегатов по монокристаллам пирита. В большинстве случаев вокруг кристаллов пирита образуется кайма гематит-кварцевого состава. Встречается так же замещение пиритовых агрегатов гетитом. В госсанитах некоторых колчеданных месторождений широко представлены корродированные сульфидные минералы и псевдоморфозы гематита по первичному марказиту. На Талганском и Молодежном месторождениях описаны гематитизированные глобулиты пирита.

Вокруг зерен халькопирита иногда образуется *халькозиновая* оторочка, что, возможно, способствовало в этих случаях сохранению *колорадоита* в госсанитах. Наиболее устойчивым редким минералом при формировании госсанитов является также *теллуровисмутит*. В составе частично окисленных крупных сульфидных обломков, залегающих непосредственно над рудным элювием, в единичных случаях сохраняется *золото* (размер 5–10 мкм).

При многообразии форм выделения сульфидов в госсанитах все они имеют характер обломочных, кристаллических, агрегатных, гелевидных обособлений, изолированных друг от друга в кварц-гематитовом или кварц-хлорит-гематитовом цементе и никогда не образуют сплошной ткани.

Гематитизированные глобулиты пирита, сохранение колородаита, теллурувисмутита, золота в составе госсанитов могут свидетельствовать, что окисление сульфидов прекратилось на ранней стадии диагенеза осадка. Довольно крупные обломки фрамбоидальных пирит-марказитовых руд в составе госсанитов, замещенных сначала кирпично-красным тонкодисперсным, а затем кристаллическим гематитом с сохранением текстуры первичных руд, могут свидетельствовать об интенсивных процессах окисления. Присутствие псевдоморфоз кристаллического гематита не только по пириту, но и по пирротину может указывать на относительно большие скорости окислительных процессов.

Таким образом, изучение различных форм реликтов сульфидных руд в госсанитах позволяет выявить важные закономерности осадкообразования и условия их формирования. Не менее полезны эти результаты для обоснованного разделения кварц-гематитовых пород в колчеданосных зонах на рудоконтролирующие и безрудные горизонты.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проекты 05-05-64532 и 04-05-96018-р2004Урал_a) и по проекту РАН «Глобальное сравнение рудных фаций крупных колчеданных месторождений».

Аюпова Н.Р., Масленников В.В. Гальмиролититы Узельгинского колчеданосного поля (Южный Урал). Миасс: УрО РАН, 2005. 199 с.

Масленников В.В. Стратиграфо-литологический контроль медноколчеданных руд на Сибайском и Октябрьском месторождениях // Достижения науки производству. Свердловск: УрО АН СССР, 1987. С. 31-35.

Зайков В.В., Масленников В.В., Зайкова Е.В. Вулканизм и металлоносные отложения девонской островодужной системы Южного Урала. Екатеринбург: УрО РАН, 1993. 146 с.

Теленков О.С., Масленников В.В. Автоматизированная экспертная система типизации кремнисто-железистых отложений палеогидротермальных полей Южного Урала. Миасс: ИМин УрО РАН, 1995. 200 с.

Constantinou G., Govett G.J.S. Genesis of sulphide deposits, ochre and umber of Cyprus. Trans. Inst. Mining Metal. 1972. V. B81. P. 34–36.

Hekinian R., Fevrier M., Bischoff G. L. et al. Sulphide deposits from the East Pacific Rise near 21°N // Science, 1980. V. 207. P. 1433–1453.

Herzig P.M., Hannington M.D., Scott S.D., Maliotis G., Rona P.A., Thompson G. Gold-rich sea-floor gossans in the Troodos ophiolite and on the Mid-Atlantic ridge // Econ. Geology, 1991. V. 86. P. 1747–1755.

Karpoff A.M., Walter A.-V., Pelumio C. Metalliferous sediments within lava sequences of the Sumail ophiolite (Oman): mineralogical and geochemical characterization, origin and evolution // Tectonophysics, 1988. V. 151. P. 223-245.

ОБЩАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ ХИМИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ В СВЯЗИ С АНАЛИЗОМ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕМ НОВЫХ ТИПОВ РУД

Бобков А.И.

Московское отделение. РГГРУ
bobkov-ai@tochka.ru

GENERAL CLASSIFICATION OF CHEMICAL COMPOUNDS IN CONNECTION WITH ANALYSIS OF THE NEW TYPE ORES AND THEIR FORECASTING

Bobkov A.I.

Moscow branch. The Russian State Exploration University
bobkov-ai@tochka.ru

Изучение вещественного состава руд, вмещающих пород и околорудных изменений дает важную информацию, которая может быть использована для прогнозирования новых типов руд. На всех этапах этого исследования, начиная с диагностики, применяются классификации минералов на том или ином основании. При этом ведущая роль химического состава является общепризнанной. Современные классификации минералов – это, прежде всего, классификации химических соединений (Годовиков, 1979). Они являются разрозненными как между собой (классификации органических и неорганических соединений и т. д.), так и внутри себя (обычно отсутствует связь между таксонами одного уровня).

В литературе уже высказывалась мысль о необходимости создания единой классификации химических соединений и перспективах ее построения (Бокий, 1985).

Созданная автором прогрессивно-последовательная классификация соединений на уровне элементного состава охватывает все виды химических соединений, включая минералы. В основу разработки положена одноименная классификация химических элементов. В обеих классификациях объекты (элементы и соединения) составляют прогрессии (рода) и последовательности (межродовые семейства) определенного отношения, охватывающего и родовые и межродовые связи. Эти классификации являются выражением закона прогрессивно-последовательных отношений: ядра, химические элементы, молекулы, вещества и смеси находятся в прогрессивно-последовательных отношениях, определяемых критическим зарядом ядра Y и дефицитом заряда X , связанных с зарядом Z .

Прогрессивно-последовательная классификация более полно раскрывает связи между соединениями на уровне состава, чем существующие классификации, сохраняя при этом основные известные аналогии. В данной классификации на основании элементного состава можно определить прогрессию, последовательность, число и индексы отношений разных уровней, в которых участвует любое из известных или предполагаемых соединений, а также установить сходные с ними соединения.

Представляется, что углубление классификации в область строения и свойств соединений позволит давать надежный прогноз строения и свойств неизвестных соединений (включая минералы), условий их существования и ассоциаций.

Разработана простая модель, охватывающая на химическом уровне сложные связи соединений. Модель представляет собой систему прогрессивно-последовательных отношений в форме связанных между собой таблиц. Отношение (таблица) имеет индекс («номер»), определяемый значениями Y элементов соединений, входящих в отношение. Отношения в свою очередь связаны таким образом, что их индексы образуют прогрессии и последовательности. Чем сложнее состав соединения, тем больше уровней отношений.

Табличная форма не только наглядна, но и идеально подходит для использования в реляционных базах данных, работающих, например, под управлением широко распространенной системы Access, входящей в состав Microsoft Office. Именно в этом виде она реализована автором в качестве опытного образца. Данная система может быть применена также в экспертных системах. Все это может быть использовано при выявлении новых типов руд.

1. *Бокий Г.Б.* Перспектива создания естественной классификации химических соединений, в том числе минералов. «Тр. Ин-та геол. и геофиз. СО АН СССР», 1985, № 610, 3-12

2. *Годовиков А.А.* Химические основы систематики минералов. М.: Недра, 1979.

**ЗАКОНОМЕРНОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ
НЕКОТОРЫХ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН ПРИМЕНИТЕЛЬНО
К ВЫЯВЛЕНИЮ НОВЫХ ТИПОВ РУД**

Бобков А.И.

Московское отделение. РГГРУ
bobkov-ai@tochka.ru

**REGULARITIES IN VARIATION OF SOME PHYSICAL PARAMETERS
TO APPLY FOR REVEALING THE NEW TYPES OF ORES**

Bobkov A.I.

Moscow branch. The Russian State Exploration University
bobkov-ai@tochka.ru

Выявление новых типов руд неразрывно связано с установлением закономерностей совместной концентрации элементов и распределения их по фазам в природных системах. Сходство геохимических свойств определенных групп элементов нашло выражение в различных геохимических классификациях, базирующихся в основном на периодической системе элементов Д.И.Менделеева.

История открытия гафния является примером того, насколько тесно переплетались удачные и неудачные предсказания элементов, их свойств, руд и минералов, в которых эти элементы предполагались, с одной стороны, с успехами и трудностями в развитии периодической системы, с другой стороны.

Считается, что периодичность свойств ядер выходят за рамки периодической системы Менделеева. Это подчеркивал еще автор идеи ядерной периодичности В.Гаркинс (Трифонов и др., 1974). Существенным моментом для оболочечной модели ядра является сильное ядерное спин-орбитальное взаимодействие нуклонов, из-за которого распределение нуклонов по энергетическим уровням существенно отличается от аналогичного распределения электронов в электронных оболочках атомов. (Мэрион, 1975).

Изучение закономерности изменения заряда ядра Z (атомного номера) элементов в периодической системе Менделеева привело автора к выводу, что для любого Z существует присущая только ему пара значений величин X и Y , таких, что $Z = X + Y$. X – дефицит заряда, который принимает значения $0, -1, -2, -3, \dots$. Y – критический заряд, превышение которого приводит к переходу ядра данного рода в ядро другого рода. Ядра с равными значениями Y составляют прогрессию. Например, ядра элементов с Z от 5 до 12 (В – Mg) имеют $Y = 12$ и относятся к 12-й

прогрессии. Прогрессии делятся на субпрогрессии, с закономерно изменяющимся суммарным дефицитом заряда: $X_j = -(2j - 1)^3$, где j – порядковый номер субпрогрессии. Субпрогрессии состоят соответственно возрастанью номера в основном из s-, p-, d-, f-элементов. Они не имеют вариантов. Сравним известные варианты лантаноидов в периодической системе: Ce – Lu и La – Yb (Трифонов и др., 1974). Им соответствует четвертая субпрогрессия ($j = 4$) 88-й прогрессии. Сумма X в первом варианте равна -329, во втором варианте -343. $X_4 = -(2*4 - 1)^3 = -343$. Субпрогрессия совпала со вторым вариантом. При равных значениях X элементы образуют последовательность. Так, Fe, Ru, Os и Hs, имеющие $X = -12$, относятся к -12 последовательности. Последовательности объединяются в серии. Некоторые ядра не имеют дефицита заряда ($X = 0$, $Y = Z$). Это ядра He, Be, Mg, Ca, Sr, Ba, Ra. Они относятся к нулевой последовательности частиц, к которой из известных ядер принадлежит также ядро антигелия-3 (Лейкин, 1998). На основании расчетов к нулевой последовательности частиц автором отнесены также три субъядерные частицы – фотон, нейтрон и антинейтрон. Координата n частицы данной последовательности принимает значения ..., -2, -1, 0, 1, 2, Нулевая последовательность представляет собой строгое чередование семейств частиц – синглетов и триплетов (семейств соответственно из одной и трех частиц). Заряд частицы синглета атетракатный (не кратный четырем), а заряд частицы триплета тетракатный. Координата t триплета принимает значения ..., -2, -1, 0, 1, 2, Заряды частиц нечетных триплетов являются нечетно тетракатными, а четных триплетов – четно тетракатными. Нулевой триплет составляют названные элементарные частицы. Приращение заряда внутри триплета равно $8t^2$.

Закономерность изменения заряда частиц нулевой последовательности обуславливает прогрессивно-последовательные отношения ядер, элементов, молекул, соединений (в т.ч. минералов) и смесей в широком смысле, включая горные породы и руды, что полезно использовать при выявлении новых типов руд.

1. Лейкин Е.М. Античастицы. В кн. Химическая энциклопедия: В 5 т.: т. 1 - М.: Большая Российская Энцикл., 1998.

2. Мэрион Дж.Б. Физика и физический мир. - М.: Мир, 1975.

3. Трифонов Д.Н., Кривомазов А.Н., Лисневский Ю.И. Учение о периодичности и учение о радиоактивности. - М.: Атомиздат, 1974.

НОВЫЙ ТИП КОЛЧЕДАННОГО ОРУДЕНЕНИЯ НА СЕВЕРНОМ КАВКАЗЕ

Богущ И.А.

Северо-Кавказское отделение. Южно-Российский государственный технический
университет (НПИ)
i_bogush@mail.ru

THE NEW TYPE OF MASSIVE SULFIDE MINERALIZATION AT THE NORTH CAUCASUS

Bogush I.A.

North Caucasian branch. South-Russian State Technical University
i_bogush@mail.ru

Колчеданное оруденение верхнеюрской толщи (келловейский ярус) Северного Кавказа представляет совершенно новый тип оруденения мало изученный в практическом и теоретическом отношении. Прежде всего, привлекают внимание масштабность и региональный характер оруденения, прослеженного на протяжении более 400 км в основании южных склонов и эрозионных врезов Скалистого хребта. Колчеданное (пирит-марказитовое, полиметаллическое, золоторудное, медное, свинцовое и др.) оруденение локализуется в разных частях разреза базального горизонта келловейского яруса. Пачка пород келловейского яруса (песчаники, гравелитовые конгломераты, оолитовый известняк, доломитизированный известняк) трансгрессивно, без тектонических осложнений, залегает на размытой поверхности мощных толщ глинистых комплексов нижней и средней юры. Мощность базальной пачки составляет обычно 6-13 метров, а ее кровлю слагает мощная толща доломитизированных известняков мальма.

Рудную минерализацию содержат песчаники и гравелиты, а также прослой оолитовых и доломитизированных известняков (пирит, марказит, галенит, халькопирит, золото). Песчаники и гравелиты олигомиктовые; 90-95% обломочного материала представлено кварцем, реже встречаются обломки полевого шпата, кварцита, слюды и гидрооксидов железа. Весьма характерно для отдельных горизонтов песчаников и гравелитов широкое распространение растительного детрита, именно эти горизонты избирательно сульфидоносны и золотоносны.

Сульфиды в основном представлены пиритом (75-95%) и марказитом (4-25%); в меньших количествах (1-5 %) присутствуют халькопирит, галенит и сфалерит. Отдельные горизонты песчаника настолько импрегнированы цементационными сульфидами, что представляют собой пластовые тела макроскопически сплошного

колчедана. Мощность таких тел обычно 0,2-0,9м (в исключительных случаях до 1,5-2,0 м), а содержание сульфидов них 65-75 % объема. Сульфиды железа играют роль активного базисного цемента. Они развиты метасоматически, замещая как цемент гравелитов и песчаников, так и их, в основном кварцевую, терригенную составляющую. Конкреции пирита нередко имеют сложное зональное строение. Наряду с пиритом и марказитом участками присутствуют галенит и халькопирит (бассейн реки Кумы, Северная Осетия). Содержание свинца в этих местах достигает 0,3-1,0 %. Прослои и линзы оолитовых и доломитизированных известняков в основании келловейского яруса также содержат сульфидную минерализацию.

В левом борту реки Кубани, пересекающей основание Скалистого хребта, в верхней части пачки келловейских гравелитов и песчаников залегает пласт белых каолиновых глин, разведанный как каолиновое сырье. Макроскопически эти глины содержат углефицированные остатки растений при отсутствии сульфидизации. Спектральный анализ глин показал присутствие свинца и меди до 0,1 и 0,15 %. В самом разрезе пирит-марказитовые гнезда и линзы не обнаруживают включений сульфидов свинца и меди.

Рудная минерализация колчеданного типа на протяжении базальной толщи келловейского яруса Скалистого хребта представлена повсеместно диагенетической пирит-марказитовой минеральной ассоциацией, участками катагенетической термодегидратационной полиметаллической (галенит – халькопиритовой), галенитовой и золоторудной.

Стратифицированное положение колчеданных тел, региональный характер их распространения, связь с органическими остатками, присутствие фрамбоидального пирита, фоссилизационные текстуры и структуры, полнокристаллические оболочки конкреций, изотопный состав серы свидетельствуют в пользу их аутигенного (диагенетического, катагенетического и гидротермального) происхождения (*in situ*). Генетическая модель региональной сульфидной минерализации представляется нам сложной диа-катагенетической термодегидратационной с последующими локальными наложенными гидротермальными процессами.

Оценивая металлогеническую роль региональной полосы келловейского яруса можно сделать следующие выводы:

1. Базальный горизонт келловейского яруса Северного Кавказа представляет собой региональный пласт-коллектор обогащенный растительной органикой и аутигенными диагенетическими сульфидами.

2. Базальный горизонт, обогащенный сульфидами и органическим веществом является региональным геохимическим барьером.

3. В пределах базальной пачки геохимического барьера, обеспечена локальная и региональная свободная циркуляция рудоносных отжатых

захороненных вод, термогидратационных и наложенных гидротермальных растворов из подстилающих черносланцевых толщ лейаса и доггера.

4. Исходя из характера рудной минерализации базального горизонта келловейского яруса здесь вероятны медноколчеданные, полиметаллические и золоторудные промышленные скопления.

**НОВЫЙ УНИКАЛЬНЫЙ ТИП ЗОЛОТО-УРАНОВЫХ
(БРАННЕРИТОВЫХ) РУД ЭЛЬКОНСКОГО РУДНОГО УЗЛА
(ЦЕНТРАЛЬНЫЙ АЛДАН)**

Бойцов В.Е., Пилипенко Г.Н., Дорожкина Л.А.

Московское отделение. РГГРУ

luddo@yandex.ru

**THE NEW UNIQUE TYPE OF GOLD-URANIUM (BRANNERITE)
ORES IN ELKON ORE FIELD (CENTRAL ALDAN)**

Boitsov V.E., Pilipenko G.N., Dorozhkina L.A.

Moscow branch. Russian State Geology-Prospecting University

luddo@yandex.ru

Эльконский рудный узел располагается в пределах одноименного горстового поднятия, выводящего на поверхность архейские кристаллические породы фундамента северной окраины центральной части Алданского щита. Эльконский горст непосредственно с востока примыкает к площади распространения известных золоторудных месторождений Центрально-Алданского рудного района сложенной, венд-нижнекембрийскими карбонатными породами чехла. Все золотое, золото-урановое и молибденовое оруденение этого района парагенетически связано с Центрально-Алданским центром мезозойской тектономагматической активизации Алданского щита. Комплексные золото-урановые и молибденовые месторождения Эльконского рудного узла являются уникальными по запасам и разнообразному составу руд, неизвестных в мировой практике. Мезозойское оруденение Эльконского горста связана с мезозойским подновлением крупных тектонических зон, основные из которых представлены выдержанными сериями бластомилонитовых швов и имеют древний протерозойский возраст заложения, а также с собственно мезозойскими зонами. В пределах площади горста размером $50 \times 40 \text{ км}^2$ выявлено несколько сотен рудоносных зон, около 80 из которых были в 60-80-ые годы изучены с разной степенью детальности. В 15 разведанных зонах выявлено 19 месторождений и были подсчитаны запасы содержащихся в рудах Au, Ag и Mo. Однако по ряду экономических причин в 80-ые годы эти месторождения были отнесены к категории резервных. Сейчас, когда возник острый дефицит урана в России и в мире, следствием чего стало трехкратное увеличение его стоимости, а также в связи с завершением строительства проходящей через район железной дороги Нерюнгри-Алдан-Томмот ситуация изменилась. В настоящее время решение о необходимости промышленно освоения золото-урановых месторождений

этого крупнейшего в России уранорудного района – принято. В связи с различием состава руд этих месторождений, количественных соотношений содержащихся в них ценных металлов, морфологических и минералогических особенностей руд нами предложено разделение оруденения зон Эльконского горста на четыре типа.

1. Основной золотосодержащий браннеритовый Эльконский тип. (15 разведанных месторождений, залегающих в 11 рудных зонах, среднее содержание U - 0,15 %, Au – 1 г/т).

2. Браннерит-серебро-золоторудный Федоровский тип (1 месторождение, среднее содержание Au - 4,7 г/т, U - 0,06 % в контуре золотых руд).

3. Золотосодержащий уранинитовый тип зоны Интересной (2 месторождения, среднее содержание U - 0,3 %, Au - 0,5 г/т).

4. Золото-урансодержащий молибденовый Минеевский тип (1 месторождение, среднее содержание Mo - 0,15 %).

Более 95 % разведанных на Эльконском горсте запасов урана и золота связано с зонами содержащими оруденение первых двух типов, об освоении которых сейчас идет речь. Первичное гидротермальное урановое оруденение в рудах этих двух типов было представлено титанатом урана – браннеритом. Другие минералы урана (в основном коффинит) имеет резко подчиненное значение. При этом браннерит присутствует в сериях кулисообразных в разной степени выдержанных рудных швов, которые практически всегда локализованы в мощных протяженных мезозойских зонах золотоносных добраннеритовых пирит-карбонат-калиевошпатовых метасоматитов, которые в ранний период изучения руд района были отнесены к метасоматической формации гумбеитов (Казанский, 1967). Однако, при образовании зон эльконских метасоматитов, в отличие от шеелитовых гумбеитов, имеющих кварц-карбонат-калиевошпатовый состав, вслед за замещением темноцветных минералов вмещающих гнейсов происходит интенсивное растворение содержащегося в них кварца с образованием весьма тонкозернистого метасоматического агрегата, калиевого полевого шпата (40-60 %), карбонатов (33-45 %) и золотоносного пирита – мельниковита (7-15 %). Этот пирит содержит до 100 г/т тонкодисперсного золота, с которым связана основная золотоносность этих метасоматитов. В связи с существенным отличием состава и весьма широким распространением в многочисленных рудоносных зонах района эти золотоносные метасоматиты предлагается отнести к самостоятельному типу метасоматитов и назвать «эльконитами». Элькониты весьма четко исключительно выдержанно проявлены во всех основных рудоносных зонах горста. В главных мощных рудоносных зонах эти метасоматиты по простиранию протягиваются до 30 км и на 2 км на глубину, вскрытую скважинами. Зоны эльконитов отчетливо контролируют практически всегда локализованные внутри них кулисообразные серии наложенных урановорудных швов, первоначально

сложенных черным смолистым безториевым браннеритом. Этот браннерит практически не растворим в содовых растворах, а для его кислотного выщелачивания требуются весьма высокая кислотность растворов. Это подтверждается результатами испытаний технологических проб, когда для необходимого извлечения из руд 93-95 % урана требуется расход серной кислоты до 40 % от веса руды. Многолетнее изучение руд этого района показало, что практически всегда основная часть черного первичного браннерита присутствует в них в эндогенно разложенном виде и представлена так называемыми «палевыми микробрекчиями», образованными под воздействием послебраннеритовых стадий гидротермального процесса (Мигута, 1997). Урановорудные микробрекчии состоят из обломков вмещающих золотоносных метасоматитов и цемента, состоящего из эндогенно разложенного браннерита превращенного в тонкий агрегат окислов титана и урана и урановых слюдок и частично силикатов урана (коффинита). При этом в рудах всех выявленных месторождений количество первичного не разложенного браннерита обычно не превышает нескольких процентов. Тем не менее, именно с его присутствием связана общая трудная вскрываемость урана из руд описываемых типов. Из сказанного следуют следующие выводы:

1. Описываемые руды правильнее называть не браннеритовыми, а исходнобраннеритовыми.

2. Так как количество первичного упорного браннерита в отдельных месторождениях и крупных рудных телах может изменяться это будет существенно сказываться на расходе кислоты для вскрытия руд, а следовательно и на общие экономические показатели их переработки.

3. Встает задача проведения минерало-технологического картирования месторождений, что позволит с учетом крупных масштабов объектов выделить среди них наиболее экономически предпочтительные.

4. На описанном примере выявлена важная роль явления эндогенно преобразования минерализаций продуктивной стадии, чему пока не уделяется должного внимания на объектах данного и других регионов.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ грант 05-05-64041.

1. Казанский В.И., Омельяненко Б.И. О мезозойских гидротермальных изменениях архейских пород в Центрально-Алданском районе //Геология рудных месторождений, 1967, №1, С.57-65.

2. Мигута А.К. Состав и парагенетические минеральные ассоциации урановых руд Эльконского рудного района (Алданский щит, Россия) //Геология рудных месторождений, 1997, Т.38, №4, С.323-343.

**МИНЕРАЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ
ЗОЛОТОРУДНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ТАЛОВЕЙС
(КОСТОМУКША, КАРЕЛИЯ)**

Елисеева В.А., Головина Т.А.

Санкт-Петербургское отделение. Санкт-Петербургский университет
(TGo@yandex.ru)

**MINERALOGICAL-GEOCHEMICAL PECULIARITIES OF TALOVEIS
GOLD FIELD (KOSTOMUKSHA, KARELIA)**

Eliseeva V.A., Golovina T.A.

Saint-Petersburg branch, Saint-Petersburg University
(TGo@yandex.ru)

Золоторудное месторождение Таловейс расположено в пределах Костомукшского архейского зеленокаменного пояса. В строении месторождения принимают участие базальтоиды, коматииты контоксской серии и терригенно-осадочные породы гимольской серии, которые прорваны штокообразными телами диоритов, гранит-порфиров, а также дайками габбро-диабазов и лампроитов.

В пределах месторождения развиты метасоматические породы, образовавшиеся в результате единого процесса. По ультраосновным и основным породам при биотитизации, хлоритизации и актинолитизации образовались эпидот-флогопит-актинолитовые (с клинохлором), флогопит-эпидот-клинохлоровые (с апатитом, рутилом, титанитом и алланитом) и (биотит)-флогопит-карбонат-клинохлоровые (с титанитом) метасоматиты. Эти метасоматиты иногда содержат реликты основного плагиоклаза, роговой обманки и калиевого полевого шпата; в них часто присутствует более поздний наложенный кварц. Гранитоидные породы подвергнуты сильной березитизации, проявившейся в последовательных процессах серицитизации, окварцевания, карбонатизации. Все метасоматические породы подвержены сульфидизации, которая выражена в развитии вкрапленности пирита кубического облика со штриховкой, которая наиболее четко выражена в кристаллах из кислых пород. Характерной особенностью пиритов в метасоматитах по основным породам является наличие заметного количества кристаллов осложненных гранями октаэдра и пентагондодекаэдра, а также удлиненная форма кристаллов вдоль оси четвертого порядка. Содержание золота во вкрапленных пиритах колеблется от 0,5 до 2,4 г/т. Среди других сульфидов в метасоматитах фиксируются халькопирит, пирротин, сфалерит и самородное золото с пробностью 860-945 ‰.

Основное золотое оруденение на месторождении сосредоточено в кварцевых жилах, которые приурочены к обоим разновидностям метасоматитов. Содержание золота в жилах от 1,4 до 65 г/т. В жилах, сопровождаемых березитами, большая часть самородного золота представлена кристаллами октаэдрического, кубооктаэдрического, ромбододекаэдрического или комбинационного облика пробностью 920-970 ‰. Золото в жилах по основным породам представлено как самородной, так и теллуридной формами в примерно равных соотношениях. Самородное золото встречается в виде ксеноморфных, комковатых, пластинчатых зерен с пробностью 820-920 ‰. Среди теллуридов наиболее развит петцит, кроме которого наблюдается золотосодержащий гессит. Главный рудный минерал в жилах пирит пентагондодокаэдрического, кубооктаэдрического и комбинационного облика, содержание золота в пробах прямо пропорционально доле пентагондодокаэдрического пирита. Содержание золота в нем 3,5-9 г/т.

Геохимический спектр рудоносных образований месторождения Таловейс фиксирует процесс концентрации, в первую очередь, Au, Ag, Bi, Pb, Cu, Zn при некоторой обогащенности Sc, Mo, Co, V и выноса Sr, Ba, Mn, что является характерным для золотоносных проявлений данного района. Метод главных компонент факторного анализа позволил выделить геохимические ассоциации, отражающие основные факторы концентрирования элементов. Первый фактор, описывающий 37 % от общей дисперсии, характеризуется положительными нагрузками Pb, Zr, Ga, Sn, Ag, Au, Ba, Sr, Bi, Mo, отрицательными нагрузками Cr, Ni, Co, Sc, Mn, V, Cu, As и отражает геохимическую направленность наложенной минерализации на фоне элементной специфики рудовмещающих пород. Спутники золота в этом процессе объединяются в две положительно коррелирующих группы Au, Bi, Mo и Ag, Pb, Sn. Контрастный состав пород подвергшихся метасоматическим преобразованиям находит свое отражение в формировании геохимических ассоциаций оставшихся факторов, каждый из которых описывает незначительную часть общей дисперсии. Таким образом, геохимическая специфика золотоносной минерализации месторождения Таловейс в первую очередь определяются различиями в составе рудовмещающих пород.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЕЩЕСТВЕННОГО СОСТАВА И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СЕРПЕНТИНИТОВ КАРЕЛИИ

Каменева Е.Е., Лебедева Г.А., Соколов В.И., Фролов П.В.

Карельское отделение. Институт геологии Карельского научного центра РАН
(kameneva@krc.karelia.ru),

INVESTIGATION OF COMPOSITION AND PROCESSING PROPERTIES OF KARELIAN SERPENTINITES

Kameneva E.E., Lebedeva G.A., Sokolov V.I., Frolov P.V.

Karelian branch. Institute of Geology KRC RAS
(kameneva@krc.karelia.ru)

Серпентиниты имеют значительное распространение в Карелии. Они являются продуктами автометаморфического преобразования ультрамафитов (перидотитовых и пироксенитовых коматиитов, а также интрузий ультраосновного состава). Серпентиниты могут являться вмещающими породами для медно-никелевых проявлений, а также залежей талькового сырья (талькового камня и тальковых руд). Серпентинизация оливиновых пород сопровождается образованием магнетита. Для серпентинитов характерно наличие постоянной примеси рудных минералов.

В настоящее время известны некоторые разработки практического использования природных серпентинитов. Так, отмечается преимущество применения серпентинитов перед искусственными материалами в защите атомных реакторов (Серпентинит..., 1973), разработаны технологии комплексной переработки серпентинитов с целью получения из них высокочистого оксида Mg, высокодисперсного оксида Si, азотно-магниевого удобрений, магнезиальных вяжущих, адсорбентов (Ведерников, Гонюх, Корнилов и др., 1996).

В данной работе изучение возможности использования серпентинитов Карелии в керамической промышленности. Предпосылкой использования его в данном направлении является возможность получения из серпентинита при термообработке керамик с прочностью до 150-200 МПа. Такая прочность возникает в термообработанном серпентините вследствие появления аморфного кремнезема, который связывает образующиеся при перекристаллизации серпентина кристаллы оливина (Соколов, 2000). В наших исследованиях использованы серпентинизированные перидотитовые коматииты Вожемского проявления талькового камня Сегозерской группы (пробы СГ); серпентиниты Светлоозерской субвулканической интрузии (Восточная Карелия,

Каменноозерская зеленокаменная структура - пробы СВ) и серпентиниты Аганозерского блока Бураковского массива (вещающие породы хромитовых руд - пробы СА).

Основной технологической задачей при обогащении серпентинитов является удаление примеси рудных минералов, представленных в исследованных образцах серпентинитов СГ и СВ преимущественно магнетитом. Пирит и оливин присутствуют в единичных зернах. Минералогическими исследованиями установлено, что содержание магнетита в пробах серпентинитов составляет 1-2 масс.%. Магнетит присутствует в виде отдельных зерен размерами от 0,035 до 0,8 мм, тонких прожилков 0,06-0,25×25 мм и микровключений (до 0,005 мм) в массе породы. Магнетит размерами более 0,035 мм, теоретически, может быть выделен из породы методом магнитной сепарации. Неизвлекаемая часть магнетита связана с микровключениями, массовая доля которых составляет 46-58 % от общего содержания магнетита в пробах.

В серпентинитах Аганозерского месторождения сопутствующие минералы представлены магнетитом (0,9 %), хлоритом (7,8 %), кальцитом и доломитом (0,9 %), единичными зернами хромита, пирита, халькопирита, рутила, циркона, сфена и других минералов. Магнетит присутствует в виде единичных выделений размерами не более 0,01 мм.

Разработана технология обогащения серпентинитов, включающая измельчение, классификацию по фракции 0,063 мм и двухстадийную магнитную сепарацию. Магнитная сепарация проводится отдельно для фракций -0,063 мм и +0,063 мм. В результате обогащения по этой схеме удалось снизить содержание железа в два раза – FeO до 0,43-2,26 %, Fe₂O₃ – до 2,26-3,26 % из разных по составу проб СГ и СВ. Ультразвуковая обработка исходного материала позволяет улучшить за счет частичного раскрытия микровключений, однако эта операция существенно усложняет технологию.

Серпентиновые концентраты наиболее высокого качества получены из пород Светлоозерского месторождения. Из серпентинитов Аганозерского месторождения не удалось получить кондиционные по содержанию железа серпентиновые концентраты.

Проведены исследования обогащенного Светлоозерского серпентинита в качестве магнезиального сырья для получения кордиеритовой керамики. Кордиеритовая керамика используется в производстве кислотостойких, термостойких электроизолирующих изделий, в том числе, носителей катализаторов для очистки выхлопных газов двигателей внутреннего сгорания, фильтров для очистки воды и других сред.

Согласно данным рентгенофазового анализа (РФА) серпентинит состоит из антигорита с примесью оливина и имеет следующий

химический состав (масс. %): SiO_2 - 37,03; Al_2O_3 - 1,0; Fe_2O_3 - 2,32; FeO - 1,43; MgO - 44,78; $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ - 0,05; CaO < 0,01; ппп - 12,92.

Шихты крупностью –0,16мм стехиометрического состава кордиерита $2\text{MgO} \times 2\text{Al}_2\text{O}_3 \times 5\text{SiO}_2$, состоящие из серпентинита, кианитового концентрата и кварцита, обжигали при 1350°C в течение 2,5 часов. Ранее была показана возможность использования кианитового концентрата как глинозёмистого сырья при получении кордиерита вместо традиционного каолинита (Лебедева, Инина, 2005).

По данным дериватографии и РФА при $650\text{--}700^\circ$ происходит дегидратация серпентина, при дальнейшей термообработке решетка серпентина разрушается с образованием оливина, клино- и протоэнстатита. Кианит при нагревании выше 1000° начинает распадаться с образованием муллита ($3\text{Al}_2\text{O}_3 \times 2\text{SiO}_2$) и кварца. При $1150\text{--}1350^\circ$ за счет реакции муллита с магнезиальными минералами и кварцем образуется кордиерит.

Керамика, полученная при конечной температуре обжига, состояла из кордиерита с небольшой примесью муллита и следами кварца, имела следующие свойства: плотность $2,48 \text{ г/см}^3$, водопоглощение 12 %, диэлектрическая проницаемость (ϵ , отн.ед.) - 2,97, удельное электрическое сопротивление ($\lg\rho$) - 8,20, диэлектрические потери ($\text{tg}\delta$) - 0,035.

Основные характеристики керамики находятся в пределах требований к пористым кордиеритовым материалам (Масленников, Харитонов, Костюков, 1974). Получению керамики с электроизолирующими свойствами способствует низкое содержание оксидов железа и почти полное отсутствие оксидов щелочей и кальция в обогащенном серпентините.

Таким образом, результаты исследований показали, что обогащенный серпентинит Светлоозерского месторождения является перспективным сырьем для получения кордиеритовых материалов.

1. Серпентинит в защите атомных реакторов. / Под ред. Ю.А.Егоровой. М., 1973. 243 с.

2. Ведерников М.И., Гонюх В.М., Корнилов А.В. и др. Комплексная переработка серпентинитов с получением высокочистого оксида магния, высокодисперсного оксида кремния, концентратов металлов, азотно - магниевых удобрений, вяжущих наполнителей полимерных материалов и адсорбентов // Тезисы докл. Международного симпозиума, Санкт - Петербург, 1996, с. 78.

3. Соколов В.И. Физико–механические свойства серпентинитов и продуктов их обжига. // Геология и полезные ископаемые Карелии. Петрозаводск, 2000, Карельский научный Центр РАН. С. 94 – 96.

4. Лебедева Г.А., Инина И.С. Исследование возможности применения кианита для получения кордиеритовой керамики. // Огнеупоры и техническая керамика №9, 2005, с 40-42.

5. Масленников Г.Н., Харитонов Ф.Я., Костюков Н.С., Пирогов К.С. Технология электрокерамики, «Энергия», М. 1974. 224с.

**МИНЕРАЛОГО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
ПРИ ВЫБОРЕ ТЕХНОЛОГИИ ОБОГАЩЕНИЯ
АПАТИТСОДЕРЖАЩИХ РУД РАЗЛИЧНОГО ГЕНЕЗИСА**

Каменева Е.Е., Скамницкая Л.С., Щипцов В.В.

Карельское отделение. Институт геологии Карельского научного центра РАН
(kameneva@krc.karelia.ru),

**MINERALOGICAL-TECHNOLOGICAL INVESTIGATIONS TO
CHOOSE THE SCHEME OF PROCESSING FOR APATITE-BEARING
ORES OF DIFFERENT GENESIS**

Kameneva E.E., Skamnitskaya L.S., Shchiptsov V.V.

Karelian branch. Institute of Geology KRC RAS
(kameneva@krc.karelia.ru)

Современный этап освоения недр связан с вовлечением в промышленное освоение руд новых и малых месторождений, в большинстве случаев характеризующихся сложным вещественным составом и трудной обогатимостью. Добыча и обогащение таких руд связаны с ростом затрат при снижении извлечения полезных компонентов, а получаемые минеральные концентраты не всегда отвечают техническим условиям и требованиям экологической безопасности.

Эта проблема касается апатитсодержащих руд – основного поставщика сырья для производства минеральных удобрений. В России основными поставщиками апатитового концентрата являются ОАО «Апатит» и ОАО «Ковдорский ГОК» (Мурманская область). Ввиду того, что запасы богатых апатитовых руд на севере России постепенно истощаются, возникает необходимость расширения минерально-сырьевой базы главным образом за счет бедных руд новых месторождений. В этой связи интерес представляют апатитсодержащие руды Карелии.

На территории Карелии известны три объекта, имеющие апатитовую минерализацию (таблица): участок Карбонатитовый Тикшеозерского массива, сложенный апатитоносными карбонатитами со средним содержанием пятиоксида фосфора 4,5 %, участок Восточный Тикшеозерского месторождения (apatит-пироксеновое проявление, содержание P_2O_5 - 3,5%), Элисенварский массив (apatит-силикатные породы, P_2O_5 - 3,6%).

Характеристика проявлений апатитовых руд в Карелии

Рудный массив	Тип руды	Минеральный состав	Содержание P_2O_5 , %	Запасы P_2O_5 , млн.т.
Тикше-Озерский	Апатитоносные карбонатиты	Апатит (1-17%), кальцит (50-70%), доломит (7-25%), биотит (1-9%), магнетит (1-4%), силикатные минералы (0,5-7%)	4,51	40,0
Восточный	Апатит-пироксенитовый	Апатит (8-9%), карбонаты (0,5-1,5%), титаномagnetит (11-22%), амфиболы (28-52%), титанит (1-3%), пироксен (19-28%), ильменит (1,8-5,1%)	3,50	7,0
Элисенваара	Апатит-силикатный (ладогалиты)	Апатит (3-15%), титанит (1-4%), циркон (0,01-0,15%), роговая обманка (0-45%), амфибол (0-35%), пироксен (0-15%), карбонат (0-0,55%)	3,62	10,0

Признанная в настоящее время геолого-промышленная классификация месторождений апатита основана на принципе их формационной принадлежности с учетом фактора комплексности. В соответствии с этой классификацией месторождения делятся на собственно апатитовые (апатит является главным компонентом) и комплексные апатитсодержащие. Последние, в свою очередь подразделяются на две группы: 1) апатит является одним из основных компонентов при комплексном использовании; 2) содержание P_2O_5 в рудах менее 4% (убогие руды), апатит является попутным компонентом. Руды Карельских месторождений, таким образом, по содержанию апатита относятся к разряду убогих, и апатит из них может извлекаться только как попутный компонент (Минерагения..., 1994).

До последнего времени апатитсодержащие руды Карелии не рассматривались как промышленно значимые объекты и в технологическом отношении изучены явно недостаточно.

В Институте геологии Карельского научного центра РАН в 80-е годы прошлого столетия были проведены лабораторные исследования на обогатимость апатитовых карбонатитов участка Карбонатитовый Тикшеозерского месторождения, в результате которых была предложена технология комплексного обогащения и показана принципиальная возможность выделения, наряду в карбонатным продуктом, апатитового концентрата с содержанием 38% P_2O_5 (Бархатов, Малинская, Дьяконова, 1990). Эти исследования носили поисковый характер и были выполнены в ограниченном лабораторном масштабе. Ввиду отсутствия в тот период

времени устойчивого спроса на основной вид продукции – карбонатный концентрат, дальнейшие работы в этом направлении были прекращены.

В настоящее время, учитывая актуальность проблемы расширения минерально-сырьевой базы апатита, в Институте геологии Карельского научного центра РАН исследования апатитсодержащих руд возобновлены. Целью нового этапа работ является изучение взаимосвязи вещественного состава и технологических свойств руд.

В результате минералого-технологического изучения апатитсодержащих руд Карелии установлено, что они различаются по минеральному, химическому составу, текстуре и структуре, физико-химическим и другим свойствам не только в разных месторождениях, но и в пределах одного рудного тела. Известные классификации в той или иной мере учитывают перечисленные признаки, но степень важности их в отношении оценки технологических свойств до сих пор остается недостаточно раскрытой.

Проведенными минералого-технологическими исследованиями апатитсодержащих руд установлено, что основное влияние на их технологические свойства оказывают три группы факторов: 1) характер петрогенной основы, 2) текстурно-структурные особенности, 3) состав и свойств рудообразующего апатита. В зависимости от этих факторов выбирается метод обогащения и последовательность технологических операций.

Элсенваарское месторождение щелочных пород образует вулканоплутонический комплекс (Райвимажский и Кайвомяжский массивы апатит-силикатных руд). Оба массива сложены магматическими породами двух фаций глубинности – гипабиссальной и диатермовой. Апатитоносные породы – невоиты и ладогалиты сформированы в раннюю фазу (Хазов, Попов, Бискэ, 1993).

Руды содержат (масс. %): апатит (3-15), титанит (1-4), циркон (0,1-45), амфибол (0-35), пироксен (0-15), карбонаты (0-0,55). Отмечаются существенные колебания в содержании основных рудообразующих минералов. Апатит относится к фторапатитам с высоким содержанием стронция.

Руды Райвимажского и Кайвомяжского массивов характеризуются значительным различием физико-химических свойств апатита и сопутствующих минералов, что является благоприятным фактором для их обогащения флотационным методом. Раскрытие основной части сростков достигается при крупности 0,2мм, однако около 10% сростков раскрываются при крупности 0,1 мм и менее. Зерна апатита в основной массе чистые, но встречаются зерна, пораженные микровключениями биотита, карбонатов, сфена. В отдельных пробах отмечаются зерна апатита, покрытые пленками. Содержание измененных зерен не превышает 3-5% в общей массе пробы и не может оказать существенного влияния на качество апатитового концентрата.

Проведена сравнительная оценка обогатимости руд по флотационной, магнито-флотационной и магнито-электрической схемам (Бархатов, Скамницкая, 1981). Наиболее рациональной является магнито-флотационная технология, позволяющая выделить из ладогалитов и невоитов высококачественный апатитовый и стронций-барийсодержащий полевошпатовый концентраты. На стадии крупного измельчения удается выделить концентрат мелкочешуйчатого биотита, который может найти применения при производстве строительных материалов, в сельском хозяйстве и других отраслях промышленности. Технология предусматривает попутное выделение титанитового концентрата.

Полученный апатитовый концентрат содержит 38% пятиоксида фосфора.

Тикшеозерское месторождение апатитовых карбонатов относится к апатит-титаномagnetит-ильменитовому типу в габброидах. Месторождение представлено в протоорогенной области Фенноскандинавского щита (щелочно-габброидный подтип), время его возникновения определяется поздним археем.

Апатит-карбонатные руды Тикшеозерского массива представлены (масс.%): апатитом (1-17), кальцитом (50-70), доломитом (7-25), биотитом (1-9), магнетитом (1-4), силикатными минералами (0,5-7).

Апатит выделяется в две генерации. Первая – апатит, сформированный в основную интрузивную фазу. Для него характерны как типоморфные (умеренно удлиненные кристаллы), так и округлые вытянутые зерна. Размер их составляет 1,2-1,6 мм и менее. Крупные зерна, как правило, сильно трещиноваты. Микротрещины залечиваются карбонатами или по ним развита сыпь меланократовых минералов. Часть зерен (независимо от размера) содержит микровключения слюд, амфибола, пироклора. Чаще всего зерна апатита располагаются внутри карбоната, образуя цепочки или скопления с амфиболом, слюдой, магнетитом.

Вторая генерация апатита образована на стадии метасоматоза. Для этого апатита характерны короткостолбчатые или таблитчатые кристаллы или округлые зерна. Апатит располагается на границе зерен кальцита, а также в виде включений в слюдах и ассоциациях с амфиболом, слюдами, пироксеном (Щипцов, Цюнь, Желдаков, 1991).

Флотационные свойства разновидностей апатита Тикшеозерского месторождения достаточно высоки, и основная технологическая трудность заключается в его отделении от кальцита, обладающего близкими к апатиту физико-химическими и флотационными свойствами. Учитывая, что содержание кальцита в руде значительно выше, чем апатита, можно утверждать, что главным компонентом является карбонат. Освоение объекта возможно только комплексно с попутным извлечением апатита.

Технология обогащения этих руд предусматривает флотацию апатита по классической схеме и последующую флотацию кальцита из хвостов апатитового цикла. В результате лабораторных опытов получен

апатитовый концентрат, содержащий 38,8 % пятиоксида фосфора при извлечении 59,6 %

Таким образом, апатитсодержащие руды месторождений Карелии относятся к разряду убогих (по апатиту), но технологичных. Апатит можно рассматривать как попутный компонент. Освоение этих руд связано с первоочередным решением вопросов комплексного обогащения, определением направлений использования отдельных минеральных концентратов и поиском их потенциальных потребителей.

Работа выполнена при поддержке РФФИ-Север (грант 05-05-97524С).

1. Минералогия и прогноз месторождений апатита. Сост. Р.М.Файзуллин. – М.: Недра, 1991. – 256с.

2. Бархатов А.В., Малинская И.С., Дьяконова О.Н. Особенности обогащения комплексных фосфатных руд Карелии // Комплексное освоение минеральных ресурсов севера и северо-запада СССР (Европейская часть). Петрозаводск, 1990.-С.107-113.

3. Хазов Р.А., Попов М.Г., Бискэ Н.С. Рифейский калиевый магматизм южной части Балтийского щита. – СПб.: Наука, 1993. – 216с.

4. Бархатов А.В., Скамницкая Л.С. Технологическая оценка обогатимости апатитовых руд Райвимаки-Кайвомякского массива (Западное Приладожье) // Геология и полезные ископаемые Карелии. Петрозаводск, 1981, С.48-50.

5. Щипцов В.В., Цьонь О.В., Желдаков Ю.А. Распределение U-Th-Pb и редкометалльных элементов в апатитах Карелии // Минералогический журнал, 1991, Т.1, №14, С. 92-98.

**МИНЕРАЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ Sb-Ag-Au
ОРУДЕНЕНИЯ НЕТРАДИЦИОННОГО ТИПА МЕСТОРОЖДЕНИЯ
ДАВОН (ЦЕНТРАЛЬНО-КЫЗЫЛКУМСКИЙ ЗОЛОТОРУДНЫЙ
РАЙОН, УЗБЕКИСТАН)**

Колоскова С.М.

Минералогическое общество Узбекистана. Институт минеральных ресурсов.
mineral@cu.uz

**MINERALOGICAL-GEOCHIMICAL PECULIARITIES OF UNUSUAL
Sb-Ag-Au MINERALIZATION IN DAVON DEPOSIT (CENTRAL-
KYZYLKUM GOLD-ORE PROVINCE, UZBEKISTAN)**

Koloskova S.M.

Mineralogical society of Uzbekistan. Institute of mineral resources.
mineral@cu.uz

Промышленное золотое оруденение Центрально-Кызылкумского золоторудного района относится к редкометально-золоторудной (Мурунтау, Мютенбай, Бесапантау, Песчаное) и мышьяково-золоторудной (Амантай, Даугызтау, Аджибугут и др.) высоко- и средне температурным рудным формациям и локализовано в терригенных породах. Низкотемпературная Au-Ag, Au-Ag-Sb, Au-Hg минерализация на этих месторождениях золота имеет индикаторное развитие, в то время как на месторождении Давон Au-Ag-Sb минерализация участвует в формировании золоторудных тел.

Вмещающие породы мелкого месторождения Давон представлены чередованием пачек массивных кремнистых и рассланцованных терригенных пород, имеющих тектонические контакты. Золотое оруденение размещается в кварцитах, углисто-кремнистых сланцах, серицит-полевошпат-кварцевых кварцитовидных песчаниках, незначительно в серицит-полевошпат-кварцевых алевролитах и углеродистых полевошпат-кварц-серицитовых сланцах. С золотой минерализацией пространственно совмещены разновозрастные локальные метасоматиты – эйситы-березиты, кварц-хлорит-турмалиновые, аргиллизиты. Формация эйстов-березитов представлена золотоносными метасоматитами пирит-(арсенопирит-серицит-хлорит)-карбонат-альбит-кварцевого состава. Метасоматиты кварц-хлорит-турмалиновой формации на объекте имеют пирит-альбит-кварц-турмалиновый состав с переменным количеством хлорита и находятся как в пространственной связи с золотой минерализацией, так и развиты в безрудных участках. Аргиллизиты представлены (хлорит-карбонат)-каолинит-слюдисто-кварцевыми новообразованиями.

Формирование концентраций золота связано с метаморфогенно-гидротермальной, гидротермальной, пневматолито-гидротермальной, телетермальной стадиями. В метаморфогенно-гидротермальную стадию образованы метасоматиты золото-(арсенопирит)-пирит-(хлорит-карбонат)-серицит-альбит-кварцевого состава, это первая золотопродуктивная ассоциация, имеющая значение базовой рудной формации. Продукты гидротермальной стадии представлены гнездово-прожилковой золото-(арсенопирит)-пирит-(карбонат)-альбит-кварцевой минеральной ассоциацией. Пирит-альбит-кварц-турмалиновая минеральная ассоциация пневматолито-гидротермальной стадии имеет взрывной характер. Предполагается её ремобилизующая роль в образовании концентраций золота. Отложение (золото-серебро)-антимонит-карбонат-кварцевой минеральной ассоциации телетермальной стадии завершает процессы формирования концентраций золота эндогенного этапа. Кварцевые, карбонат-кварцевые и каолинит-карбонат-кварцевые прожилки с антимонитом пересекают все ранее образованные минеральные ассоциации. В них наблюдаются выделения тонкодисперсного и пылевидного золота, сфалерита, блеклой руды, галенита, халькопирита, джемсонита, ковеллина, ауристита (?), самородного серебра. Золотоносность находится в зависимости от наложения на ранние золотопродуктивные ассоциации, в других рудоносных обстановках фиксируется только повышенное содержание сурьмы и серебра.

Золотоносные руды объекта содержат золото самородное (0,2 - 99,2 г/т), пирит (0,5-5 %), арсенопирит (до 1 %), антимонит (до 1 %), кварц (40-70%), полевые шпаты (до 20%), серицит (5 -20 %), карбонаты (до 3-5 %), турмалин (1-6 %), ильменит (до 2-3 %), апатит (до 1-2 %). Самородное золото представлено преимущественно зернами класса 1-10 мкм, поэтому при переработке руды требуют тонкого измельчения. Главными концентраторами золота являются кварц, пирит и арсенопирит, основная масса золота находится в кварце и пирите. Рациональный анализ показывает, что золото присутствует в руде в самородной форме (94 %) в гипогенных минеральных образованиях, на долю минералов зоны окисления приходится около 5 %, субмикронное химически связанное золото в сульфидах составляет ~1 %. Тонко-вкрапленная сульфидная минерализация характеризуется количественным преобладанием пирита над арсенопиритом, низкотемпературными сульфидами и сульфосолями. Полиэлементный аномальный геохимический спектр руд имеет вид Au-Ag-As-Sb-Pb-Sn-W-Bi. Отмечено пространственное совмещение на изученных глубинах геохимических ассоциаций верхнерудного (Ag, Sb, Pb, Ba), рудного (Au, As) и нижнерудного (W, Sn, Bi) комплексов элементов, в богатых рудах наблюдается коррелируемость распределения этих элементов. Промышленную ценность объекта определяет *золото*, сурьма и серебро могут войти в число попутных компонентов.

Формирование месторождения Давон происходило в течение длительного времени и обусловлено многофакторными процессами, включающими: 1) в рудоподготовительный период – начальное концентрирование золота при региональном динамотермальном метаморфизме и высокотемпературном метасоматозе в определенные этапы прогрессивного плутонического метаморфизма осадочных толщ; 2) воздействие постмагматических гидротермальных флюидов, парагенетически связанных с палингенными гранитоидами C_3 , и формирование золотоносных метасоматитов эйсит-березитовой формации и прожилковых гидротермалитов; 3) реювенацию минерализации в связи с малыми интрузиями лейкогранитов P_1 , инициирующими образование турмалиновой ассоциации и регенерацию раннего тонкодисперсного в сульфидах и свободного золота; 4) обогащение золотом локальных участков объекта телетермальными процессами этапа посторогенной тектоно-магматической активизации периода P_2-T_1 ; 5) экзогенные преобразования – окисление руд с высвобождением и переотложением золота.

Таким образом, по комплексу минералого-геохимических признаков месторождение Давон относится к нетрадиционному для Центрально-Кызылкумского золоторудного района Sb-Ag-Au типу оруденения, представляющему новую природную разновидность золотоносных руд с совмещенной среднетемпературной As-Au и низкотемпературной Au-Ag-Sb минерализацией, с золотом ультратонкого-пылевидного классов, рассеянном в прожилково-метасоматических образованиях арсенопирит-пирит-каолинит-карбонат-полевошпат-слюдисто-кварцевого состава в кремнистых породах.

**ОСОБЕННОСТИ МИНЕРАЛЬНЫХ ФОРМ Au И Ag
В РУДАХ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ТАЛАТУЙ
(ВОСТОЧНОЕ ЗАБАЙКАЛЬЕ, РОССИЯ)**

*Краснов А.Н.¹, Прокофьев В.Ю.¹, Зорина Л.Д.², Юргенсон Г.А.³, Коваленкер
В.А.¹, Трубкин Н.В.¹*

¹ Московское отделение. ИГЕМ РАН. kras2003@rambler.ru, vpr@igem.ru;

² ИГХ СО РАН;

³ Читинское отделение. ИПРЭК СО РАН. yurgga@mail.ru

**PECULIARITIES OF Au AND Ag MINERAL FORMS IN ORES OF
TALATUY GOLD DEPOSIT (EASTERN TRANSBAYKALIA, RUSSIA)**

*Krasnov A.N.¹, Prokof'ev V.Yu.¹, Zorina L.D.², Yurgenson G.A.³,
Kovalenker V.A.¹, Trubkin N.V.¹*

¹ Moscow branch. IGEM RAS. kras2003@rambler.ru, vpr@igem.ru;

² Vinogradov Institute SB RAS;

³ Chita branch. IPREK SB RAS. yurgga@mail.ru

Золоторудное месторождение Талатуй находится на территории Читинской области и расположено в пределах Дарасунского рудного района, в 12 км к северо-западу от золото-сульфидного месторождения Дарасун. Оруденение локализовано в гидротермально измененных магматических породах кручининского комплекса основного и среднего состава. Вмещающие породы инъецированы дайками и штокообразными телами диоритовых порфиров, гранит-порфиров, гранодиорит-порфиров, кварцевых порфиров и лампрофиров амуджикано-сретенского комплекса, относимого к позднеюрскому возрасту. Участками вмещающие оруденение породы перекрыты комагматичными малым интрузиям вулканитами, в составе которых отмечаются риолиты, дациты, андезиты, латиты.

Руды месторождения Талатуй представлены зонами прожилково-вкрапленной минерализации, границы которых определяют по результатам опробования. Минеральный состав руд довольно необычен для золоторудных месторождений. Главными минералами являются (количественный минералогический анализ технологических проб, %): магнетит (19–21), полевые шпаты (15–28), кварц (17–23), пирит (7–9), халькопирит (6–9), эпидот, хлорит, турмалин, биотит (7–15 в сумме). Менее широко распространены, гранат, шеелит, сфалерит, пирротин, гематит, гидроксиды железа и другие более редкие минералы.

Основным полезным компонентом руд является золото, наиболее высокие содержания которого связаны с сульфидами (г/т): до 101,5 в

пирите, 38,95 в халькопирите. Содержание его в магнетите до 4,12 г/т. Среднее содержание золота, включая все минеральные типы продуктивных золотоносных зон, 12,8 г/т при среднеквадратичном отклонении (σ) 2,56; в первичных рудах содержание золота 7,8, а в окисленных 16,1 г/т, серебра – 18,26 г/т при $\sigma = 6,78$; в окисленных рудах его среднее содержание по данным разведки 21 г/т, а в первичных – 5,8. В то же время литературные сведения о золоте и серебре в рудах противоречивы. Некоторые авторы пишут о высокой пробности золота Талатуя – 870-975 ‰ (Беневольский, 2002), другие – о более низкой – 685-925 ‰ (Юргенсон, Юргенсон, 1995). Соотношение Au:Ag в рудах по опубликованным данным около 1:1 (Воробьев, Гладуш, 2000), хотя по материалам одного из авторов (Юргенсон и др., 1991г.), включающим технологические пробы массой до 300 т, оно широко варьирует (от 0,54 до 1,9). Выявленные противоречия диктуют необходимость проведения специальных минералогическо-геохимических исследований поведения золота и серебра в рудах месторождения Талатуй. Попутными полезными компонентами руд являются серебро, медь, вольфрам и висмут, а также сульфидная сера. Эксплуатация месторождения началась в 2004 году и продолжается в настоящее время, что делает особенно актуальной изучение минеральных форм полезных компонентов руд, и прежде всего золота и серебра. Разработка ведется открытым способом, двумя карьерами по рудным зонам 2 и 3.

Для изучения золота и серебра в рудах месторождения Талатуй были использованы коллекции образцов, собранные в период разведки месторождения, а также материалы опробования руды в карьерах, полученные в полевой сезон 2005 г. Анализы валовых проб руды методами количественного спектрального анализа (ИГХ СО РАН) и нейтронно-активационного анализа (ИГЕМ РАН) показали, что зависимость концентраций золота и серебра в рудах месторождения достаточно сложная. Коэффициент корреляции золота с серебром в пробах руды, отобранных по разведочной штольне, составляет 0,79 (45 проб), по зоне 2 – 0,52 (96 проб), а по зоне 3 – 0,32 (62 пробы). Уменьшение коэффициента корреляции Au с Ag может свидетельствовать о появлении собственных минералов серебра и концентрировании этих элементов в рудах в разных формах. Такое предположение может быть особенно актуально для зоны 3, в которой сильно проявлена низкотемпературная карбонатная минерализация.

Изучение коллекции аншлифов, изготовленных из основных типов руд, проводилось методами рудной оптической микроскопии с последующим изучением химического состава отдельных минеральных фаз на сканирующем электронном микроскопе JSM5300 с энергодисперсионной приставкой Link ISIS (ИГЕМ РАН).

Выявлено две основных генерации золота в рудах, наиболее раннее золото ассоциирует с пиритом, магнетитом, шеелитом, эпидотом, калиевым полевым шпатом и имеет наиболее высокую пробность (964-989 ‰). Золотины размеров до 50 мкм образуют вкрапленность в перечисленных выше минералах. Более позднее золото в ассоциации с сульфидами имеет более низкую пробность (791-881 ‰) (рис. 1). Это золото присутствует в виде мелких (до 10 мкм) вростков в халькопирите и крупных (до 0,3 мм) золотинок, и иногда рассекается мелкими прожилками электрума (440 ‰). Следует отметить, что в полученный интервал пробности золота укладываются все результаты предшественников.

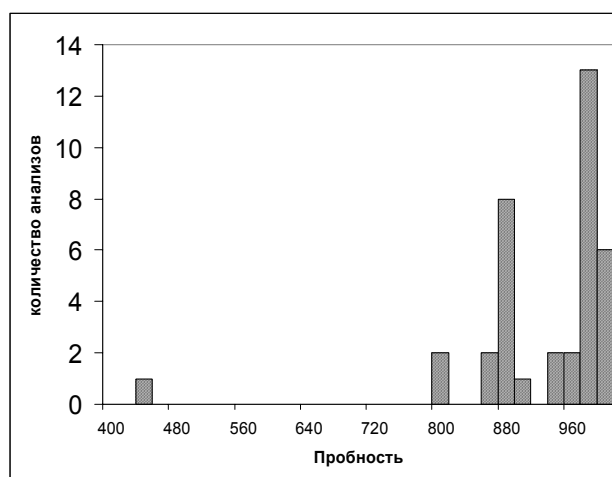


Рис. 1. Пробность самородного золота из руд месторождения Талатуй.

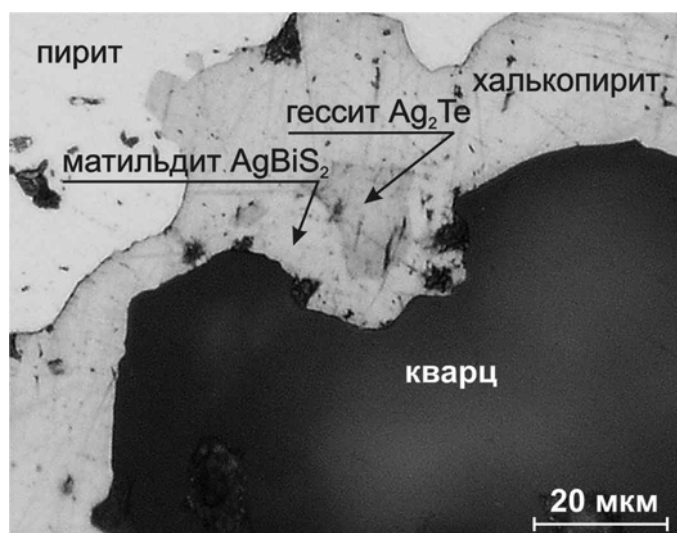


Рис. 2. Гессит и матильдит в рудах

Кроме того, в ходе исследований установлены ранее не отмечавшиеся на месторождении минералы серебра: гессит (Ag_2Te), матильдит (AgBiS_2) и, возможно, ялпаит (Ag_3CuS_2). Наиболее часто в рудах встречается гессит, реже попадаются сростания гессита с матильдитом (рис. 2). Размеры фаз редко достигают 20 мкм, обычно они значительно меньше. Минералы серебра часто образуют прожилки в пирите и халькопирите и

являются наиболее поздними из рудных минералов. Разновременность кристаллизации минералов золота и серебра (самородное золото отлагалось вначале рудного процесса, а минералы серебра – в конце) обусловила разницу в пространственном распределении этих элементов в рудах.

Электронная микроскопия позволила выявить также собственные минералы и других полезных компонентов руд месторождения: висмута (пильзенит Bi_4Te_3 , виттихенит Cu_3BiS_3) и вольфрама (ферберит FeWO_4 и шеелит CaWO_4) (Прокофьев и др., 2005). Эти минеральные формы должны учитываться при выборе технологии переработки руд для наиболее

полного извлечения всех полезных компонентов. Проведенные минералогические исследования показали неординарность минерального состава руд месторождения Талатуй. Возможно, мы имеем дело с новым типом золото-серебряных руд.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проекты 04–05–65119 и 04-05-64407).

1. Беневольский Б.И. Золото России. Геоинформмарк: Москва, 2002. 464с.
2. Воробьев А.Е., Гладуш А.Д. Геохимия золота. М.: Изд-во РУДН, 2000. 431с.
3. Прокофьев В.Ю., Краснов А.Н., Коваленкер В.А., Трубкин Н.В. Минеральные микровключения в пирите золоторудного месторождения Талатуй (Восточное Забайкалье) // Минералогические исследования в решении геологических проблем. Материалы годичной сессии Московского отделения РМО. М.: ИГЕМ РАН, 2005. С. 114.
4. Юргенсон Г.А., Юргенсон Т.Н. Дарасунское рудное поле // Месторождения Забайкалья. Чита–М., 1995. Кн. II. С. 3-18.

**НОВЫЕ ДАННЫЕ О РЕДКОМЕТАЛЛЬНОЙ МИНЕРАЛИЗАЦИИ
КАРБОНАТИТОВ ВУЛКАНА КЕРИМАСИ
(ВОСТОЧНО-АФРИКАНСКИЙ РИФТ, С.ТАНЗАНИЯ)**

Купцова А.В., Петров С.В.

Санкт-Петербургское отделение. Санкт-Петербургский университет
irbis_313@mail.ru, petrov64@gmail.ru

**NEW DATA ON RARE METAL MINERALIZATION IN
CARBONATITES OF KERIMASI VOLCANO (EAST AFRICAN RIFT,
NORTHERN TANZANIA)**

Kuptsova A.V., Petrov S.V.

Saint-Petersburg branch, Saint-Petersburg University
irbis_313@mail.ru, petrov64@gmail.ru

Исследование редкометалльной минерализации проводилось в элювиальных и делювиальных отложениях кратерных фаций паразитических конусов (Лалуни, Лулмурвак, Кизета, Дити, Мамба) карбонатитового вулкана Керимаси (Северная Танзания). В работе применен шлиховой метод опробования, который позволил впервые выделить и проанализировать редкие минералы эффузивных карбонатитов (карбонатитовые туфы и туфобрекчии) и базальтовых литокристаллокластических туфов (содержащих, в том числе, и обломки кальцитовых карбонатитов).

В тяжелой немагнитной фракции шлихов обнаружены: бастнезит, кальцитрит, бадделеит, пирохлор, перовскит, титанит, апатит, флюорит, барит, кальцит.

Минералы группы пирохлора были классифицированы по габитусу и морфологии поверхностей. Выделено три группы: кристаллы октаэдрического, кубооктаэдрического габитуса и кристаллы с комбинацией граней (111), (100), (110). Последние две грани всегда имеют подчиненное значение, по отношению к граням октаэдра и наблюдаются лишь в комбинациях с ним (рис. 1 а,b,c).

По морфологии поверхностей минералы группы пирохлора не отличаются разнообразием, в отличие от пирохлоров из древних карбонатитов и их кор выветривания. Различаются кристаллы: 1) с неразвитым микрорельефом, гладкие, с острыми ребрами; 2) с мелкочешуйчатым рельефом, «округленными» ребрами; 3) пористые, с червеобразными углублениями (рис. 1 d,e,f).

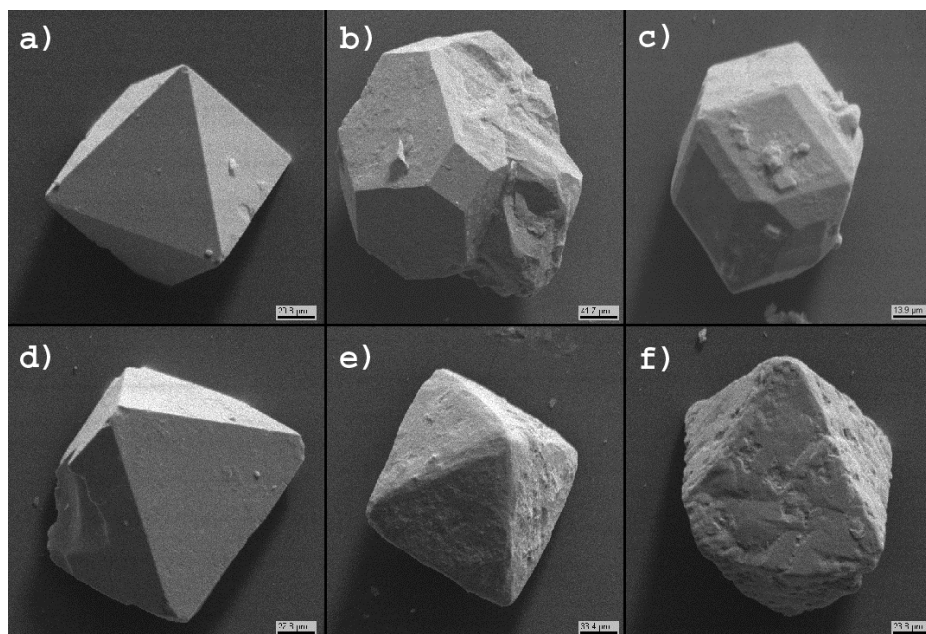


Рис.1. Габитус (а – октаэдрический, б – кубооктаэдрический, с – с комбинацией граней (111), (100), (110) и морфология (d – кристаллы с неразвитым микрорельефом, е – с мелкочешуйчатым рельефом, f - с червеобразными углублениями) кристаллов пироклора.

Химический состав пироклоров прослежен по результатам 11 микрозондовых анализов (табл. 1). Состав пироклоров существенно не отличается как друг от друга, так и в пределах одного зерна. Они характеризуются низкой дисперсией содержаний Na, Ca, Ti, Nb и Al. По соотношению главных катионов в позиции В изученные пироклоры относятся к подгруппе собственно пироклоров ($Nb+Ta > 2Ti$).

Таблица 1.

Формульные коэффициенты пироклоров

Анализы	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
При $\sum B=2$: Позиция В											
Nb	1,70	1,57	1,42	1,60	1,55	1,50	1,59	1,55	1,64	1,61	1,62
Ti	0,21	0,24	0,28	0,17	0,17	0,22	0,25	0,25	0,24	0,23	0,31
Fe	0,09	0,08	0,05	0,07	0,06	0,04	0,08	0,05	0,05	0,07	0,03
Al	-	0,11	0,12	0,16	0,22	0,25	0,07	0,14	0,07	0,09	0,04
Si	-	-	0,13	-	-	-	-	-	-	-	-
Сумма	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00
Позиция А											
Na	0,63	0,46	0,54	0,56	0,59	0,52	0,54	0,47	0,53	0,52	0,55
Ca	1,21	1,22	1,05	1,10	1,07	1,04	1,27	1,22	1,29	1,18	1,21
Sr	-	-	-	-	-	-	-	0,01	0,01	0,01	0,01
U	0,02	0,03	0,01	-	-	0,01	0,03	0,01	0,02	0,01	0,01
Сумма	1,86	1,71	1,60	1,67	1,67	1,57	1,84	1,70	1,85	1,72	1,78

Примечания: зоны кристаллов: 1,2,3,4,7 – центральная; 6,8,9 – промежуточная; 5,10,11 - краевая зоны. Аналитик: А.В.Антонов (ВСЕГЕИ).

В целом для химического состава пироксенов отмечается отсутствие (в пределах обнаружения) таких основных элементов структуры как Та в позиции *B*, и Th, Ва и REE в позиции *A*. Дефицит катионов в *A*-позиции незначителен (Hogarth D.D., 1977). Отмечается прямая взаимосвязь между содержанием Са и суммарным количеством катионов в *A*-позиции, в меньшей степени такая зависимость наблюдается для Na.

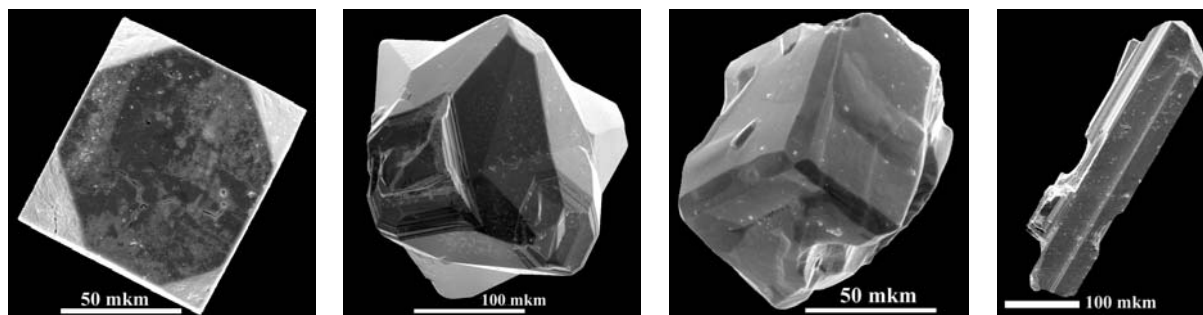


Рис.2. Перовскит

Кальцит

Бастнезит

Бадделлит

Перовскит представлен кристаллами кубического и кубооктаэдрического габитуса с характерной смоляно-черной окраской (рис. 2). Исследованные перовскиты отличаются значительными колебаниями содержаний элементов-примесей (табл. 2). Причем для основных элементов структуры разница между минимальным и максимальным значением не превышает 25 %, а для остальных колеблется в среднем от 60 до 92 %.

Таблица 2.

Формульные коэффициенты перовскитов

Структурная формула рассчитана на 3 атома кислорода										
Анализ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Na	0,04	0,02	0,04	0,04	0,02	-	-	-	0,12	0,07
Ca	0,88	0,98	0,96	0,93	0,97	0,98	0,97	0,96	0,79	0,90
La	-	0,01	-	0,01	-	-	-	-	0,01	-
Ce	0,08	0,02	0,02	0,03	-	-	0,01	0,02	0,07	0,02
Al	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Fe	0,02	0,07	0,07	0,07	0,02	0,01	0,02	0,02	-	-
Ti	0,96	0,87	0,84	0,84	0,99	1,00	0,96	0,97	0,92	0,96
Nb	0,01	0,05	0,08	0,08	-	-	0,02	0,02	0,06	0,04
Анализ	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Na	0,01	0,03	0,02	0,01	0,02	0,01	-	0,01	-	0,02
Ca	0,95	0,95	0,93	0,98	0,95	1,00	0,94	0,94	0,96	0,95
La	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ce	0,02	0,03	0,03	-	0,01	0,03	0,04	0,03	0,02	-
Al	0,02	-	0,03	-	-	-	-	0,04	0,05	0,03
Fe	-	0,01	0,06	0,01	-	0,06	0,02	0,01	0,02	0,01
Ti	0,97	0,99	0,84	1,00	1,01	0,88	0,95	0,95	0,95	0,98
Nb	0,02	-	0,08	-	-	0,04	0,02	0,01	-	0,01

Примечания: 1 – кратер Лалуни; 2-20 – различные зоны кубооктаэдрических кристаллов перовскита, кратер Кизета. Аналитик: Антонов А.В. (ВСЕГЕИ).

В сравнении с перовскитами массивов Кольского полуострова отмечается обогащение Al, Fe и обеднение Sr, Nd, Pr, Nb. Зональность в распределении примесей не установлена, однако иногда более железистые и ниобиевые разности слагают оторочки кристаллов. Отмеченная ранее во многих работах (Чернышева, 1990, Campbell, 1997) синхронность колебания содержаний REE и Nb сохраняется, наблюдается прямая корреляция между концентрациями Fe и Nb (0,72), Na и REE (0,60).

Апатит отмечается в виде бесцветных изометрических зерен или призматических кристаллов. Апатит из карбонатитов вулкана Керимаси не содержит значимых концентраций примесных элементов, в нем часто отсутствует фтор (табл. 3). В некоторых образцах отмечается наличие Fe, Si, Al, Sr.

Таблица 3.

Формульные коэффициенты минералов группы апатита

Анализы	1	2	3	4	5	6	7
Ca	5,00	5,00	5,00	4,96	4,95	4,93	4,95
Fe	-	-	-	-	-	-	0,01
Sr	-	-	-	0,04	0,05	0,07	0,04
Сумма	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00
Si	-	-	-	-	-	-	0,11
Al	-	-	-	-	-	0,28	0,07
P	2,28	3,05	3,02	3,05	2,96	3,10	3,01
Сумма	2,28	3,05	3,02	3,05	2,96	3,37	3,19
F	-	-	-	0,56	-	0,54	0,56
Анализы	8	9	10	11	12	13	14
Ca	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00
Fe	-	-	-	-	-	-	-
Sr	-	-	-	-	-	-	-
Сумма	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00
Si	-	-	-	-	-	-	-
Al	-	-	-	-	-	-	-
P	2,76	2,91	2,85	3,03	3,02	3,25	2,83
Сумма	2,76	2,91	2,85	3,03	3,02	3,25	2,83
F	-	-	-	-	-	-	-

Примечания: кратеры: 1-7 – Кизета; 8-14 – Лалуни. Аналитик: Антонов А.В. (ВСЕГЕИ).

Кальцитрит образует желтые и коричнево-желтые прозрачные изометрические зерна и тройники дитетрагонально-дипирамидальных индивидов (рис. 2). Химический состав кальцитрита близок к стехиометрическому (табл. 4). Характерной особенностью является повышенное содержание Al и Fe, а также отсутствие таких примесей, как REE и Si.

Бастнезит представлен мелкими темно-красными ромбоэдрическими кристаллами, двойниками и сростками, зернами с индукционными гранями (рис. 2). В составе минерала резко преобладает церий.

Таблица 4.

Формульные коэффициенты кальцитритов

Анализы	1	2
Структурная формула рассчитана на 16 атомов кислорода		
Ca	1,96	1,95
Al	0,19	-
Fe	0,15	0,09
Ti	1,77	2,03
Zr	5,00	4,93

Примечания: кратеры: 1- Кизета, 2- Лалуни. Аналитик: Антонов А.В. (ВСЕГЕИ).

Бадделеит обнаружен в виде достаточно крупных (до 0,5 мм) бесцветных вытянутых кристаллов (рис. 2). В химическом составе минерала не обнаружено примесей, за исключением гафния.

1. Чернышева Е.А., Нечелюстов Г.Н., Квитко Т.Д., Вейс Б.Т. Эволюция состава перовскита в щелочных породах нижнесаянского карбонатитового комплекса. Геохимия, №9, 1990

2. Hogarth D.D. Classification and nomenclature of the pyrochlore group. American Mineralogist, Vol. 62, 1977

3. Linda S. Campbell, P.Henderson, F.Wall. Rare earth chemistry of perovskite group minerals from the Gardiner Complex, East Greenland. Mineralogical Magazine, Vol. 61, 1997

ПЕРСПЕКТИВЫ ОБНАРУЖЕНИЯ НОВЫХ ТИПОВ ОРУДЕНЕНИЯ В РАЙОНЕ МАЛОГО ХИНГАНА НА ОСНОВЕ ВЫЯВЛЕНИЯ И ИНТЕРПРЕТАЦИИ АНОМАЛЬНЫХ ГЕОХИМИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ

Макарова Ю.В.¹, Марченко А.Г.², Соколов С.В.¹

Санкт-Петербургское отделение.

¹ ВСЕГЕИ. yuliya_makarova@vsegei.ru, sergey_sokolov@vsegei.ru;

² Санкт-Петербургский государственный горный институт (ТУ). march@spmi.ru

PERSPECTIVES TO DISCOVER SOME NEW TYPES OF ORES MINERALIZATION IN THE MALYI HINGAN REGION ON THE BASE OF MAPPING AND INTERPRETATION OF ABNORMAL GEOCHEMICAL FIELDS

Makarova Yu.V.¹, Marchenko A.G.², Sokolov S.V.¹

Saint-Petersburg branch.

¹ VSEGEI. yuliya_makarova@vsegei.ru, sergey_sokolov@vsegei.ru;

² Saint-Petersburg State Mining Institute (TU). march@spmi.ru

Район Малого Хингана является территорией, где известны месторождения и проявления олова, включая Хинганское месторождение, россыпного золота, а также железа, марганца, сурьмы, урана, магнезита и других полезных ископаемых. Однако рудный потенциал региона изучен еще не достаточно. Несмотря на то, что это крупный золото-россыпной район, за более чем вековую историю поисков, разведки и добычи россыпей не удалось попутно выявить ни одного коренного месторождения золота промышленного масштаба. Во многом это объясняется тем, что преобладающая часть района характеризуется повышенной мощностью рыхлых отложений, что предопределяет низкую поисковую эффективность геохимических работ в традиционном варианте по механическим вторичным ореолам и потокам рассеяния. В связи с этим, в ходе прогнозно-поисковых геохимических работ масштаба 1:200 000, проведенных ВСЕГЕИ совместно с ИМГРЭ и ФГУП «Амургеология» в 2005 г., использовался метод анализа сверхтонкой фракции (МАСФ), сущность которого заключается в выделении из проб рыхлых отложений сверхтонкой глинистой фракции, которая затем анализируется количественными методами анализа для выявления наложенных, сорбционно-солевых ореолов и потоков рассеяния (Соколов и др., 2005). На расчлененных участках рельефа (низкогорье, открытые и полужакрытые территории) опробовались отложения постоянных и временных водотоков первого порядка, а на денудационно-аккумулятивных и аккумулятивных

равнинах (закрытые территории) – иллювиальные горизонты почв. Таким образом, сочетались поиски МАСФ по потокам и ореолам рассеяния. Статистическая обработка геохимических данных МАСФ производилась отдельно по двум совокупностям проб, соответственно. Для приведения данных по потокам и ореолам рассеяния к сопоставимому виду и картирования аномалий в единых грациях использовался расчет нормированных содержаний элементов по формуле $u(x,y) = [\lg C(x,y) - \lg C_{\phi}(i)] / \lg \varepsilon_{\phi}(i)$, где $C(x,y)$ – содержание элемента в точке с координатами (x,y) , причем для потоков рассеяния использовались координаты центра соответствующего бассейна водосбора первого порядка; $C_{\phi}(i)$ и $\varepsilon_{\phi}(i)$ – среднефоновое содержание и стандартный множитель фоновых содержаний в потоке ($i=1$) либо ореоле рассеяния ($i=2$), в зависимости от положения точки пробоотбора на местности. Положительные значения $u(x,y)$ являются безразмерными показателями контрастности аномалий. Эти значения использовались для выделения и оконтуривания геохимических аномалий на результирующих картах.

В результате проведения геохимических поисков МАСФ, математической обработки данных и комплексной геолого-геохимической интерпретации аномальных геохимических полей (АГХП) установлена геохимическая специализация крупных геологических блоков и получены контрастные полиэлементные аномалии, в том числе на закрытых и полужакрытых территориях. Можно отметить, что по результатам предшествовавших геохимических поисков с использованием стандартных методик золото и другие рудные элементы проявлялись либо в донных отложениях водотоков только отдельными точечными аномалиями, либо в виде моноэлементных вторичных ореолов предельно низкой контрастности. В отличие этого, по результатам МАСФ получены не отдельные редкие локальные аномалии небольшого круга элементов, а полные характеристики геохимических полей широкого круга индикаторных элементов, включая контрастные полиэлементные АГХП ранга рудных узлов (РУ) и рудных полей (РП).

Специализация крупных геохимических блоков, которые, в свою очередь, соответствуют крупным геологическим блокам, подразделяется на 5 типов: 1) блок с халькофильно-литофильной олово-молибден-висмут-уран-редкометальной специализацией (Sn, Mo, W, Bi, Be, Nb, U, As, Zn, Pb, Ag), который в геологическом отношении соответствует обширной области развития вулканических покровов и субвулканических интрузий риолитовых комплексов мелового возраста; 2) блок с халькофильно-литофильной висмут-уран-вольфрам-редкометальной специализацией (Bi, U, W, Sn, Be, Sb), в пределах которого широко проявлены интрузивные образования ордовикского габбро-гранитового комплекса; 3) блок с преимущественно халькофильной, благороднометальной с ураном специализацией (Au, As, Ag, Cu, U, Pt, Pd), в котором преимущественно

развиты образования докембрия и раннего палеозоя, во многих местах прорванные гранитоидами каменноугольного возраста; в пределах этого блока находится Сутарский золото-россыпной район; 4) фрагменты блоков с преимущественно халькофильной, сурьмяной с вольфрамом и благородными металлами (Sb, W, As, Au, Pt, Pd) специализацией; 5) блок с сидерофильной хром-никель-кобальт-платинометальной специализацией (Cr, Ni, Co, V, Pt, Pd), соответствующий обширному полю развития неогеновых вулканитов андезито-базальтового состава.

По совокупности результатов геохимических поисков МАСФ, представленных на результирующих картах совмещенных геохимических полей разных комплексов рудных элементов, выделено 14 АГХП ранга РУ с площадями порядка $n \times 10^2 \text{ км}^2$, а в пределах этих аномальных геохимических узлов – в общей совокупности 31 АГХП ранга РП с площадями порядка $n \times 10^1 \text{ км}^2$. Для оценки металлогенической специализации узлов и ожидаемых типов рудной минерализации в пределах прогнозируемых РП использовался анализ пространственного расположения аномалий главных рудных элементов, а также, дополнительно, ранжированных рядов коэффициентов концентрации элементов в экстремальных аномальных точках. Следует отметить, что по результатам геохимических поисков МАСФ не только уверенно проявились реальные (известные) и потенциальные рудные узлы и поля, но и преобладающие типы рудной минерализации в их пределах, причем как на открытых, так и на полузакрытых и закрытых территориях. При этом подтвердилась рудная специализация известных РУ и РП.

Так, уверенно выделился Облученско-Хинганский РУ, а в его пределах – два РП: Хинганское (№ 1) и Облученское (№ 2). В пределах РП № 1 расположено Хинганское оловорудное месторождение. В аномальных геохимических полях оно четко выделяется аномалией олова и его спутников, находится на пересечении двух линейных зон цепочечного расположения геохимических аномалий, интерпретируемых как рудоконтролирующие геохимические зоны. Аналогичное пересечение линейных зон выделяется и в центре РП № 2. Были отобраны пробы из карьера Хинганского месторождения, а по ним построены геохимические спектры оруденения. Рудной минерализации силикатно-касситеритового типа соответствовали два ранжированных ряда коэффициентов концентрации главных рудных элементов: Sn(>600), As(376), Ag(75), Bi(32), W(19), Cu(18) и Sn(>600), As(750), Bi(600), Ag(100), Cu(20), Mo(13). Кроме того, был получен спектр имеющей подчиненное значение сульфидной полиметаллической минерализации: Ag(100), Cu(33), Zn(30), Pb(20), As(13). Отсюда следует, что типоморфной для силикатно-касситеритового оловянного оруденения является ассоциация (Sn, As, Ag, Bi), в то время как концентрации Cu, Zn, Pb увеличиваются при переходе к оловянному оруденению сульфидно-касситеритового типа. Различия

геохимических характеристик разных типов оловянной минерализации находят свое отражение в разных геохимических спектрах АГХП РП. В Хинганском РП доминируют аномалии Sn, As, Ag и Mo, сопровождаемые обширной аномалией бериллия и урана на северо-восточном фланге. В отличие от этого, в Облученском РП интенсивно проявлены аномалии не только Sn, As, Ag и Mo, но также и Cu, Zn, Pb, что говорит о преобладании оруденения сульфидно-касситеритового типа. В другом РУ, расположенном северо-восточнее, элементный состав АГХП с присутствием аномалий Sn, W, Be, Y, Nb, U свидетельствует о перспективах комплексного олово-редкометалльного оруденения нового, кварцево-грейзенового типа.

По результатам поисков МАСФ выделен также ряд потенциальных РУ и РП, перспективных на обнаружение месторождений коренного золота – нового типа руд для района Малого Хингана. АГХП характеризуются наличием аномалий Au, Ag, As, Cu, Sb, Bi и других спутников золоторудной минерализации. В пределах одного из этих АГХП уже известно рудопроявление золота. На наиболее перспективных участках начато проведение крупномасштабных поисковых работ.

Соколов С.В., Марченко А.Г., Шевченко С.С. и др. Временные методические указания по проведению геохимических поисков на закрытых и полужакрытых территориях. СПб: изд. ВСЕГЕИ, 2005. 98 с.

**Co-Ni-МИНЕРАЛЫ ФЛАНГОВ ИВАНОВСКОГО И
ДЕРГАМЫШСКОГО КОБАЛЬТ-МЕДНОКОЛЧЕДАННЫХ
МЕСТОРОЖДЕНИЙ, АССОЦИИРУЮЩИХ С
УЛЬТРАМАФИТАМИ (ЮЖНЫЙ УРАЛ)**

Мелекесцева И.Ю.

Ильменское отделение. Институт минералогии УрО РАН
(melekestseva@ilmeny.ac.ru)

**Ni-Co MINERALS AT FLANKS AT THE IVANOVSKOYE AND
DERGAMYSHSKOYE COBALT-BEARING MASSIVE SULFIDE ORE
DEPOSITS ASSOCIATED WITH ULTRAMAFITES
(THE SOUTH URALS)**

Melekestseva I. Yu.

Ilmeny branch. Institute of mineralogy, Urals branch of RAS
(melekestseva@ilmeny.ac.ru)

Кроме колчеданных месторождений в вулканических породах на Южном Урале имеется ряд объектов, ассоциирующих с ультрамафитами. К ним относятся Ишкининское, Ивановское и Дергамышское месторождения, расположенные в зоне Главного Уральского разлома в пределах Оренбургской области (Ишкинино) и Республики Башкортостан (Ивановка и Дергамыш) (Зайков, Мелекесцева, 2005). Руды Ишкининского и Дергамышского месторождений характеризуются залеганием в серпентинитах и их метасоматитах, в то время, как Ивановское месторождение содержит часть минерализации в хлоритизированных базальтоидах и хлоритолитах по базальтам.

Главные минералы руд – пирротин, пирит, халькопирит. Концентраторами кобальта и никеля в рудах месторождений являются сульфоарсениды (кобальтин, арсенопирит, герсдорфит, аллоклазит и глаукодот), арсениды (никелин, раммельсбергит, крутовит, леллингит и саффлорит) и сульфиды (пентландит, виоларит, а также кобальт- и никельсодержащие пирит, марказит и макинавит) (Melekestseva et al., 2004).

Недавние исследования прожилково-вкрапленной минерализации флангов Ивановского и Дергамышского месторождений показали, что она также характеризуется присутствием минералов кобальта, никеля и золота. Материал для настоящего исследования был получен из керна скважин, пробуренных в 2005 г. Сибайским филиалом ОАО «Башкиргеология».

На северо-западном фланге Дергамышского месторождения минералы кобальта и никеля – никелин, кобальтин и герсдорфит – были

обнаружены в горизонте сульфидных гравелитов пирит-пирротинового состава, залегающих в серпентинитах (Попова, Мелекесцева, 2006).

Никелин образует мелкие (до 0,04 мм) зерна округлой формы в пирротине, кобальтине и нерудных минералах. Иногда никелин обрастает кобальтин. Химический состав никелина характеризуется повышенными содержаниями (мас. %): кобальта (до 5,91), железа (до 2,97) и сурьмы (до 2,86). **Кобальтин** представлен несколькими морфологическими разновидностями. Вместе с герсдорфитом кобальтин обрастает никелин с образованием «зональных» агрегатов. Также кобальтин представлен кристаллами и их сростками в халькопирите, пирите и нерудных минералах с трапециевидными, треугольными, ромбическими и шестиугольными сечениями, а также раздробленными кристаллами между агрегатами пирита и халькопирита. Кроме того, кобальтин сечет кристаллы пирита и халькопирита в виде прожилок мощностью до 0,04 мм. Химический состав кобальтина характеризуется высокими содержаниями (мас. %): никеля (до 14,32), железа (до 4,49) и сурьмы (до 2,28).

Герсдорфит находится в тесных сростаниях с кобальтином, ассоциирующим с никелином. Агрегаты герсдорфита и кобальтина имеют серо-голубой оттенок по сравнению с кристаллическим кобальтином. Его химический состав характеризуется высокими содержаниями кобальта (13,89 мас.%). Кроме арсенидов и сульфоарсенидов кобальт и никель здесь также концентрируются в **макинавите**, который встречается исключительно в халькопирите в виде чешуй, ламелл с неровными краями, иногда вытянутых в одном направлении. Минерал обогащен кобальта – до 4,91 мас.% и никеля – до 2,44 мас.%.

С мышьяксодержащими минералами здесь ассоциирует самородное золото, обнаруженное в кристаллах и агрегатах кобальтина и никелина в виде многочисленных округлых зерен размером 0,5–3 мкм. Химический состав не был определен из-за малых размеров золотин.

Кобальт и никель прожилково-вкрапленной минерализации северного фланга Ивановского месторождения в хлоритизированных базальтоидах концентрируются в марказите и макинавите. **Марказит** встречается в сростании с кристаллическим пиритом либо образует отдельные зерна удлиненной, изометрической и угловатой морфологии до 20 мкм. Он также образует просечки мощностью до 5 мкм и длиной до 30 мкм в халькопирите. Минерал характеризуется устойчивыми примесями кобальта от 0,31 до 1,60 мас.% и мышьяка (0,45–0,53 мас.%). **Макинавит**, более редкий, чем в рудах Дергамышского месторождения, также обнаруживается только в зернах халькопирита в виде черве- и нитеобразных ламелл и по химическому составу аналогичен описанному выше. Золото здесь было обнаружено в халькопирите и пирите в виде (1) округлых изометричных зерен с максимальным размером в поперечнике 3 мкм, (2) удлиненного (18 мкм) изогнутого зерна, напоминающим прожилки, шириной от 3 до 4,5 мкм и (3) ромбовидного зерна со

сглаженными углами размером 4×6 мкм. В химическом составе золота присутствует серебро (7–9 мас.%), а также фиксируются примеси меди и железа (1–2 мас.%).

Мышьяксодержащая минерализация Дергамышского рудного поля сходна с таковой из руд Ишкининского месторождения, где кобальтин также характеризуется высокими содержаниями никеля (до 14.69 мас. %), а герсдорфит – кобальта (до 12,68 мас. %) (Мелекесцева и др., 2003). Кроме того, обнаруживается связь самородного золота с сульфоарсенидами на двух месторождениях. Прожилково-вкрапленная минерализация флангов Ивановского месторождения в большинстве случаев вмещается вулканитами, что выражается в концентрировании кобальта, никеля и золота в сульфидах.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект 04-05-96017/p2004урал_a), интеграционного проекта УрО–СО РАН и Минобрнауки (проект РНП.2.1.1.1840).

Автор благодарит В.В.Зайкова и Е.С.Попову (ИМин УрО РАН) за помощь в исследованиях и Н.И.Татарко (Сибайский филиал ОАО «Башкиргеология») за содействие в полевых работах.

1. Зайков В.В., Мелекесцева И.Ю. Кобальт-медноколчеданные месторождения в ультрамафитах аккреционной призмы Западно-Магнитогорской палеоостровной дуги // Литосфера, 2005. № 3. С. 73–98.

2. Мелекесцева И.Ю., Зайков В.В., Тесалина С.Г. Сульфоарсениды и арсениды кобальта, железа и никеля в рудах Ишкининского кобальт-медноколчеданного месторождения (Южный Урал) // Записки ВМО, 2003. № 5. С. 66–77.

3. Попова Е.С., Мелекесцева И.Ю. Золото-сульфидная минерализация на южном фланге Главного Уральского разлома // Металлогения древних и современных океанов-2006. Условия рудообразования. Миасс: Институт минералогии УрО РАН, 2006. С. 227–233.

4. Melekestseva I.Yu., Zaykov V.V., Belogub E.V., Tesalina S.G. Sulpharsenides and arsenides in massive sulphide deposits connected with ultramafites, South Urals // Applied Mineralogy: Developments in Science and Technology (eds. Pecchio et al.), ICAM-BR, São Paulo, 2004. Pp. 897–900.

ЗОЛОТОЕ ОРУДЕНЕНИЕ НЕТРАДИЦИОННОГО ТИПА В МЕЛОВЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ ЮЖНОГО УЗБЕКИСТАНА

Мирусманов М.А.

Институт минеральных ресурсов Госкомгеологии Республики Узбекистан
miraland@bk.ru

UNCONVENTIONAL TYPE OF GOLD MINERALIZATION IN CRETACEOUS DEPOSITIONS OF SOUTHERN UZBEKISTAN

Mirusmanov M.A.

Institute of mineral resources. Republic of Uzbekistan
miraland@bk.ru

Выявление и изучение нетрадиционных типов месторождений золота является одним из актуальных направлений исследований в геологии. При этом современные методы минералого-геохимических исследований выступают как основа для построения геолого-генетических моделей и основанных на них прогнозно-поисковых комплексов.

Мезозойские отложения Южного Узбекистана, занимающие большую часть его территории, издавна интересуют геологов, где в районах развития нижнемеловых пород была установлена повышенная золотоносность. Золотоносность меловых отложений изучалась на участках Хантахта, Кокбулак и Айкутан в западной части Яккабагских гор. В геологическом строении рассматриваемой площади принимают участие исключительно осадочные породы, представленные образованиями триасовой, юрской, меловой, палеогеновой, неогеновой и антропогеновой систем. Наиболее благоприятными для локализации золотой минерализации являются Окузбулакская, Альмуратская, Кызылташская, а также низы Калигресской свит.

В структурном отношении, оруденение преимущественно тяготеет к периферическим частям кольцевых брахисинформных и брахиантиформных структур, осложненных внутриформационными, межформационными надвиговыми нарушениями и нарушениями сбросо-взбросового характера меридионального, северо-восточного и северо-западного простирания.

Общий список минералов установленных на Хантахта-Кокбулакской площади по данным различных минералогических методов исследования разделены по отношению к горным породам вмещающим золотую минерализацию на 4 генетические группы: кластические, аутигенные, эпигенетические, гипергенные. Некоторые минералы имеют полигенный и полихронный характер и поэтому повторяются в разных группах. К

такovým можно отнести золото самородное, пирит, арсенопирит, кальцит, гипс, доломит, целестин. Наибольший интерес для понимания минералогическо-геохимических особенностей золотого оруденения представляют минералы, отнесенные к группе эпигенетических.

Основными видами околорудных изменений являются лимонитизация, кальцитизация, огипсование и доломитизация.

Наиболее информативным методом в подобных исследованиях является микрозондовый анализ. Качественные и количественные исследования на микроанализаторе показали, что самородное золото на площади четко разделяется на два морфогенетических типа. Первый тип – это весьма высокопробное золото с пробностью около 950 и выше, имеющий несколько неоднородную внутреннюю структуру, чаще всего комковатую форму золотин и более крупную размерность (до 0,3мм). Внутренние части этих золотин сложены весьма высокопробным (от 950 до 995) золотом, а краевые части сложены золотом меньшей пробности (от 880 до 945). Второй тип – это низкопробное медистое золото (электрум (или тетрааурикуприд ? – *прим.ред.*)) установленное в эпигенетическом гипсе в аншлифах. Этот тип характеризуется интерстициальными, дендритовидными, пластинчатыми формами и меньшими размерами (до 0,01-0,02 мм). По данным микрозондового анализа в них содержание меди от 28,15 до 29,46 %, пробность от 595 до 620, соответственно. Кроме электрума в этой ассоциации с гипсом встречаются единичные включения пирита, халькопирита, аргентита и самородной меди. Генезис молодого золотого оруденения в мезозойских отложениях Яккабагских гор можно считать стратиформным полигенным (кластогенно-аутигенно-телетермальным).

НОВЫЕ ТИПЫ РУД С ВЫСОКИМ СОДЕРЖАНИЕМ МИКРО И НАНОЧАСТИЦ БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ

Пискунов Ю.Г., Моисеенко В.Г.

Амурское отделение. ИГиП ДВО РАН
piskyg@inbox.ru

NEW TYPES OF ORES WITH A HIGH CONTENT OF MICRO AND NANOPARTICLES OF PRECIOUS METALS

Piskunov Y.G., Moiseenko V.G.

Amur branch. IGaN FEB RAS

Окружающая нас природа состоит из макро и микромира. Принято к макромиру относить видимые невооружённым глазом объекты, а микромиру, соответственно, невидимые. С появлением всё более совершенных микроскопов (в том числе и туннельных) и других методов изучения микромира наши знания о нём существенно обогатились. В природе совершенно естественным представляется существование объектов, представляющих непрерывный ряд от атомов через их агрегаты, кластеры, наночастицы, микрочастицы до макровыделений. Подробно этот ряд в применении к золоту рассмотрен в работе (Моисеенко, 2005).

Термодинамические условия формирования пород и руд обуславливают преобладание в них либо макро, либо микрообразований, либо их близкие содержания. Важнейшим фактором при этом является скорость остывания магм и флюидов и рудоотложение из пересыщенных растворов.

В породах это проявляется в ряду интрузив-эффузив, резко различающимся по степени раскристаллизации, вплоть до образования среди интрузивных пород при медленном остывании пегматитов (гигантокристаллических образований), а среди эффузивных пород при быстром остывании - нераскристаллизованных разностей (вулканических стёкол). Промежуточными являются так называемые жильные магматические породы, а также субвулканические или субинтрузивные, сочетающие в себе черты и интрузивных и эффузивных пород.

В рудах этот же фактор различия в скорости остывания приводит к образованию с одной стороны крупных выделений рудных минералов (скарны, грейзены, жилы выполнения), с другой - к тонкозернистым взаимным минеральным сростаниям (метасоматиты, тонкопрожилковые и вкрапленные руды и т.п.). Естественным представляется наличие руд, в которых сочетаются частицы из макро и микромира. Помимо присутствия

в рудах мешающих при обогащении компонентов (сера, мышьяк и др.), присутствие мелких и тонких рудных выделений заставляет такие руды называть упорными.

Во всё большей степени в разработку вовлекаются месторождения вкрапленных и тонко вкрапленных руд, которые зачастую не имеют геологических границ и оконтуриваются по данным опробования. Рассеянная и тонко вкрапленная рудная минерализация образуется при различных геологических условиях.

Одним из ярких представителей подобных месторождений являются золотосеребряные месторождения вулканических поясов. Локализуются эти месторождения преимущественно в жерловых фациях вулканитов, при этом на нижних горизонтах отмечается их приуроченность к зоне контактов вулканитов с подстилающими осадочными породами.

Формирование золотосеребряных месторождений так называемого вулканогенного или близповерхностного типа происходит в неравновесных термодинамических условиях (близость палеоповерхности и быстрое падение температуры рудообразующего флюида, резкие изменения давления и явления вскипания, изменение щёлочно-кислотного режима в ту и другую сторону, что подтверждается широким развитием колломорфно-полосчатых текстур руд с чередованием полос адулярового и кварцевого составов). Это приводит к неравномерному распределению рудогенных элементов, в том числе и благородных, в рудных телах и преобладанию в рудах мелких и ультрамелких их выделений вплоть до наночастиц. Зачастую в зонах наибольшей гидротермальной проработки вмещающих пород формируются рудные столбы с высокими локальными содержаниями благородных металлов и их видимыми выделениями. Однако преобладают в рудах как раз практически не видимые глазом их мелкие частицы. Наличие мелких и ультрамелких выделений благородных металлов и тонкие взаимные прорастания с парагенными минералами значительно увеличивают технологические потери при их извлечении. Примерами таких золотосеребряных месторождений являются Майское и Кумирное в Приморье, Многовершинное, Белая Гора, Дурминское и Хаканджинское в Хабаровском крае, Покровское в Амурской области, Карамкенское и Дукатское в Магаданской области и многие другие, извлечение благородных металлов (особенно серебра) из руд которых практически никогда не достигает расчётных показателей.

Авторы занимались изучением вещественного состава руд Многовершинного, Дурминского и Майского (Пискунов и др., 2006) месторождений, и, отчасти, Покровского. Кварц и адуляр-кварцевые агрегаты этих месторождений пропитаны тонкодисперсными включениями рудного вещества, в том числе и золотом. Рудные минералы составляют около 1-3 %. Золото пластинчатой и амёбоподобной формы жёлтого и золотисто-жёлтого цвета. Преобладают размеры 0,02-0,1 мм и менее. Общим для всех рудных минералов является тонко и

мелкозернистое строение и взаимное прораствание золотосеребряных самородных сплавов с пираргиритом, аргентитом, кераргиритом, кварцем.

В рудах перечисленных выше месторождений отмечается два типа золота - макро и микровыделения. На долю самородного золота размером до 1 мкм в рудах Майского месторождения приходится 59,15 % от его общего количества в руде. Доля микрочастиц золота в рудах Покровского месторождения составляет 68,4 % от его общего количества. Несколько меньше доля микрочастиц золота в рудах Многовершинного месторождения, испытавшего метаморфизм с перераспределением и укрупнением золота. В процессе переработки руд значительная часть микровыделений самородного золота остаётся в различных минералах, уходящих в отходы золотодобычи, и особенно большие потери золота отмечаются при плавке получаемых золотосодержащих концентратов, где значительная часть золота переходит в шлак, образуя металлические шарики, которые представляют собой смесь частиц золото-серебро-свинец-цинковых сфероидов, сцементированных кремниевой матрицей.

Контуры рудных тел месторождений с преобладанием микро и наночастиц зачастую не имеют геологических границ и устанавливаются по опробованию исходя из технико-экономических показателей. При уменьшении кондиций (а это общая тенденция) контуры рудных тел увеличиваются. При этом многие месторождения становятся рентабельными при наличии соответствующих технологий.

Существующие технологии извлечения компонентов из руд и концентратов рассчитаны на макровыделения. При этом процент извлечения полезных ископаемых из упорных руд зачастую не соответствует требованиям времени. Не извлекая микроразмерные выделения компонентов, имеющиеся технологии ориентированы на получение ограниченного количества полезных компонентов, сбрасывая в хвостохранилища как основные добываемые элементы, так и их попутчики, представляющие в большинстве своём практический интерес. Большинство накопившихся хвостохранилищ горнообогатительных комбинатов являются техногенными месторождениями, или месторождениями будущего.

С уменьшением фонда месторождений с макро выделениями полезных ископаемых всё большее внимание привлекают месторождения с их микро выделениями. В связи с этим, появилась необходимость выделения новых типов руд, требующих принципиально новых технологических решений. К новым типам руд следует отнести рассеянную (вкрапленную) минерализацию в вулканитах, рассеянную (вкрапленную) благороднометальную минерализацию в толщах с повышенными содержаниями углерода и в железистых кварцитах, а также в техногенных образованиях после отработки рудных и россыпных месторождений благородных металлов, в рудах и минералах которых

преобладающей формой являются микро и наночастицы благородных металлов.

Актуальность терминов комплексное или рациональное использование минерального сырья в связи с выходом на микромир многократно возрастает. Это также связано с возрастающими экологическими требованиями к качеству получаемого сырья и образующихся при этом отходов. При требуемых технологиях в XXI веке реально встаёт вопрос о том, что при извлечении из руд не 1-2 или 5-6 компонентов, а гораздо большего их количества (в том числе и вредных), образующиеся отходы горного производства станут намного безопаснее для населения и окружающей среды.

1. *Моисеенко В.Г.* От атомов золота через кластеры до образования самородков благородного металла //Сб. науч. тр. "Геология, минералогия и геохимия месторож. благ. металлов Востока России и новые технологии переработки благородномет. сырья". Благовещенск. 2005. - с. 4-13.

2. *Пискунов Ю.Г., Рогулина Л.И., Юшманов Ю.П., Катрук А.А.* Минералогия руд Майского золотосеребряного месторождения (Приморье). Тихоокеанская геология. 2006. № 1. - с. 74-80.

ВАРИАНТ ОБЩИХ УСЛОВИЙ ФОРМИРОВАНИЯ КРУПНЫХ И СУПЕРКРУПНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ - СИНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ПОДХОД

Родкин М.В.

Геофизический центр РАН, Москва
rodkin@wdcb.ru

VARIANT OF COMMON CONDITIONS IN ORIGIN OF THE SUPERGREAT DEPOSITS – A SYNERGETIC APPROACH

Rodkin M.V.

Geophysical Center RAS, Moscow
rodkin@wdcb.ru

Известно, что значительная часть запасов минеральных сырья разного вида сосредоточена в относительно небольшом числе крупнейших месторождений (Turcotte, 1997; Крупные и суперкрупные ..., 2004; и др.). Соответствующее такой закономерности эмпирическая зависимость числа месторождений от их запасов довольно часто оказывается близкой к степенному закону распределения. Отсюда следует формальное требование, что условия образования крупных и суперкрупных месторождений (по-видимому) должны отвечать условиям реализации степенных законов распределения. Эти условия далеко не тривиальны, и анализ возможных условий реализации степенного закона распределения может оказаться полезным для понимания процессов формирования месторождений минерального сырья.

Степенной закон распределения, наряду с нормальным и экспоненциальным законом, относится к очень часто встречающимся в природе законам распределения; далее (для сокращения) будем называть такие распространенные законы распределения типовыми. Резонно поставить вопрос, каковы должны быть особенности развития процесса, чтобы совокупность независимых эпизодов протекания такого рода процессов приводила к реализации того или иного типового закона распределения. Для случаев нормального и экспоненциального законов распределения такие условия хорошо известны. Эти условия весьма естественны, что и поясняет частую встречаемость в природе нормального и экспоненциального законов распределения.

Достаточно общим и логически прозрачным (но не единственно возможным) условием реализации степенного закона распределения является возникновение режима положительной обратной связи между текущим значением данной характеристики и скоростью ее роста (Родкин, 2005,а). Таким образом, задачу объяснения процессов формирования

крупных и суперкрупных месторождений может быть полезно трактовать как задачу выявления и описания механизмов положительной обратной связи, могущих возникнуть в процессах формирования тех или иных видов месторождений. Такой вывод уже является в некотором смысле содержательным. Действительно, возникновение положительной обратной связи характерно только для существенно неравновесных динамических систем. Отсюда сразу получаем (впрочем, вполне ожидаемый) результат, что условием образования крупных и суперкрупных месторождений является существенно неравновесный динамический характер соответствующих порождающих геосистем.

Простейшая схема положительной обратной связи отвечает случаю, когда величина запасов в данный момент времени статистически зависит от их величины в предыдущий момент. В рамках этой схемы, генерация степенного распределения возможна тогда, когда между скоростью изменения dx/dt и текущей величиной запасов x соблюдается статистическая связь вида:

$$dx/dt = ax, \quad (1)$$

где a некоторая случайная величина, в среднем большая нуля. Если между величиной запасов и скоростью их пополнения выполняется соотношение (1), и процесс развития месторождения с некоторой вероятностью p может завершиться в любой момент времени, то совокупность значений $\{x\}$, полученных в результате серии процессов типа (1) будет распределена по степенному закону. Значение показателя степени β получаемого степенного распределения определяется значениями параметров a и p .

Схема, предполагающая возникновение при формировании месторождений положительной обратной связи не противоречит современным представлениям о процессах формирования месторождений, но позволяет взглянуть на механизмы их формирования под новым углом зрения. Возникает вопрос, какие реальные физические процессы, протекающие при формировании месторождений, могут отвечать такой гипотетической упрощенной схеме.

Применительно к процессам формирования месторождений углеводородов применимость схемы (1) была кратко рассмотрена в (Родкин, 2005,б). Ниже обсуждаются некоторые возможные аспекты проблемы генерации месторождений минерального сырья, возникающих за счет разгрузки поднимающихся в тектоносфере флюидо-магматических потоков. Возможной схемой реализации положительной обратной связи отвечает при этом ситуация, когда протекание некоторого объема флюида по некоторой флюидопроводящей структуре создает условия для увеличения проницаемости данной флюидопроводящей структуры и, тем

самым, для дальнейшего увеличения и канализации потока флюида через данную флюидопроводящую зону.

Один из возможных механизмов такой обратной связи возникает, когда поток флюида распространяется в области метастабильных минеральных фаз, отвечающих условиям задержанного метаморфизма, протекающего с ростом плотности горной породы. В этом случае распространение флюида может вызвать активизацию метаморфизма и рост плотности флюидопроводящей области и, тем самым, создать условия для дальнейшей канализации процесса распространения флюида. Представленные в (Плотникова, 2004) данные о наличии в кристаллическом фундаменте Татарстана нефтегазоносных разуплотненных зон, приуроченных к областям изменения петрологического состава пород фундамента и к зонам тектонических нарушений подкрепляют возможность реализации такой схемы.

В качестве других проявлений активизации флюидного потока обсуждаются возможные последствия протекания масс флюида и реализации инициированных флюидом метаморфических превращений на сейсмическую структуру литосферы. В связи с проблемой глубинного флюидо-магматического режима, ответственного за формирования крупных зон минерализации рассматриваются данные по электропроводности средней мантии и ее связи с формой геоида.

Работа выполнена при поддержке программы Президиума РАН «Фундаментальные проблемы геологии, условия образования и принципы прогноза традиционных и новых типов крупномасштабных месторождений минерального сырья».

1. Крупные и суперкрупные месторождения. Закономерности размещения и условия образования, 2004, 430 с.

2. Плотникова И.Н. Геолого-геофизические и геохимические предпосылки перспектив нефтегазоносности кристаллического фундамента Татарстана. Недра, С.-Петербург, 2004, 172 с.

3. Родкин М.В. Модель развития синергетического эффекта при сильных катастрофах// Геоэкология, 2005а, №1, 81-87.

4. Родкин М.В. Модели очага нефтеобразования и глубоких коллекторов как неравновесных динамических систем – от общих принципов к прогнозным оценкам. Материалы научной конференции «Нетрадиционные коллекторы нефти, газа и природных битумов, проблемы освоения». Казань, 2005б, 234-236.

5. Turcotte D.L. Fractals and chaos in geology and geophysics. Cambridge, 1997, 398 pp.

НЕТРАДИЦИОННЫЙ ТИП ЗОЛОТОРУДНОЙ МИНЕРАЛИЗАЦИИ В РАННЕМЕЛОВЫХ КОНГЛОМЕРАТАХ (ПРИАМУРЬЕ)

Савва Н.Е.

Северо-Восточное отделение. СВКНИИ ДВО РАН
savva@neisri.magadan.ru

UNCONVENTIONAL TYPE OF GOLD MINERLIZATION IN THE EARLY CRETACEOUS CONGLOMERATES (AMUR REGION)

Savva N.E.

North-East branch. NEISRI FEB RAS
savva@neisri.magadan.ru

Основная часть мировой добычи золота приходится на месторождения древних щитов. Весьма перспективен в отношении выявления такого рода месторождений Нижне-Амурский золотоносный район. На его территории широко развиты метаморфические толщи архей-протерозойского возраста, являющиеся выступами Алдано-Станового щита – на севере и Буреинского поднятия – на юге. В бассейне р. Уда многие россыпи золота локализованы в долинах рек, размывающих эти толщи, самородное золото несет в себе признаки древних коренных источников.

Типоморфными особенностями золота из “древних” источников являются высокая пробность – 900-950‰, наличие медистых фаз, микропримеси Pd, Fe и следы Mn. Концентрации Pd достигают $0,73 \times 10^{-3}$ мас.%. В отдельных случаях отмечаются примеси Co и Bi. Медистые разности представлены тетрааурикупридом – CuAu и фазам, отвечающим составам CuAu₃ и CuAu₂?. Как правило, медистое золото высокопробное, содержания серебра в нем не превышают 4,7 мас.%. [1]. Внутренняя структура золота выявляет его глубокие гипогенные изменения – полную перекристаллизацию и мощные низкопробные гипергенные оболочки, занимающие до 70% площади золотины.

В раннемеловых конгломератах, заполняющих обширное пространство бассейна реки Уда, протягивающихся на десятки км, погребены россыпи с подобным золотом.

Геологическая позиция территории с погребенными россыпями определяется сочленением Чогорского блока – отторженца Алданского кристаллического щита с Удским прогибом, заполненным слабо золотоносными раннемеловыми конгломератами боконской свиты.. Они прослеживаются широкой полосой по левобережью р. Уда от устья руч. Чогор до устья руч. Западный и примыкают с юга к Чогорской глыбе. По составу – это преимущественно валунные конгломераты с прослоями и

линзами гравелитов, алевролитов и углистых аргиллитов. Мощность боконской свиты 1650–1680 м. В обломочном материале конгломератов устанавливаются все добоконские породы: гранитоиды, гнейсы, кристаллические сланцы, амфиболиты, габбро, эффузивы. Обломочный материал пород отличается плохой сортировкой и различной окатанностью. Исследование боконских конгломератов, проведенное в 1981 году С.В.Денисовым, позволило ему установить кластогенный характер присутствующего в них самородного золота.

Свои выводы он обосновывал степенью окатанности и уплощенности, а также отсутствием рудогенных элементов в донных пробах, показавших повышенные содержания золота. Максимальная золотоносность характерна, по его мнению, для базальных горизонтов, выделяемых подсвит, в частности, нижнебоконской подсвиты. В верхнебоконской подсвите повышенная золотоносность коррелирует с обогащением конгломератов галькой кварца и гидротермально измененных пород.

При изучении самородного золота из аллювия ручьев, дренирующих Чогорский блок по составу, внутренним структурам и массовым замерам пробности для данной территории выделено две его разновидности, связанные с двумя эпохами золотой минерализации. Наиболее ярко это отличие проявлено в повышенных концентрациях примесей Cu и Hg. Золото докембрийской металлогенической эпохи (“древнее”) характеризуется повышенными содержаниями Cu, мезозойской эпохи (“молодое”) – повышенными содержаниями Hg. В россыпи ручья Эльбадекит, размывающего только боконские конгломераты, присутствуют обе разновидности, но преобладает золото, сходное по составу и свойствам с “древним”. Оно, как правило, имеет структуру полной перекристаллизации, повышенные концентрации Cu, особенно, в краевых частях золотинок, микропримеси Pd, Co, Bi, исключительно высокую пробность – 950–1000 ‰. Это золото носит отчетливо кластогенный характер. Наряду с “древним”, но в значительно меньших количествах, отмечается другая разновидность золота, не затронутая процессами метаморфизма, как правило, с неясно зональной структурой и четко выраженными гипергенными высокопробными оболочками – “молодое” золото. Значение пробности 750–850 ‰, в отдельных случаях опускается до 600 ‰. В его составе отмечаются повышенные концентрации Hg, Sb, As, Pb.

В целом на участке сочленения Чогорского блока с Удским прогибом типоморфные признаки золота указывают на два источника его поступления в россыпи – за счет размыва погребенных россыпей с медистым и палладистым золотом и за счет разрушения слабо золотоносных раннемеловых конгломератов боконской свиты.

Гистограммы пробности подчеркивают преобладание высокопробного золота погребенных россыпей из докембрийских источников.

Шлиховые ореолы золота в россыпях, размывающих боконские конгломераты, сопровождаются магнетитом, который составляет до 99 % тяжелой фракции и обнаруживает прямую корреляцию с золотом. Учитывая это, представляется возможным с помощью магнитометрии выявлять аномальные шлейфы, обогащенные магнетитом, маркирующие палеогидросеть, и рассматривать данные аномалии как линзовидные золотоносные рудные тела. Не исключено, что экспериментальные работы в этом направлении позволят открыть принципиально новый тип золоторудной минерализации враннемеловых конгломератах, поиски которого могли бы успешно осуществляться геофизическими методами.

1. Горячева Е.М., Савва Н.Е., Таюрский А.Д. Типоморфизм самородного золота Чогорского блока Алдано-Станового щита // Минералогия и геохимия рудных полей Северо-Востока России. – Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 1992. – С. 38–52.

НОВЫЕ ТИПЫ ПОЛИКОМПОНЕНТНЫХ РУД С Pt-Pd-Ru АССОЦИАЦИЯМИ ЭПГ НА МЕСТОРОЖДЕНИЯХ ЗАБАЙКАЛЬЯ

Татаринов А.В., Миронов А.Г., Яловик Л.И.

Бурятское отделение. ГИН СО РАН
tatarinov@gin.bsc.buryatia.ru, mironov@gin.bsc.buryatia.ru, ialovic@gin.bsc.buryatia.ru

NEW TYPES OF MULTICOMPONENT ORES WITH Pt-Pd-Ru ASSOCIATIONS IN ORE DEPOSITS OF TRANSBAIKALIA

Tatarinov A.V., Mironov A.G., Yalovic L.I.

Buryat branch. GI SB RAS
tatarinov@gin.bsc.buryatia.ru, mironov@gin.bsc.buryatia.ru, ialovic@gin.bsc.buryatia.ru

подавляющее большинство рудных месторождений полезных ископаемых Забайкалья, включая крупные месторождения золота (Зун-Холбинское, Ирокиндинское, Дарасунское), руды которых содержат повышенные концентрации платиноидов, характеризуются Pt-Pd рудногеохимическим профилем, при весьма незначительной роли других элементов данной группы (Коробейников, 2004).

В последние годы (Татаринов и др., 2000; Миронов и др., 2004) элементы платиновой группы, но с преобладанием в их составе Pt-Ru, Pd-Ru и Pt-Pd-Ru повышенных (вплоть до промышленных) содержаний (табл.) установлены в серебро-полиметаллических, золоторудных, железорудных и угольных месторождениях.

При этом Pt-Ru ассоциация свойственна серебро-свинцово-цинковым рудам месторождений Джидино-Витимского полиметаллического пояса. Учитывая высокий уровень содержаний Pt и Ru, а также Au (Миронов и др., 2004) в рудных минералах и сульфидных концентратах из этих месторождений, имеются все основания для прогнозирования в Забайкалье нового геолого-технологического типа руд серебро-свинцово-цинкового с Pt, Ru и Au и соответственно полиметаллического с благородными металлами – рудноформационного типа.

Для руд Балейского месторождения характерна ярко выраженная Pd-Ru специфика с соотношением Pd:Ru в пользу последнего. Наличие весьма значительных концентраций этих элементов и Pt в хвостах обогащения и рудных концентратах ЗИФ (таблица), позволяют ставить вопрос об отнесении балейских руд к типу комплексных благороднометалльных (Au, Ag, Pd, Ru, Pt). По предварительным данным рутений, наряду с Pt и Pd также является ведущим элементом ассоциаций платиноидов, выявленных в углях и вмещающих породах Апсатского угольного месторождения, в докембрийских железистых кварцитах и метабазитах Южно-Сулуматского

месторождения Fe, в медистых песчаниках удоканской серии, включая одноименное месторождение.

Таблица

**Содержания элементов платиновой группы в рудах некоторых месторождений
Забайкалья (Дэви, 1990; Татаринов и др., 2000; Миронов и др., 2004)**

Месторождения	Материал проб	Pt, г/т	Ru, г/т	Pd, г/т	Os, мг/т	Ir, мг/т
Мыкерт-Санжеевское (Ag, Pb, Zn)	Галенитовые руды	4,85	0,24	до 0,3	13,0	13,1
Доватка (Ag, Pb, Zn)	Сульфидный концентрат	5,25	6,05		52,0	43,1
	Галенит	3,59	1,99		40,0	48,9
	Сфалерит	1,75	2,83		44,6	66,0
	Магнетит	0,45	0,037		7,17	4,04
Тарбагатайское (Ag, Pb, Zn)	Галенитовые руды	5,08	6,06		63,4	65,4
Балейское (Au)	Хвосты обогащения руд золота	0,3	3,9	1,3		
	Золотой концентрат	0,08	44,0	2,8		
Апсатское (уголь)	Песчаники	0,078	0,028			
	Уголь	0,003	0,006	0,0017		
Южно-Сулуматское (Fe)	Железистые кварциты	0,033	0,011			
	Метабазиты	0,036	0,016	0,02		
Медистые песчаники удоканской серии		0,003	0,05	0,06		

Ни в одном из рассмотренных выше типов руд не обнаружено минеральных форм ЭПГ. Предполагается тонкодисперсное или изоморфное вхождение платиноидов в сульфиды (Миронов и др., 2004), а также возможно в органо-минеральные кластеры.

Проблема может быть решена специализированными технологическими исследованиями.

1. Коробейников А.Ф. Платинометалльные месторождения. Т. III. Комплексные золото-редкометалльно-платиноидные месторождения. М.: Научный мир, 2004. 236 с.

2. Миронов А.Г., Татаринов А.В., Дамдинов Б.Б. и др. Новые типы платинорутениевой минерализации в серебро-полиметаллических рудах//Докл. РАН. 2004. Т. 395. № 2. С. 231-235.

3. Татаринов А.В., Яловик Л.И., Никитин С.Е., Ильин С.Н. Перспективы на платинометалльное оруденение в Забайкалье//Разведка и охрана недр. 2000. № 1. С. 58-61.

НОВЫЕ НЕТРАДИЦИОННЫЕ ТИПЫ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ В МЕДНО-ПОРФИРОВЫХ И ЗОЛОТРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ-ГИГАНТАХ КАЛЬМАКЫР И МУРУНТАУ

Турсебеков А.Х.¹, Василевский Б.Б.², Хантемиров Р.М.², Низамова А.Т.^{1,3}

¹ Институт геологии и геофизики АН Республики Узбекистан. turesebekov-a@yandex.ru;

² Институт минеральных ресурсов, Узбекистан;

³ Ташкентский государственный технический университет. alya_81@rambler.ru

NEW UNCONVENTIONAL TYPES OF USEFUL MINERALS IN SUPERGREAT ORE DEPOSITS: COPPER-PORPHYRY KALMAKIR AND GOLD FIELD MURUNTAU

Turesebekov A.H.¹, Vasilevsky B.B.², Khantemirov R.M.², Nizamova A.T.^{1,3}

¹ Institute of Geology and Geophysics AS of Republic of Uzbekistan.

turesebekov-a@yandex.ru;

² Institute of Mineral Resources, Uzbekistan;

³ Tashkent State Technical University. alya_81@rambler.ru

В медно-молибденовых месторождениях основными рудовмещающими породами являются сиенито-диориты, диориты, кварцевые порфиры, гранодиорит-порфиры и ксенолиты карбонатных пород Д₂-С₁. Руды представлены: пиритом, халькопиритом, пирротинном, молибденитом и др., молибден и рений типичные представители этих руд, относятся к сопутствующим элементам и концентрируются вместе с Cu, Au в триаде Mo→Re→Os¹⁸⁷.

Распределение молибдена в породах и породообразующих минералах показало, что концентраторами Mo являются сиенито-диориты, диориты, плагиоклаз, калиевый полевой шпат и темноцветные минералы. Основным и самым распространенным минералом Mo, который создает промышленные концентрации в рудах является молибденит, представленный двумя политипными модификациями (2H и 3R), другие минералы Mo присутствуют в незначительном количестве.

В результате исследований различными методами было установлено, что молибдениты и молибденовые концентраты обогащены Os¹⁸⁷: в чистом молибдените содержится до 4,6 г/т Os¹⁸⁷; в 30% процентном молибденовом концентрате содержание Os¹⁸⁷ - 2,6 г/т. Такое количество Os¹⁸⁷, накопилось в результате радиоактивного распада Re¹⁸⁷ за время формирования руд месторождения Кальмакыр – 295±31 млн. лет.

В строении Мурунтауского рудного поля участвует осадочно-метаморфический комплекс – тасказганская (O₁) и бесопанская (O₂ – S₁) свиты. Третья подсвита бесопанской свиты – «пестрый» бесопан является

основной рудолокализирующей. Интрузивные образования представлены дайками гранитоидного состава (на поверхности) и гранитами вскрытыми на глубине 3870 м скважиной СГ-10. Руды месторождения Мютенбай представлены двумя минеральными типами, с золото-кварцевым типом (> 85 %), который состоит из двух минеральных ассоциаций: шеелит-золото-карбонат-хлорит-калишпат-кварцевая (щелочная стадия) и шеелит-золото-кварцевая (кислотная стадия). Основные рудные минералы: арсенопирит, пирротин, золото, молибденит. Ранее было установлено, что молибденит является типоморфным минералом шеелит-золото-карбонат-хлорит-калишпат-кварцевая ассоциация.

Отметим, что по данным корреляционного анализа у молибдена сильные геохимические связи Si (0,53), W (0,61), пиритом (0,67), Cu (0,73), Bi (0,76), Au (0,71), Ag (0,84), S (0,74) и др. С молибденитом связан и Re. Его концентрация уступает содержанию в рудах Кальмакыра, но выше, чем на Мурунтау, а в молибденитах Кальмакыра и глубоких горизонтах восточного фланга мурунтауского рудного поля содержание Re близки.

Из выше изложенного необходимо обратить внимание на некоторую общность в поведении молибдена и рения при формировании руд медно-молибденового и золоторудного месторождений Кальмакыр и Мурунтау. Учитывая, что ренийносные молибдениты являются основным источником осмия, в частности Os¹⁸⁷, не исключено, что молибдениты Мурунтауского рудного поля могут содержать также и Os¹⁸⁷.

1. Бадалов С.Т. Геохимия рения в медно-молибденовых месторождениях Алмалыка. Труды Всесоюзного совещания по проблемам рения. Рений. М.: 1961, с.32-36.

2. Бадалов С.Т. Особенности распределения изотопа Os¹⁸⁷ в медно-молибденовых месторождениях Узбекистана. Химия, технология, анализ, перспективы применения осмия и его соединений. Наука КазССР, Алмаата, 1979, с.42-46.

3. Туресебеков А.Х. Распределения Os¹⁸⁷ и форма нахождения в минералах, продуктах АГМК и возможности его извлечения. Тезисы научно-технической конференции «Актуальные проблемы освоения месторождений полезных ископаемых». Ташкент, 2001, с.210-212.

РУДНЫЕ МИНЕРАЛЫ МЕДИСТЫХ ПЕСЧАНИКОВ ПЕРМСКОГО ПРИКАМЬЯ

Чайковский И.И.

Пермское отделение. Горный институт УрО РАН
ilya@mi-perm.ru

ORE MINERALS OF CUPPER SANDSTONES IN PERM REGION, THE KAMA RIVER BASIN

Chaikovskiy I.I.

Perm branch. Mining Institute Ural Branch RAS
ilya@mi-perm.ru

Медистые песчаники Приуралья протягиваются от Оренбурга до Соликамска и до середины XVIII столетия являлись главным источником меди в России. По подсчетам Н.Разумовского в 1925 г., за весь период разработки было разведано не менее 7,5 тысяч медных месторождений, из них 4 тысячи – на территории нынешней Пермской области. Пермские песчаники Прикамья дали не только много меди, но и четыре новых минерала: волконскоит (1830 г.), фольбортит (1838), палыгорскит (1860) и везиньейт (1955), что свидетельствует об их уникальности.

Считается общепринятым, что медь поступала из разрушающихся колчеданных месторождений, связанных с породами спилит-кератофировой формации Урала. Залегающие среди верхнепермских отложений руды сложены как первичными (борнит, тенорит, халькозин), так и вторичными (куприт, ковеллин, малахит, азурит) минералами. Отмечено возрастное скольжение оруденения с востока на запад от нижних горизонтов (уфимского яруса) на территории Пермской области к верхним (татарский ярус) в Кировской области, что объясняется характером миграции седиментационного бассейна. Основной причиной осаждения называют электролитическое и биохимическое осаждение из речных вод при взаимодействии с морской и лагунной водой.

Изучение образцов с Усовского (близ г. Березники), Богословского (Александровский р-н) и Межевского (Рыжевского) рудников и из коллекции минералогического музея проводилось в Институте геологии Коми НЦ УрО РАН на сканирующем электронном микроскопе JSM-6400 с энергодисперсионной приставкой Link (оператор В.Н.Филиппов).

Морфология минералов и характер их распределения в породе позволяет выделить две ассоциации: первичную и вторичную.

Первичные минералы на разных месторождениях были различными. В одних случаях это сульфиды (пирит, халькопирит) с микровключениями золота ($\text{Ag} - 4,64-6,79$ масс.%), а в других – насыщенные тонкодисперсным купритом обломки углефицированного растительного детрита и остроугольные обломки фольбортита, замещающие карбонатные обломки.

Вторичная медная минерализация связана с переотложением и преобразованием первичных минералов. Можно выделить несколько обстановок их формирования.

Минерализация литогенетических трещин, характерна для редкогравийных песчаников и прослоев, обогащенных глинистым материалом. В полостях, развивающихся на поверхности и в трещинах аргиллититовых и кремневых галек, происходило отложение кристаллов фольбортита, корочек малахита и хризоколлы, глобулей битумов.

Минерализация в гравийных прослоях формируется как в полостях, так и за счет замещения химически активных обломков. Цемент гравелитов и конгломератов представлен анальцимом и (или) кальцитом. Анальцим характеризуется повышенным относительно стехиометрии содержанием кремния и пониженным алюминия, что характерно для минералов из осадочных толщ. Во всех образцах с цеолитами (Богословский, Усовский и Рыжевский рудники) присутствуют своеобразные "глинистые обломки". Анальцим вырастает в них с периферии во внутреннюю часть. "Глинистые обломки" представлены токодисперсной массой сложенной высококремнистым калийсодержащим хлоритом или коренситом с включениями плагиоклаза ($\text{An } 2-19$), калиевого полевого шпата и пироксена. На отдельных участках базис существенно обогащен титаном ($\text{TiO}_2 - 15,08$ мас.%) и кальцием ($\text{CaO} - 14,02$), что может говорить о тонкодисперсности (меньше разрешения электронного пучка) содержащейся в хлорите минеральной фазы, вероятно, сфена. Это дает основание считать "глинистые обломки" продуктами девитрификации стекла основного состава, то есть пирокластами. Таким образом, "глинистые обломки" и представляют собой реакционноспособный алюмосиликатный материал, разложение которого и дает необходимый для цеолитообразования алюмокремниевый гель. Отмечены также псевдоморфозы хризоколлы, по этим глинистым обломкам (лапиллям). Зафиксировано несколько различных вариантов замещения.

В частичных псевдоморфозах сохраняются реликты исходного субстрата, а сам силикат меди характеризуется ритмичной зональностью, центрами которой выступают недозамещенные обломки. Под сканирующим микроскопом видно, что основная масса представлена псевдораствором хризоколлы с аллофаном, а выделяются более светлые участки – агрегатом глиноземистой хризоколлы и креднерита.

Полные псевдоморфозы имеют голубовато-зеленую окраску и содержат Ba и SO_3 . Соотношение основных компонентов свидетельствует

о практически двукратном пересыщении медью и присутствии двух нормативных фаз: барита и халькантита. В прицентральной части полных псевдоморфоз визуально фиксируются участки, обогащенные тонкодисперсными сульфидом меди (яроуит-спионкопит), находящемся в графическом сростании с хризоколлой. От периферии к центру через пограничную зону в "хризоколле" основной массы возрастает количество меди по отношению к кремнию ($\text{Cu}_{1,86-2,06} : \text{Si}_{1,14-0,94} \rightarrow \text{Cu}_{2,14} : \text{Si}_{0,86} \rightarrow \text{Cu}_{2,22} : \text{Si}_{0,78}$), а также изменяется содержание нормативных халькантита и барита. Можно предложить следующий механизм формирования наблюдаемой зональности. Гидролизующийся алюмосиликатный материал служил геохимическим барьером для меди, осаждаемой из сероводородсодержащих растворов. Вероятно, присутствие в них серы было обусловлено жизнедеятельностью бактерий, связанной с диагенетическим преобразованием органического вещества. При перенасыщении медью этот гель распался на силикатную и сульфидную фазы, или произошла его собирательная перекристаллизация. Присутствие сульфатов в краевой и пограничной частях отражает смену состава циркулирующих растворов на окислительные. При этом сульфидная медь преобразуется в сульфатную и выносится из периферической зоны. Сернокислая среда, установившаяся в краевой части зерен, хризоколлы служит барьером для осаждения и накопления бария (до 20 мол.%).

Таким образом, подверженные эпигенетическому изменению лапилли замещаются не только анальцимом, но и хризоколлой, вероятно, вначале глиноземистой а затем высокомедистой.

Наряду с хризоколлой в алюмокремнистом субстрате формируются кубооктаэдрические кристаллы самородной меди, достигающие 2-3 мм, которые тоже подвергаются дальнейшему изменению с образованием зональных псевдоморфоз (от центра к краю: самородная медь $\rightarrow$ черный оксид или сульфид меди $\rightarrow$ хризоколла $\rightarrow$ фольбортит). Вероятно, самородная медь формировалась и в центре кальцитовых гнезд, где впоследствии частично заместила купритом.

Кроме "глинистых обломов" в изученных образцах нами были отмечены светлые гальки афанитового строения, которые содержали тонкие рассеянные включения красного цвета. Основная их масса представлена алюмосиликатным тонкодисперсным однородным материалом, состав которого наиболее близок к андезиту-трахиандезиту с калиево-натриевым типом щелочности. В качестве первичных включений зафиксированы альбит и сфен, а в качестве наложенных – гидроксиды железа с высоким содержанием кремнезема и оксида меди и единичное выделение хризоколлы. Это может говорить о том, что окатанные обломки вулканических пород являются относительно проницаемыми для эпигенетических растворов и тоже выступают в качестве среды минералообразования, хотя не столь активной, как вулканокластика.

Изучение данной коллекции, хотя и недостаточно представительной, позволяет говорить о том, что медистые песчаники Прикамья, послужившие в свое время эталоном данного формационного типа представляют собой весьма сложные объекты не совсем ясного генезиса. Основные результаты можно свести к двум выводам.

1. Общепринятый механизм осаждения меди в виде сульфидов на материале трех рудников не подтвердился. Медь здесь сорбировалась органическим веществом и обломками химически активных пород (карбонатов).

2. Важную роль в перераспределении и накопления меди имели эпигенетические процессы и взаимодействие рудоносных растворов с реакционноспособным алюмосиликатным пирокластическим материалом. Появление этого легко разрушающегося материала в осадочных разрезах юга Приуралья А.Г.Коссовская (1975) связывает с позднепермской вулканической деятельностью. Однако в схеме магматизма Пермской области такого комплекса нет. Вероятным источником пирокластики могут служить местные источники, которые описываются для Вятко-Камской межрифтовой зоны В.Г.Чайкиным и А.М.Месхи (2003). Наряду с окатанными обломками вулканитов уральского происхождения они указывают на наличие в меденосных поздепермских песчаниках вулканического материала, который попадал в терригенные комплексы в не застывшем пластичном состоянии из местных очагов. Возникают две проблемы: какова формационная природа этого магматического источника и какое отношение (барьер или источник) имеет пирокластический материал к медному оруденению?

Таким образом, стратиформное медно-ванадиевое оруденение Прикамья имеет гораздо более сложное происхождение, чем принято считать. Вероятно, стоит согласиться с заключениями У.А.Асаналиева и др. (Справочное..., 1990), показавших, что для стратиформных месторождений не существует универсального источника руд (их всегда несколько), нет всеобщей формы миграции, единых мест локализации и механизмов формирования.

1. *Коссовская А.Г.* Генетические типы цеолитов стратифицированных формаций // Литология и полезные ископаемые, № 2. 1975. С. 23-40.

2. Справочное пособие по стратиформным месторождениям /У.А. Асаналиев и др. – М.: Недра. 1990. 391 с.

3. *Чайкин В.Г., Месхи А.М.* Позднепермский вулканизм Вятско-Камской межрифтовой зоны // Вулканизм и геодинамика: Материалы II Всерос. Симпозиума. Екатеринбург: ИГиГ УрО РАН. 2003. С. 130-134

**ФОРМЫ НАХОЖДЕНИЯ ЗОЛОТА И ПЛАТИНОИДОВ В
ЖЕЛЕЗИСТЫХ КВАРЦИТАХ КМА И ИХ ТЕХНОГЕННЫХ
ПРОДУКТАХ (ЦЕНТРАЛЬНАЯ РОССИЯ)**

Чернышов Н.М.¹, Петров С.В.²

¹ Воронежский государственный университет. kfl11a@main.vsu.ru;

² Санкт-Петербургский государственный университет. petrov64@gmail.ru

**FORMS OF OCCURRENCE OF GOLD AND PLATINUM GROUP
METALS IN THE KMA BANDED IRON FORMATION AND THE
TECHNOGENIC PRODUCTS**

Chernyshov N.M.¹, Petrov S.V.²

¹ Voronezh State University. kfl11a@main.vsu.ru;

² Saint-Petersburg State University. petrov64@gmail.ru

Важнейшим компонентом железистых кварцитов и гигантских по объему промпродуктов (прежде всего хвостоотвалов) горнорудных предприятий КМА являются благородные металлы, выступающие в качестве одного из крупнейших нетрадиционных источников попутной золото-платинодобычи XXI столетия (Чернышов, 2004). В выборе и создании наукоемких ресурсосберегающих технологий комплексного освоения и глубокой переработки стратегически важных металлов особое значения имеет выявление форм нахождения золота и платиноидов.

Наиболее детально изучена минералогия золота, которое в ряде железорудных месторождений мира образует промышленные золоторудные объекты (Юшко-Захарова, 1986). Отдельные минеральные формы элементов платиновой группы (ЭПГ) выявлены лишь в некоторых месторождениях железистых кварцитов Канады, Бразилии, Австралии, Украины (Юшко-Захарова, 1986, Olivo, 1994). Выполненные авторами специальные исследования железистых кварцитов КМА позволили существенно расширить сведения о минералогии ЭПГ и Au (Чернышов, 2003, 2004).

Благородные металлы содержатся как в самих кварцитах (Au = 0,2-0,25, ЭПГ до 0,6 г/т) и в большей мере в краснополосчатых железистых (гематитовых) их разновидностях (Au до 5,5 г/т, ЭПГ до 1,2 г/т), а также широко развитых среди железорудных толщ золото-платиносодержащих кварцевых, кварц-сульфидных зонах минерализации (Au = 1,0-7,0 г/т, иногда до 21,0 г/т, Pd до 0,96 г/т) и метасоматитах стратифицированного типа на контакте толщ железистых кварцитов и сланцев (Au = 0,50-4,83 г/т, Pd = 0,55-0,77 г/т, Pt = 0,12-0,30 г/т). В гравитационном концентрате из

песков гидроциклонов Михайловского ГОКа содержатся (в г/т): Au = 25,2-43,5; Pd = 0,2-0,52; Pt = 0,7; Rh до 0,08; Os до 0,05; Ru до 0,02; Ag = 2-6). Содержание ЭПГ и Au в железистых кварцитах, их разновидностях и метасоматических образованиях Лебединского месторождения приведены в таблице 1.

Таблица 1

Содержание Pt, Pd и Au (г/т) в различных типах сульфидизированных железистых кварцитов и сопутствующих им породах Лебединского месторождения

	1 (1)	2 (1)	3 (2)	4 (1)	5 (1)	6 (2)	7 (3)	8 (3)	9 (1)	10 (1)	11 (1)	12 (1)
Pt	0,12	0,03	0,03	0,01	0,04	0,03	0,04	0,09	0,11	0,22	0,38	<0,03
Pd	0,005	0,15	0,11	0,13	0,005	0,17	0,37	0,32	0,50	0,14	0,10	0,26
Au	0,37	0,56	0,19	0,05	0,19	0,13	0,15	0,13	0,22	0,10	0,04	0,05
Σ Pt+ Pd+ Au	0,49	0,74	0,33	0,19	0,23	0,33	0,56	0,54	0,83	0,44	0,52	0,34
Pd/ Pt	0,04	5,00	3,70	1,30	0,12	5,60	9,20	3,60	4,50	0,64	0,26	8,60

Примечание: Название пород: 1-6 – кварциты: 1 – эгиринизированный магнетитовый; 2 – гематит-магнетитовый; 3 – биотит-магнетитовый; 4 – малорудный; 5 – малорудный биотитовый; 6 – кварцит из зоны контакта с внутрирудными сланцами; 7 – углеродсодержащие сланцы; 8 – магнетит-сульфидно-карбонатная порода (лебединит); 9 – 12 – метасоматические жильные образования. Анализы выполнены в лаборатории ИГЕМ РАН, спектрохимический метод, аналитик Белоусов Г.Е.

Для выявления форм нахождения благородных металлов, а также выборе подходов и принципов технологии обогащения и извлечения ЭПГ и Au в отрабатываемых шахтами и карьерами Михайловском и Лебединском месторождениях отобран ряд проб массой до 30 кг и более. Обработка проб с целью выявления возможных форм нахождения платиноидов и золота и распределение этих элементов в технологических продуктах осуществлялось по известной методике применительно железистых кварцитов. Результаты исследований приведены в таблице 2.

Значительными содержаниями ЭПГ и Au характеризуются флотационные сульфидные концентраты из проб сульфидизированных железистых кварцитов (г/т): Pt = 0,3; Pd = 0,48; Au = 14,4 (при содержании в исходной пробе Pt = 0,02; Pd = 0,03; Au = 0,96) и Pt = 0,25; Pd = 0,36; Au = 5,9 (при содержании в исходной пробе Pt < 0,003; Pd < 0,005; Au = 0,49).

Таблица 2

Содержание (г/т) Pt, Pd и Au в сульфидизированных железистых кварцитах и их некоторых технологических продуктах

Фракции	Pt	Pd	Au	Pt	Pd	Au	Pt	Pd	Au	Pt	Pd	Au
	A18/2			A18/4			Б18/2			9/8		
1	0,013	0,019	0,030	0,021	0,014	0,050	0,035	0,035	0,100	>0,08	>0,004	>0,012
2	0,88	0,36	2,1	0,2	0,3	0,9	1,2	1,2	3,2	н.о.	н.о.	н.о.
3	0,02	0,08	0,03	0,08	0,03	0,12	0,1	0,23	0,045	н.о.	н.о.	н.о.
4	0,05	0,09	0,11	0,09	0,05	0,17	1,17	1,17	3,10	6,5	3,3	10,0
5	<0,01	<0,01	0,015	<0,01	<0,01	0,02	<0,01	<0,01	0,02	<0,05	<0,02	<0,02

Примечание: Лебединское месторождение – А18/2 –слаборудный магнетитовый кварцит; Б18/2 – углеродсодержащий безрудный кварцит; А18/4 – гематит-магнетитовый кварцит; Михайловское месторождение – 9/8 – малорудный железистый кварцит; Фракции: 1 – исходная проба; 2 – немагнитная фракция; 3 – магнитная фракция; 4 – гравитационный концентрат; 5 – хвосты гравитации; н.о. – содержание элемента не определялось. Анализы выполнены в лаборатории ЗАО «РАЦ Механобр Аналит Инжиниринг», пробирный метод, аналитик Ушинская Л.А.

Методом локального рентгеноспектрального анализа впервые в “ультратяжелых” фракциях различных типов железистых кварцитов и их технологических продуктах установлен широкий спектр минералов ЭПГ, Au и сопутствующих им элементов (Ag, Te, Bi):

- сперрилит: 1) $(Pt_{1,01}Fe_{0,02})_{1,03}(As_{1,91}S_{0,09})_{2,00}$; 2) $(Pt_{1,01}Fe_{0,03})_{1,04}(As_{1,95}S_{0,05})_{2,00}$; 3) $(Pt_{0,92}Rh_{0,17}Pd_{0,02}Ru_{0,02})_{1,13}As_{2,00}$; 4) $PtAs_2$;
- рутениридосмин: $Os_{0,44}Ru_{0,39}Ir_{0,1}Ni_{0,03}Cu_{0,02}Pt_{0,01}$;
- осмий самородный: 1) $Os_{0,77}Ir_{0,19}Ru_{0,03}Pt_{0,01}$;
- 2) $Os_{0,92}Ru_{0,06}Ir_{0,01}Ni_{0,01}Rh_{0,01}Pd_{0,01}$;
- платиридосмин: $Ru_{0,5}Ir_{0,21}Os_{0,19}Pt_{0,08}Rh_{0,01}$;
- платосмиридий: $Pt_{0,34}Ru_{0,32}Os_{0,17}Ir_{0,17}$;
- золото самородное: 1) $Au_{0,96}Ag_{0,03}$; 2) $Au_{0,93}Ag_{0,04}Fe_{0,01}Cu_{0,02}$;
- 3) $Au_{0,92}Ag_{0,08}$; 4) $Au_{0,89}Ag_{0,05}Cu_{0,07}$; 5) $Au_{0,99}Ag_{0,01}$; 6) $Au_{0,90}Ag_{0,10}$;
- рутений самородный: 1) $Ru_{0,58}Ir_{0,15}Pt_{0,14}Os_{0,11}Rh_{0,01}Fe_{0,01}$;
- 2) $Ru_{0,64}Ir_{0,18}Os_{0,10}Pt_{0,06}Pd_{0,01}Rh_{0,01}$;
- минералы ряда осмий, рутений, иридий:
- 1) $Os_{0,34}Ru_{0,28}Ir_{0,26}Pt_{0,07}Rh_{0,02}Fe_{0,01}Ni_{0,01}$; 2) $Os_{0,41}Ir_{0,28}Ru_{0,22}Pt_{0,08}Rh_{0,01}$;
- минералы ряда рутений, платина, родий:
- $Ru_{0,38}Pt_{0,32}Rh_{0,13}Ir_{0,06}Os_{0,06}Fe_{0,04}Ni_{0,01}$;
- минералы ряда рутений, иридий, осмий, платина:
- $Ru_{0,29}Ir_{0,28}Os_{0,19}Pt_{0,17}Fe_{0,05}Rh_{0,01}$;
- прассоит: $(Rh_{16,45}Pt_{0,61}Ru_{0,43})_{17,49}S_{15,00}$;
- мончеит: $(Pt_{0,994}Pd_{0,026}Bi_{0,101})_{1,899}S_2$;
- золото-серебряный сплав: 1) $Au_{0,49}Ag_{0,50}Fe_{0,01}$; 2) $Au_{0,70}Ag_{0,30}$;
- петцит: 1) $(Ag_{2,94}Au_{1,01}Fe_{0,04})_{3,99}Te_{2,00}$; 2) $(Ag_{3,09}Au_{1,03})_{4,12}Te_{2,00}$;
- гессит: 1) $(Ag_{1,99}Au_{0,03})_{2,02}(Te_{0,96}Bi_{0,04})$; 2) $(Ag_{2,01}Au_{0,04})_{2,05}Te_{2,00}$;
- цумоит: $Te_{0,51}Bi_{0,48}Au_{0,01}$;
- креннерит: $(Au_{0,85}Ag_{0,16})_{2,01}Te_{2,00}$;
- маккинстриит: $(Ag_{1,15}Au_{0,10}Fe_{0,10}Cu_{0,06})_{2,01}S$;
- хедлиит: $Te_{3,00}Bi_{6,95}$;
- жозеит-А: $Te_{1,00}S_{2,02}Bi_{3,68}$;
- тетрадимит: $(Te_{2,04}S_{1,00})_{3,04}Bi_{2,00}$.

Помимо собственных минеральных фаз значительные концентрации ЭПГ и Au установлены (Чернышов, 2004) в сульфидах и их аналогах – пирите ($Pd = 0,01-0,10$ мас.%, $Pt = 0,02-0,38$ %; $Au = 0,02-0,62$ %, $Ag = 0,01-0,09$ %), пирротине ($Pd = 0,01-0,12$ мас.%, $Pt = 0,01-0,44$ %; $Au = 0,09-$

0,51 %, Ag = 0,01-0,11 %), халькопирите (Pd = 0,01-0,11 мас.%, Pt = 0,07-0,39 %; Au = 0,02-0,27 %), галените (Pd до 0,43 мас.%, Pt = 0,31-0,37 %; Au = 0,06-0,22 %, Ag = 0,06-0,42 %), теллуриде висмута (Pt = 1,28 мас.%; Au = 0,27 %), а также в борните (Pd до 0,14 мас.%), теннантите (Pd = 0,08 мас.%), арсенопирите (Pt = 0,18 мас.%) и кобальтине (Pd до 2,3 мас.%).

Новые данные о формах нахождения ЭПГ и Au позволяют использовать выбор реальных технологий попутного извлечения благородных металлов из железистых кварцитов КМА и их техногенных продуктов, выступающих в качестве уникального крупномасштабного источника золото-платинодобычи в Центральной России.

Работы выполнены при финансовой поддержке РФФИ (проект № 04-05-64888)

1. Минералы благородных металлов: Справочник / Под ред. О.Е.Юшко-Захарова, В.В.Иванов, Л.Н.Соболева и др. М.: Недра, 1986. 272 с.

2. Чернышов Н.М., Изюмко В.М., Петров С.В., Молотков С.П. Первые находки минеральных форм элементов платиновой группы в железистых кварцитах КМА (Центральная Россия) // Доклады РАН, 2003. Т.391. №1. С.104-107.

3. Чернышов Н.М. Платиноносные формации Курско-Воронежского региона (Центральная Россия). Воронеж: Изд-во Воронеж. гос. ун-та, 2004. 448 с.

4. Olivo G.R., Gaunter M., Bardoux M. // Miner. Mag. 1994. V.58. №4. P.579-587.

ЖЕЛЕЗИСТЫЕ КВАРЦИТЫ КМА И ИХ ТЕХНОГЕННЫЕ ПРОДУКТЫ – НОВЫЙ КРУПНООБЪЕМНЫЙ ИСТОЧНИК БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ РОССИИ

Чернышов Н.М.¹, Попкова Н.В.², Петров С.В.³

¹ Воронежский государственный университет. kfl11a@main.vsu.ru;

² ОАО «Михайловский ГОК», г. Железногорск, Курская область;

³ Санкт-Петербургский государственный университет. petrov64@gmail.ru

BANDED IRON FORMATION OF KMA REGION AND THE TECHNOGENIC PRODUCTS AS A NEW LARGE SOURCE OF PRECIOUS METALS IN RUSSIA

Chernyshov N.M.¹, Popkova N.V.², Petrov S.V.³

¹ Voronezh State University. kfl11a@main.vsu.ru;

² Mikhailovskiy GOK;

³ Saint-Petersburg State University. petrov64@gmail.ru

В пяти месторождениях (Михайловское, Лебединское, Стойленское, Стойло-Лебединское, Коробковское) КМА сосредоточено две трети разведанных запасов страны и ее прогнозных ресурсов. Эти суперкрупные и супергигантские месторождения содержат 33,3 млрд. т. разведанных и 65,6 млрд. т. предварительно оцененных запасов железных руд России, которые перерабатываются тремя ГОКа (Михайловский, Лебединский, Стойленский), обеспечивая около 53 % добываемого в стране железорудного сырья.

Важнейшим компонентом железистых кварцитов, а также сформировавшихся за их счет залежей богатых железных руд доверхневизейской коры выветривания и гигантских по объему промпродуктов (прежде всего хвостоотвалов) горнорудных предприятий являются благородные металлы, выступающие в качестве одного из крупнейших нетрадиционных источников попутной золото-платинодобычи XXI столетия.

В пределах Михайловского месторождения помимо рассеянной крайне бедной ($Au = 0,01-0,1$ г/т и ЭПГ до 0,05 г/т) минерализации в составе пластовых тел железистых кварцитов выделяются следующие типы [1-2] с возможной селективной попутной отработкой: а) метаморфогенно-метасоматический стратиформный сульфидизированных контактовых зон (протяженностью до 5500 м при мощности от 3-6 м до 10 м) железистых кварцитов со сланцами верхнее-стойленской свиты ($Au = 0,25-4,83$ г/т, $Pd = 0,58-0,77$ г/т, $Pt = 0,12-0,30$ г/т); б) гидротермально-метасоматический, представленный локальными

секущими и субсогласными жилами и линзами апатит-калишпат-пирит-карбонат-кварцевых и кварц-гематитовых (с баритом и пиритом) метасоматитов ($Au = 0,54-6,18$ г/т, иногда до $21,0$ г/т и ЭПГ до $0,3-0,5$ г/т); в) гипергенно-метасоматический в виде разномасштабных золото-палладийсодержащих жил и линз ($Au = 0,64-4,30$ г/т, иногда до $41,7$ г/т и ЭПГ до $1,0$ г/т).

В северной части Михайловского месторождения в залежах богатых маритовых руд установлены платиноиды (Pt, Pd, Rh, Ru, Os, Ir) в количестве до $0,2$ г/т. В южной части месторождения в фосфоритовой «плите» мощностью $0,4-1,0$ м из девонских отложений, перекрывающих богатые маритовые руды, выявлено [1-2] редкоземельно-благороднометалльное (Pd до $1,7$ г/т, Ag до 540 г/т и др.) оруденение. По характеру размещения и особенностям вещественного состава линейные коры выветривания со своеобразными «карманами» зон окисления железистых кварцитов несут ряд общих черт с месторождениями золота и палладия Рапозос, Мору-Велью и особого типа «якутингитов» Восточной Бразилии (Кауе, Гонго Соко; [4]).

Выделенные типы благороднометалльной минерализации в известной мере характерны и для большинства железорудных месторождений Старооскольского рудного района (Лебединское, Южно-Коробковское, Стойленское, Панковское и др.), железистые кварциты которых отличаются, вместе с тем, более высокой степенью метаморфизма и сульфидизации [2]. Содержание ЭПГ и Au в различных минералогических типах, их разновидностях и метасоматитах приведены в таблице.

В ряде месторождений этого рудного района установлены многочисленные минерализованные зоны значительной мощности (до 450 м) и протяженности (до 7500 м) с проявлением разномасштабных кварцевых и кварц-сульфидных жил мощностью $2,55-10,7$ м, иногда до 40 м с высокими содержаниями $Au = 0,5-4,14$ г/т, иногда до $33,9$ г/т и ЭПГ до $0,52$ г/т.

Лабораторно-технологическими исследованиями установлено: а) отчетливая зависимость распределения благородных металлов в гравитационном концентрате текущих промпродуктов от содержания их в исходных железных рудах; б) значительные содержания ЭПГ и Au (в г/т) во флотационных сульфидных концентратах (Pt = $0,25-0,30$; Pd = $0,36-0,48$; Au = $5,9-14,4$) при концентрациях в исходных пробах железистых кварцитов Pt = $0,02$; Pd = $0,03$; Au = $0,46$ [2]; в) максимальное концентрирование ЭПГ (до 147 мг/т, в том числе платины 70 мг/т и палладия 500 мг/т) и золота – 3000 мг/т (до $43560 - 69000$ мг/т в черновом концентрате) песков гидроциклона и немагнитной фракции гравитационного концентрата (Pd до 400 мг/т, Pt = 200 мг/т, Au = 15000 мг/т, Ag = 9000 мг/т); г) возможность получения на основе опробованных новых технологий промышленного продукта с

содержанием $Au = 15-20$ г/т (при извлечении 50 % в процессе гравитационного обогащения) и высоким уровнем (40-50 %) накопления в концентрате платины и палладия; д) общие ресурсы (свыше 5000 т) платиноидов и извлекаемого золота в пяти обрабатываемых железорудных месторождениях и хвостохранилищах Лебединского и Михайловского ГОКов сопоставимы с крупными золото-платинодобывающими объектами.

Таблица

Содержание Pt, Pd и Au (г/т) в различных типах сульфидизированных железистых кварцитов и метасоматических жильных образованиях Лебединского и других месторождений Старооскольского рудного района

Элементы	1 (1)	2 (1)	3 (2)	4 (1)	5 (2)	6 (3)	7 (3)	8 (1)	9 (1)	10 (1)
Pt	0,12	0,03	0,03	0,04	0,03	0,04	0,09	0,11	0,22	0,38
Pd	0,005	0,15	0,11	0,005	0,17	0,37	0,32	0,50	0,14	0,10
Au	0,37	0,56	0,19	0,19	0,13	0,15	0,13	0,22	0,10	0,04
Σ Pt+ Pd+ Au	0,49	0,74	0,33	0,23	0,33	0,56	0,54	0,83	0,44	0,52
Pd/ Pt	0,04	5,00	3,70	0,12	5,60	9,20	3,60	4,50	0,64	0,26

Примечание: 1 – эгиринизированный магнетитовый кварцит с сульфидами; 2 – железистый (гематит-магнетитовый) кварцит; 3 – биотитовый магнетитовый кварцит; 4 – малорудный биотитовый кварцит; 5 – железистый кварцит из зоны контакта с углеродсодержащими сульфидизированными (внутрирудными) сланцами; 6 – внутрирудные углеродсодержащие сланцы; 7 – магнетит-сульфидно-карбонатная порода (лебединит); 8 – жила крупнокристаллического эгиринина с сульфидами из магнетитовых кварцитов; 9 – сульфидная жила из магнетит-кумингтонитового кварцита; 10 – карбонат-кварцевая сульфидсодержащая жила из магнетитового кварцита.

Впервые в различных типах железистых кварцитов и их технологических продуктах установлен [1-3] широкий спектр минералов ЭПГ, Au и сопутствующих им элементов (Ag, Te, Bi): сперриллит, рутениридосмин, осмий самородный, платиридосмин, платосмиридий, золото самородное, рутений самородный, минералы ряда осмий, рутений, иридий, минералы ряда рутений, платина, родий, минералы ряда рутений, иридий, осмий, платина, миассит, мончеит, золото-серебряный сплав, петцит, гессит, цумоит, креннерит, маккинстриит, хедлиит, жозеит А, тетрадимит. Помимо собственных минеральных фаз значительные концентрации ЭПГ и Au установлены в сульфидах и их аналогах ($Pd=0,01-2,3$ мас.%, $Pt=0,02-1,28$ мас.%; $Au=0,02-0,62$ мас.%, Ag до 0,42 мас.% [1-3].

1. Чернышов Н.М., Изюмко В.М., Петров С.В., Молотков С.П. Первые находки минеральных форм элементов платиновой группы в железистых кварцитах КМА (Центральная Россия) // Доклады РАН, 2003. Т.391. №1. С.104-107.

2. Чернышов Н.М. Платиноносные формации Курско-Воронежского региона (Центральная Россия). Воронеж: Изд-во Воронеж. гос. ун-та, 2004. 448 с.

3. Чернышов Н.М., Петров С.В. Новые минеральные формы платиноидов и золота в железистых кварцитах Лебединского месторождения КМА (Центральная Россия) // Доклады РАН, 2006. Т.408. №4. С.586-589.

4. Olivo G.R., Gaunter M., Bardoux M. // Miner. Mag. 1994. V.58. №4. P.579-587.

НОВЫЕ ТИПЫ СУЛЬФИДНЫХ ПЛАТИНОИДНО-МЕДНО-НИКЕЛЕВЫХ И НИКЕЛЬ-КОБАЛЬТОВЫХ РУД В ДАЙКОВО-ЖИЛЬНЫХ КОМПЛЕКСАХ ВКМ

Чернышова М.Н.

Воронежский государственный университет.
shurshilova@geol.vsu.ru

**NEW TYPES OF SULFIDE PGM-COPPER-NICKEL AND NICKEL-COBALT ORES IN DYKE-VEIN COMPLEXES OF VCM
(Voronezh crystalline massif)**

Chernyshova M.N.

Voronezh State University.
shurshilova@geol.vsu.ru

При достаточно широком проявлении в докембрийском фундаменте Воронежского кристаллического массива (ВКМ) – крупного (640×1000 км) сегмента Восточно-Европейской платформы разновозрастного и разномасштабного сульфидного платиноидно-медно-никелевого оруденения, образующего с ультрамафит-мафитовыми и мафитовыми комплексами разнотипные рудномагматические системы (РМС; Чернышов, 2004) наиболее важные в промышленном отношении месторождения сосредоточены в Хоперском мегаблоке и принадлежат к двум формационно-генетическим типам: а) мамонскому, ассоциирующему с перидотит-пироксенит-габброноритовыми интрузивами зон рассеянного спрединга (2100-2080±14 млн.лет) и б) еланскому, связанном с ортопироксенит-норит-диоритовыми субвулканическими телами реактивизированных рифтогенных структур (2065-2050±10 млн.лет; Чернышов, 2004; Чернышова, 2005).

В пределах месторождений мамонского типа (Нижнемамонское, Подколодновское) выявлено несколько различных по мощности (1-2 м до 40-85 м) и протяженности (до 2200 м) зон платиноидно-медно-никелевых руд пентландит-халькопирит-пирротинового состава, целиком располагающихся в ультрамафитовых дифференциатах интрузивов. Руды вкрапленные и густовкрапленные (Ni = 0,30-3,14 мас.%, Cu = 0,15—4,01 %; Co до 0,05 %) с жилами массивных и брекчиевидных (Ni = 1,67—5,93 %; Cu = 0,25—4,01 %, реже до 10,1 %; Co = 0,08—0,13 %, иногда до 0,44 %; ЭПГ и Au около 1 г/т, редко до 2,5 г/т).

Таблица

Типы платиносодержащих медно-никелевых и никель-кобальтовых руд в дайково-жильных образованиях мамонского комплекса и их метасоматитах

Состав рудовмещающих дайково-жильных образований и метасоматитов	Текстурные типы руд	Содержание рудообразующих элементов	Минеральные типы руд	Примеры месторождений и рудопроявлений
1. Комплекс дайковых пород (роговообманковые перидотиты, плагиогорнблендиты, роговообманковое габбро, диориты, гранитоиды) многократного внедрения	Рассеянно- и густовкрапленный	Ni=0,30-2,90 %; Cu=0,15-2,0 % Co=0,03-0,16 %; ЭПГ>0,3 г/т	Халькопирит-пентландит-пирротинный (± хромшпинелиды, магнетит, макинавит, валлериит, кубанит, бравоит, сульфиды Pb, Zn, Mo, арсениды, сульфоарсениды Ni, Co; самородное золото, минералы платиновой группы)	Юбилейное
	Массивные	Ni=1,3-3,0 %; Cu до 10-12% Co=0,13-0,20 %; ЭПГ=0,48 г/т		
2. Дайки ортопироксенитов, габбродиоритов, диоритов, гранитоидов	Вкрапленные, гнездово-вкрапленные	Ni=0,37-2,84 %; Cu=0,21-0,39 % Co=0,03-0,16 %	Халькопирит-пентландит-пирротинный и пентландит-пирротинный при ограниченной роли арсенид-сульфоарсенидного никель-кобальтового (± хромшпинелиды, макинавит, ильменит, магнетит, сфалерит, молибденит и др.)	Восточно-Садовское
	Массивные	Ni=2,38-3,4 %; Cu=0,14-0,30 % Co=0,11-0,21 %; ЭПГ=0,46 г/т		
3. Дайки пироксеновых горнблендитов среди рудоносных роговообманковых перидотитов	Вкрапленные и прожилково-вкрапленные	Ni=0,60 %; Cu=0,30 % Co=0,02 %; ЭПГ=0,24 г/т	Халькопирит-пентландит-пирротинный (± магнетит, хромшпинелиды, кобальтин, герсдорфит, пирит, виоларит)	Северо-Бычковское

4. Дайки титанистороговообманковых пироксенитов среди рудоносных роговообманковых перидотитов	Вкрапленные и прожилково- вкрапленные	Ni=0,20 %; Cu=0,19 % Co=0,04 %; Pt+Pd = 0,20 г/т	Существенно пирротиновый и пирит-пирротиновый малоникелистый (± магнетит, ильменит, хромшпинелиды, макинавит)	Рудопроявления в пределах Нижне- мамонского и Подколдовско- го месторождений
5. Флогопит-биотит- вермикулит-хлоритовые (±серпентин, тальк) метасоматиты зон контакта ультрамафитов с дайками гранитоидов	Массивные	Ni=2,83 %; Cu=10,0 % Co=0,13 %; Au=0,88 г/т Pt+Pd=0,06 г/т	Пентландит-халькопирит- пирротиновый (± хромшпинелиды, магнетит, макинавит, молибденит, валлериит, кобальтин, никелин, сфалерит, пирит, золото самородное)	Артюховское
6. Карбонат-хлорит- амфиболовые метасоматиты и кварц-сульфидно-арсенидные жилы на контакте жильных пироксенитов, диоритов и гранитоидов	Вкрапленные	Ni=1,25 %; Cu=0,41 % Co=0,03 %	Халькопирит-пентландитовый и сульфоарсенид-арсенидный никель-кобальтовый (герсдорфит, кобальтинистый герсдорфит, никелистый кобальтин, кобальтин, никелин, гаухекорнит, миллерит, хизлевудит, графит и др.)	Мартовское
	Массивные	Ni=14,5 %; Cu=0,44 % Co=2,2 %; Au=0,5 г/т ЭПГ=1,7 г/т		
7. Зона катаклаза и брекчирования даек рудных пироксенитов, кварцевых диоритов, биотит- плагиоклазовых метасоматитов	Вкрапленные и прожилково- вкрапленные, редко массивные	Ni=0,30-0,80 %; Cu=0,20-0,67 % Со до 0,06 %	Халькопирит-пентландит- пирротиновый с ограниченной ролью арсенид- сульфоарсенидный никель- кобальтового (±хромшпинелиды, магнетит, макинавит, пирит, молибденит, галенит, кубанит, арсенопирит и др.)	Коммунское

Крупнообъемная по запасам и ресурсам еланская группа месторождений тесно ассоциирует с норитами и представлена рядом крутопадающих различной мощности (до 100 м) и протяженностью (до 1000 м) залежей богатых вкрапленных и гнездово-вкрапленных ($Ni = 1,31-5,48$ мас.%, $Co = 0,04-0,25$ %, $Cu = 0,19$ %; ЭПГ = 0,3-0,5 г/т) и в меньшей мере брекчиевидных и массивных ($Ni = 8,01$ %; $Cu = 0,10$ %, $Co = 0,19$ %, ЭПГ = 1,3 г/т) руд. Особенностью руд еланского типа является тесное пространственно-временное совмещение раннего халькопирит-пентландит-пирротинового и более позднего существенно обогащенного платиноидами кобальт-никелевого арсенид-сульфоарсенидного парагенезисов, сформировавшихся из единого рудоносного расплава.

Особенностью Хоперского мегаблока является широкое развитие в его пределах отдельных месторождений (Юбилейное) и многочисленных разномасштабных рудопроявлений цветных и благородных металлов, ассоциирующих с разнообразными по составу дайково-жильными образованиями мамонского комплекса (Чернышова, 2005), инъецированных гранитоидами Бобровского комплекса (2022 ± 3 млн.лет). Пространственно они иногда совмещены с известными месторождениями или образуют самостоятельные рудные залежи, состав которых характеризуется высокими содержаниями рудообразующих металлов и широким спектром минеральных парагенезисов (табл.).

В совокупности с известными сульфидными платиносодержащими медно-никелевыми месторождениями мамонского и еланского типов широкое развитие в Хоперском мегаблоке дайково-жильного комплекса и их метасоматитов с высоким содержанием рудообразующих металлов в 2-3 раза увеличивает ресурсы и запасы третьей (после Норильского и Кольского регионов) Воронежской никель-платиноносной провинции России.

1. *Чернышов Н.М.* Платиноносные формации Курско-Воронежского региона (Центральная Россия) – Воронеж: Изд-во Воронеж. гос. ун-та, 2004. – 448 с.

2. *Чернышова М.Н.* Дайки сульфидных платиноидно-медно-никелевых месторождений Воронежского кристаллического массива (Центральная Россия). - Воронеж: Изд-во Воронеж. гос. универ., 2005. – 368 с.

ТЕХНОЛОГО-МИНЕРАЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ИНДУСТРИАЛЬНЫХ МИНЕРАЛОВ КАРЕЛИИ

Щипцов В.В.

Карельское отделение, Институт геологии КарНЦ РАН
shchipts@krc.karelia.ru

TECHNOLOGIC-MINERALOGICAL ASSESSMENT OF INDUSTRIAL MINERALS IN KARELIA

Shchiptsov V.V.

Karelian branch. Institute of Geology, Karelian Centre of RAS
shchipts@krc.karelia.ru

На ряде действующих горных предприятий используются устаревшие технологии добычи и переработки сырья, что вкупе с другими факторами приводит к высокой себестоимости продукции при низком качестве конечного продукта. Одновременно характерной чертой современного этапа освоения недр становится вовлечение в промышленную сферу руд новых месторождений, включая новые типы проявлений и малые месторождения. В определенных случаях такие объекты характеризуются сложным вещественным составом и трудной обогатимостью при традиционном подходе. Приобретают актуальность и приоритетность исследования, направленные на повышение комплексности использования минерального сырья, полноты извлечения полезных компонентов и получение новых нетрадиционных видов продукции. Индустриальные минералы составляют обширную группу полезных ископаемых, весьма разнообразных по своей природе и свойствам. Значительные масштабы и возрастающие перспективы использования индустриальных минералов определяют их социально-экономическую значимость и необходимость учета при выработке национальной стратегии экономической безопасности и программы развития и использования минерально-сырьевой базы в 21 веке. Месторождения докембрийских индустриальных минералов Карелии, как правило, относятся к комплексным, так как из горной массы 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. Эти проблемы характерны для горнодобывающего комплекса Республики Карелия, обладающего относительно мощным сырьевым потенциалом индустриальных минералов. В соответствии с Концепцией социально-

экономического развития РК и разработанной в целях ее реализации Республиканской целевой Программой "Освоение недр и развитие горнопромышленного комплекса РК на 2000-2003-2010 гг" вопросы комплексного использования минерального сырья признаны приоритетным направлением экономического развития.

На примерах конъюнктуры некоторых индустриальных минералов прослеживается картина современных тенденций в развитии техники и спроса на новые материалы. С развитием высоких технологий все более значимыми становятся минеральные продукты высокой чистоты.

Основная цель постановки технолого-минералогических исследований, во-первых, заключалась в комплексной оценке руд индустриальных минералов Карелии и усовершенствовании технологических схем управления качеством с использованием опыта Норвегии, Финляндии и Швеции; во-вторых, в обосновании использования конкретного минерального продукта на конечной стадии промышленного производства.

Для достижения указанной цели решались следующие задачи:

- проведение геолого-технологического картирования, в т.ч. вовлечение в орбиту интересов и малых по запасам (ресурсам) месторождений индустриальных минералов, и осуществление малообъемного технологического опробования. К таким примерам относятся месторождения гранатовых руд «Высота-181», мусковитовых кварцитов Восточно-Хизоваарской площади, нефелиновых сиенитов Еletzозера (северный участок), анортозитов Котозерского массива, кварцевого проявления Меломайс, кианитов Хизоваарского месторождения и др.);
- получение новых технолого-минералогических данных по конкретным природным типам руд, анализ закономерностей изменения минералогических свойств и оценка дифференциации технологических типов, а также выявление особенностей обогащения (извлекаемые, трудноизвлекаемые и неизвлекаемые);
- выявление основных тенденций рынка и установление возможностей использования карельского минерального сырья в производстве огнеупоров, стекла, керамики, строительных материалов и других производствах;
- сопоставление с аналогичными рудами известных месторождений Фенноскандинавского щита.

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, основывается на изучении 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 технолого-минералогического изучения минералов и руд Карелии установлено, что особенности структурно-вещественных комплексов и разнообразие геодинамических обстановок на протяжении длительного периода развития Фенноскандинавского щита определили свойства индустриальных минералов (Щипцов, 1999). Эти 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:

- теоретические и экспериментальное изучение закономерностей изменения свойств минералов с целью интенсификации процессов обогащения;
- выбор и научное обоснование технологий обогащения на основе изучения закономерностей селективного разделения парагенетических ассоциаций индустриальных минералов.

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 в настоящих исследованиях изучена возможность повышения технологических показателей обогащения кианитовых, графитовых, гранатовых и некоторых других типов руд Карелии на основе предварительного модифицирования свойств минералов.

Особенностью современного этапа геолого-технологического изучения индустриальных минералов Карелии является исследование новых нетрадиционных видов на поисково-оценочной стадии. В этой связи в лаборатории геологии, технологии и экономики минерального

сырья Института геологии КарНЦ РАН выполнены системные технологическо-минералогические исследования целого ряда перспективных типов индустриальных минералов: маложелезистых мусковитовых сланцев, гранатовых и гранат-ставролитовых, кианитовых, титансодержащих, апатит-карбонатных руд, анортозитов и нетрадиционных видов полевошпатового сырья.

В соответствии с разработанной методологией исследования по каждому виду минерального сырья включали:

- характеристику и анализ сырьевой базы;
- изучение вещественного состава и текстурно-структурных особенностей руд;
- разработку технологических схем обогащения с учетом комплексности использования сырья и экологических факторов.

Учитывая возрастающий коммерческий интерес к индустриальным минералам как к потенциальным объектам малого горного бизнеса, для всех видов сырья проводятся маркетинговые исследования, включающие анализ современного состояния российского и мирового рынков, оценку динамики цен на сырье и конечные продукты, поиск потенциальных потребителей.

Исследования показывают, что использование новых геотехнологических подходов к оценке георесурсного потенциала индустриальных минералов, исходя из их комплексной оценки могут быть положены в основу нетрадиционного подхода к индустриальным минералам Карелии, что влечет за собой экономический и экологический эффекты.

Исследования выполняются при финансовой поддержке РФФИ-Карелия (грант 05-05-97524с) и проекта фундаментальных исследований ОНЗ-3/10-2006

ОСОБЕННОСТИ МИНЕРАЛЬНОГО СОСТАВА РУД МАЛОГЛУБИННОЙ ЗОЛОТО-КВАРЦ-ФЛЮОРИТОВОЙ РУДНОЙ ФОРМАЦИИ.

Юргенсон Г.А.

Читинское отделение. ИПРЭК СО РАН. yurgga@mail.ru

PECULIARITIES OF MINERAL COMPOSITION OF ORES OF THE SMALL-DEPTH GOLD-FLUORITE-QUARTZ FORMATION

Yurgenson G.A.

Chita branch. IINREC SB RAS. yurgga@mail.ru

Ранее (Юргенсон, 2004) нами было обосновано существование малоглубинной золото-флюоритовой формации, проявления которой зафиксированы в Балейском рудном районе и в верховьях р.Кручина в Восточном Забайкалье. В Балейском рудном районе основное внимание в 1960-х – 1980-х годах уделялось прогнозированию и поискам месторождений малоглубинной золото-серебряной формации (МЗСФ) так называемого «балейского типа». Он был основным для региона. Действительно, за 60 лет (1929 -1989 гг.) разработки эти месторождения (Балейское и Тасеевское) дали около 400 т золота при среднем содержании по данным обогатительных фабрик 20 г/т. При этом в отдельных забоях содержание его достигало 346 кг/т. Именно на этот тип с использованием разработанного автором «Способа поисков и разведки постмагматических близповерхностных кварц-золото-серебряных месторождений» (А.с. СССР 1189244, 1985) было оценено несколько десятков проявлений свалов жил халцедоновидного кварца с флюоритом, пиритом, арсенопиритом и, в некоторых случаях, с антимонитом. Все они были признаны не принадлежащими к месторождениям МЗСФ и поэтому не изучались в связи с бесперспективностью на искомый промышленно-генетический тип. Однако в настоящее время в связи с отработанностью основной массы богатых руд в пределах Балейско-Тасеевского рудного поля (осталось отработать надрудные и междурудные пространства с содержанием в среднем не более 3-х г/т, а также некоторые целики с богатым содержанием, заключающие около 80 т золота), эти объекты могут стать предметом ГРР. При этом организация отработки оставшихся фрагментов Тасеевского месторождения требует существенных затрат на осушение затопленных карьеров, в которые вода поступает из затопленных шахт, пройденных в свое время для его эксплуатации.

Особенностью проявлений **Балейского рудного района** (гора Налимиха, гора Монастырская, водораздел падей Кочниха-Харина и

других) золото-флюоритовой формации является их близ поверхностное залегание, позволяющее довольно точно ориентировать ГРР.

Эта минерализация отличается от обычных проявлений месторождений золото-сульфидно-кварцевой формации повышенной сереброносностью ($Au/Ag = 0,12-0,34$), хотя в случаях относительно высоких концентраций золота эта величина больше единицы и достигает 2,16 (гора Налимиха). Главными рудообразующими минералами являются кварц, в большинстве случаев халцедоновидный, пирит и слоистые силикаты – диккит, каолинит и гидрослюда. Флюорит присутствует в разных количествах – от 2-5 % до 25-35 %. Пирит присутствует во всех пробах, антимонит – в 50 % проб, галенит, киноварь отмечаются достаточно часто. Пирит и антимонит образуют индивиды до 0,3–0,5 см, реже – крупнее. В зоне окисления отмечены гетит и гидрогетит, ярозит, бисмутит. Эрозией вскрыты относительно слабо золотоносные верхнерудные и надрудные части месторождений. Поэтому содержание золота в них достигает лишь 6,1 г/т, в среднем составляя 0,11–2,06 г/т, а серебра до 17,8 г/т, в среднем составляя 0,34–3,1 г/т. Содержания мышьяка составляют в среднем (г/т) от $x = 142$ при $\sigma = 105$ до $x = 2398$ при $\sigma = 2407$, сурьмы – от $x = 275$ при $\sigma = 171$ до $x = 3248$ при $\sigma = 3473$. Средние содержания (%) K_2O находятся в пределах 0,11–0,88; Na_2O – 0,017–0,048; Li_2O – 0,006–0,022. Средние значения K_2O/Na_2O по объектам находятся в пределах 6,2–18,1, что типично для малоглубинных формаций.

Отличительной чертой всех проб халцедоновидного кварца рассматриваемого района является высокая интенсивность (I_2 при температуре T_2 и I_3 при температуре T_3) его естественной термолюминесценции (ЕТЛ, усл.ед.) в связи с присутствием флюорита. Средние ее значения составляют: $x = 210-1747$, $\sigma = 188-3031$ для I_2 при $T_2 = 248-262^\circ C$, $\sigma = 5-17,2^\circ C$ и $x = 1384-13850$, $\sigma = 500-12179$ для I_3 при $T_3 = 270-355^\circ C$, $\sigma = 0-5,8^\circ C$.

Верхняя часть **пирит-флюорит-кварцевой жилы Верхнекручининского** месторождения, в которой установлена золото-серебряная минерализация, характеризуется широким разнообразием колломорфных и брекчиевых текстур. В последних встречаются блоки тонкополосчатых агрегатов, полосы в которых представляют собою тонкогребенчатые постройки. Нередко тонкие (менее 1 мм) полосы изогнуты. Они образуют трехслойные пластины, срединный слой которых сложен микрочешуйчатым, микрозернистым агрегатом тонких проращений каолинита и кварца. Отмечены ритмично-слоистые постройки, состоящие из чередования слоев токозернистого кварца с меняющимся содержанием включений кубических кристаллов флюорита различных оттенков фиолетового цвета. Размеры их находятся в пределах 0,01 – 0,1 мм. Структуры агрегатов кварца преимущественно мелко- и тонкозернистые, гетерозернистые. Границы между зернами извилистые, взаимовнедрения. Кварц содержит ксеноморфные и клиновидные

включения адуляра. В приконтактовой части жилы преимущественно развиты стильпномелан-иллитовые породы, содержащие вкрапленность кристаллов пирита и их сростков. Электронномикроскопические исследования этих пиритов показали присутствие в них микровключений петцита, снятые с которых электронограммы позволили однозначно их диагностировать.

В большинстве изученных проявлений и месторождений флюорит находится в тесной ассоциации с халцедоновидным кварцем и он может быть как синрудным, так и накладываться на основные золотоносные минеральные парагенезисы. Обычно флюорит содержащие агрегаты халцедоновидного кварца с тонкозернистым марказитоподобным пиритом и спутанно-игольчатым или тонко призматическим антимонитом развиты на верхних горизонтах месторождений и являются поздними генерациями кремнезема и сульфидов, а в некоторых случаях, как это хорошо проявлено, например, на Фатимовском месторождении, относятся к заключительной, практически безрудной, стадии золоторудного процесса. На Дарасунском месторождении золота золото-кварцево-сульфидной формации кальцитовые жилы, содержащие целестин, хлорит, иногда ангидрит и незначительное количество флюорита, относятся к явно другой, послерудной стадии.

В 2003 г. автор показал возможность использования типоморфизма для разработки количественных критериев рудноформационной типизации известных и вновь открываемых месторождений (Юргенсон, 2003). В этой работе были лишь обозначены некоторые свойства кварца и пирита флюоритовых месторождений. Но с позиций выделения критериев для оценки принадлежности их к месторождению золота они рассмотрены не были. Ниже приведены данные, позволяющие отличать халцедоновидные кварцы, ассоциирующие с флюоритом и пиритом заключительных и продуктивных стадий месторождений золото-сульфидно-кварцевой и малоглубинной золото-кварц-флюоритовой формаций.

Специальное изучение пирит-кварц-флюоритовых фрагментов Главной жилы Верхнекручининского месторождения показало содержания в них (г/т): золота 0,01 – 5, среднее 0,6 (для 60 проб) при коэффициенте вариации 110%, серебра 0,01 – 15 (среднее 1,6 по 99 пробам) при коэффициенте вариации 205 %, висмута – 9 (среднее по 77 пробам) при коэффициенте вариации 288 %, мышьяка – 148 (среднее по 79 пробам) при коэффициенте вариации 268 %. Содержание K_2O по 22 пробам 1,21 % при коэффициенте вариации 55 %, $K_2O/Na_2O = 7,56$ при коэффициенте вариации 77 %, $K_2O/Li_2O = 29,2$ при коэффициенте вариации 52 %. ЕТЛ при 270-360°C характеризуется тем, что частоты встречаемости максимумов ЕТЛ при 270–290°C составляют 36 %, а при 300–340°C – 23 %. Средние величины интенсивности ЕТЛ 3936 усл. ед.

Для халцедоновидных кварцев заключительных стадий формирования золоторудных месторождений типичны: содержания K_2O (по 45 анализам методом фотометрии пламени) 0,14 % при коэффициенте вариации 30, $K_2O/Na_2O = 4,5$ при коэффициенте вариации 40 %, $K_2O/Li_2O = 2,8$ при коэффициенте вариации 30%. Среднее содержание (г/т) золота в халцедоновидном кварце той же выборки 0,03 при коэффициенте вариации 130 %, серебра – 1,5 при коэффициенте вариации 110 %, мышьяка – 490 при коэффициенте вариации 190 %, сурьмы – 1200 при коэффициенте вариации 169 %, температурный диапазон максимума выхода воды при нагревании 200-300°C (907 мкл/г), ЕТЛ при 270-360°C отсутствует, а средние величины интенсивности ЕТЛ при меньших температурах всегда менее 1000 условных единиц.

1. А.с. СССР SU 1189244 А, G 01V 9/00. Способ поисков и разведки постмагматических близповерхностных кварц-золото-серебряных месторождений, 1985. Без права публикации./ Г.А. Юргенсон. – № 3709613/24-25; заявлено 11.03.84.

2. Юргенсон Г.А. Типоморфизм и рудные формации.– Новосибирск: Наука, 2003. – 368 с.

3. Юргенсон Г.А. О возможности существования малоглубинной золотофлюоритовой формации / Золото Сибири и Дальнего Востока: геология, геохимия, технология, экономика, экология (Тез. 3-го Всерос. симпоз. с междунар. участием). – Улан-Удэ: БНЦ СО РАН, 2004. – С. 254-256.

МИНЕРАЛОГИЯ СУПЕРКРУПНЫХ ТЕХНОГЕННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПЛАТИНОВЫХ МЕТАЛЛОВ

Додин Д.А., Изоитко В.М., Говорова Л.К., Коваленко Л.Н.

Санкт-Петербургское отделение ВНИИОкеангеология. okeangeo@vniio.ru;
ЗАО «Механобр Инжиниринг»; ОАО «ГМК «Норильский никель»

MINERALOGY OF SUPERLARGE TECHNOGENE DEPOSITS OF PLATINUM GROUP METALS (PGM)

Dodin D.A., Izoitko V.M., Govorova L.K., Kovalenko L.N.

St.-Petersburg's Department. All-Russian Research Institute for Geology and Mineral
Resources of the World Ocean. okeangeo@vniio.ru;
AC "Mechanobr Ingeneering"; OAC "GMK "Norilsky nickel"

Все разрабатываемые месторождения платиновых металлов сопровождаются техногенными объектами различной значимости. И только с известным Талнахско-Норильским рудным гигантом связаны суперкрупные (даже гигантские) техногенные платиносодержащие месторождения. Они представлены хвостами обогащения (норильский техногенный тип), пирротиновыми и магнетитовыми концентратами (талнахский техногенный тип).

1. К первому типу отнесены хвосты обогащения норильских месторождений. Наиболее крупным объектом является хвостохранилище №1 Норильской обогатительной фабрики (НОФ), площадью 6,2 км², образованное в 1948 – 1975 гг. при переделе руд Норильского и Талнахского месторождений и складировании хвостов их обогащения до процесса получения товарных пирротиновых концентратов – своеобразных техногенных месторождений талнахского типа. Хвостохранилище используется для пропуска паводковых вод руч. Разведочного и наполнения хвостохранилища № 2 в период намыва; сложено оно плохо отсортированными глинами, суглинками, супесями и песками с прослоями льда. Авторами было выполнено геохимическое опробование хвостохранилища по 12 широтным профилям, а в южной части хвостохранилища пробурено три скважины глубиной 6 м, 13 м и 13 м. Из скважин отобрано 35 проб (Додин и др., 1993).

Техногенные образования хвостохранилища очень сходны по минеральному и химическому составу с вкрапленными рудами указанных месторождений, исключая извлеченные сульфиды, в связи с этим количество нерудных минералов составляет 94–96 % (Додин и др., 1993, 1994).

Большая часть платиновых минералов находится в хвостах в минеральной форме, а основные запасы (87 % Pt, 74,8 % Pd)

сосредоточены в классе – 0,140 мм. Гравитационное обогащение лежалых хвостов приводит к получению отвалных хвостов-II и гравитационного концентрата, содержащего (в г/т): Pt – 22,1; Pd – 33,5; Rh – 2,0, а также 2,07 % Ni при извлечении соответственно 65 %, 56 %, 44 % и 28 %.

Ведущее положение в группе платиновых металлов занимает тетраферроплатина, изоферроплатина, сперрилит, станниды палладия (паоловит, таймырит, атоцит), реже отмечаются соболевскит, нигглиит, мертиит, брэггит, каббрит, масловит, урванцевит, рустенбургит, инсизваит. Форма платиновых минералов – изометричная, размеры их различны, также как и соотношения в разных классах крупности. В классах – 0,14+0,050 мм и +0,140 мм более 90 % составляют тетраферроплатина и изоферроплатина со средними размерами 81 и 75 мм. В тонком классе (-0,140+0,074 и -0,074 мм) преобладают сперрилит и станниды палладия. Преимущественно микронные размеры таймырита и атоцита и других, редко встречающихся минералов обусловлены их кристаллизацией в виде тонких включений в минералах-хозяевах. Из-за этого лишь часть зёрен этих минералов переходит в тонкий класс, остальные же так и остаются нераскрытыми в виде тонких включений в крупных выделениях ферроплатины и изоферроплатины. В целом сростки и агрегаты платиноидов встречаются реже, чем мономинеральные «раскрытые» зёрна (Додин и др., 1994). Кроме того, рудные минералы представлены пирротинном (3-4 %), халькопиритом (0,2 %), пентландитом (0,2 %), пиритом, кубанитом, борнитом. В незначительном количестве встречаются халькозин, миллерит, виоларит, сфалерит и галенит. Среди оксидов (2-4 %) преобладают магнетит, хромшпинелиды, титаномагнетит и ильменит.

Хвосты отмечают повышенными концентрациями платины (0,02-2,1 г/т), палладия (0,02-5,8 г/т), родия (0,01-0,24 г/т), иридия (до 0,044 г/т), рутения и осмия (до 0,05 г/т), золота (до 1,4 г/т), меди (до 0,8 г/т), никеля (до 0,6 г/т). Среднее содержание платины по 100 пробам составляет 0,14 г/т, а палладия – 1,27 г/т. Неоднородность распределения содержаний платиновых металлов (МПП) обусловлена различием количеств МПП в отрабатываемых рудах, эффектом просадки, рельефом местности и постоянной гидромеханической переработкой вещества хвостов в бассейне ручья Разведочного.

Выполненные технологические испытания на центробежных сепараторах привели к получению из лежалых хвостов платинометального концентрата с содержанием до 20 кг/т МПП; основная часть платиновых металлов сосредоточена в немагнитной фракции.

Прогнозные ресурсы Р₃ МПП в лежалых хвостах превышают 800-1000 т, полученный платиновый концентрат пригоден для повторного введения в технологическую цепочку Норильского комбината. Оработка техногенного сырья с использованием отвалных хвостов в стройиндустрии приведет к улучшению экологической обстановки в регионе и Арктике в целом. Это явится началом создания системы

рационального природопользования и естественного ресурсосбережения в Норильском промышленном районе. Однако, учитывая состояние минерально-сырьевой базы платиновых металлов в Талнахской группе месторождений, правильнее будет платиноносные лежалые хвосты перевести в «Фонд будущих поколений», что будет полностью соответствовать основным положениям Устойчивого развития (Додин, 2005). Тем более что лежалые хвосты Норильских месторождений по ресурсам платиновых металлов являются единственными в мире и не имеют аналогов.

2. В рамках талнахского техногенного типа разведаны два хранилища пирротиновых (ПХ-1 площадью 0,4 км² и мощностью 14 м и ПХ-2 с параметрами 1,1 км² и 5,5 м (Стехин и др., 1995) и одно магнетитовых концентратов (Фомичев и др., 2000).

В пирротиновых концентратах платиновые металлы слагают преимущественно (до 68 %) тетраферроплатину, сперрилит, куперит, таймырит, сплавы платины и палладия с оловом, мышьяком, висмутом, свинцом, а также твердые растворы в сульфидах, сульфоарсенидах, арсенидах. Рассматриваемые образования содержат до 10 г/т и более МПГ, 0,3 г/т Au, >10 г/т Ag, 1-3% никеля и меди, 0,1% кобальта (Говорова и др., 1984). Из пирротиновых концентратов МПГ извлекаются с помощью комбинированных методов обогащения и металлургического передела.

Хранилище магнетитовых концентратов сформировалось к 1975 г при переработке на НОФ богатых халькопиритовых руд Талнахского месторождения (Фомичев и др., 2000). В те годы ферроплатина из этих руд по действующей схеме не извлекалась, и содержание МПГ в хвостах флотации достигало 26 г/т. В 1999 г. началась промышленная отработка техногенного месторождения магнетитового концентрата. Использование концентратов Knelson и концентрационных столов “Gemeni” обусловило получение гравитационного концентрата, содержащего 5-7 кг/т благородных металлов и пригодного для дальнейшего передела в Металлургическом цеху. Уже в первый год из магнетитовых концентратов было получено 1200 кг МПГ, около 1500 т никеля и 1000 т меди.

3. Приведены также авторские данные по вещественному составу и технологическим свойствам хвостов обогащения золото-извлекательной фабрики им. Матросова, работающей на одном из крупнейших в России Наталкинском платиноидно-золоторудном месторождении и аналогичные материалы Л.В.Разина и Т.В.Башлыковой (1999) по крупным техногенным платинометальным россыпям Урала.

Целый ряд известных данных по платиноносности отходов получения золота (черносланцевая формация) и нефелина (кияшальтырский тип, Сазонов и др., 1997) нуждаются в дополнительном изучении.

Авторы благодарны Д.В.Леньчуку и В.А.Шаткову за помощь при проведении исследований.

Исследования выполнены по программе «Платина России».

1. Говорова Л.К., Коваленко Л.Н., Николаев Ю.М. и др. Атлас продуктов Норильского комбината. Справочник. Норильск: Изд-во Норильского ГМК, 1984. 400 с.
2. Додин Д.А., Леньчук Д.В., Изоитко В.М. Техногенные месторождения Норильского района // Геолого-технологическая оценка и переработка руд разных генетических типов. СПб.: Механобр, 1993. С. 10-12.
3. Додин Д.А., Изоитко В.М., Говорова Л.К. и др. Техногенные месторождения платинометалльного сырья Норильского региона // Платина России. Проблемы развития минерально-сырьевой базы платиновых металлов. М.: АО «Геоинформмарк», 1994. С. 115-128.
4. Додин Д.А., Говорова Л.К., Изоитко В.М., Леньчук Д.В. Новый нетрадиционный тип платиносодержащего сырья – техногенный (внутреннее строение, платиноносность, технологии переработки) // Платина в геологических формациях Сибири. Тез. докл. общероссийского семинара 20-21 сентября 2001 г., г. Красноярск, КНИИГиМС, 2001. 184 с.
5. Додин Д.А. Устойчивое развитие Арктики (проблемы и перспективы). СПб.: Наука, 2005. 283 с.
6. Разин Л.В., Башлыкова Т.В. Моделирование современного технологического процесса рентабельного извлечения ценных тяжелых минералов из техногенных платино-хромитовых россыпей Урала // Платина России. М.: ЗАО «Геоинформмарк», 1999, Т. 4. С. 242-245.
7. Сазонов О.И., Гринев О.М., Шведов Г.И., Сотников В.И. Нетрадиционная платиноидная минерализация Средней Сибири. Томск: ТПУ, 1997. 148 с.
8. Стехин А.И., Кунилов В.И., Олешкевич О.И. Техногенные месторождения цветных и благородных металлов // Недра Таймыра. СПб.: ВСЕГЕИ, 1995. Вып. 1 С. 85-93.
9. Фомичев В.Б., Благодатин Ю.В., Сухарев С.В. Технология переработки техногенного магнетитового месторождения // Цветные металлы. 2000. № 6. С. 27-29.

**ПРОБЛЕМЫ ОСВОЕНИЯ ТЕХНОГЕННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ
ЗОЛОТА: ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ,
МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ (НА ПРИМЕРЕ АНГРЕНСКОЙ
ЗОЛОТОИЗВЛЕКАЮЩЕЙ ФАБРИКИ УЗБЕКИСТАНА)**

*Дунин-Барковская Э.А., Попов Е.Л., Ахмедов Х., Умаров А.З.,
Мухамеджанова Д.В.*

Минералогическое общество Узбекистана
eleonoradb@yandex.ru, uakrom@mail.ru

**PROBLEMS OF DEVELOPMENT AND MINING OF THE MAN-MADE
GOLD DEPOSITS: TECHNOLOGICAL, ECOLOGICAL AND
METHODICAL APPROACHES (BY EXAMPLE OF ANGREN GOLD-
EXTRACTION PLANT, UZBEKISTAN)**

*Dunin-Barkovskaya E.A., Popov E.L., Achmedov Kh., Umarov A.Z.,
Muchamedjanova D.V.*

Mineralogical society of Uzbekistan
eleonoradb@yandex.ru, uakrom@mail.ru

Современной научно-технической проблемой в переработке минерального сырья является комплексная отработка месторождений с малоотходными и безотходными технологиями, охрана окружающей среды. На многих горно-металлургических предприятиях и рудоперерабатывающих фабриках накоплены огромные массы отходов производства, занимающие значительные площади, содержащие рудные и нерудные компоненты, влияющие на экологию окружающей среды, ее растительный и животный мир. Решение этой крупной проблемы может осуществляться при решении более частных проблем:

1 - утилизация различных отходов производства, в том числе золотоизвлекающих обогатительных фабрик (ЗИФ), горы отвалов которых загрязняют атмосферу газами, пылью, часто ухудшают и состав воды;

2 - экологическая минералогия хвостохранилища;

3 - изучения изменения состава хвостов за годы лежания, т.к. в них возникает новая геохимическая система, изменяются формы нахождения химических элементов, происходит их миграция, возникают новые закономерности распределения химических элементов;

4 - создание новых малоотходных и безотходных технологий переработки накопившихся отвалов с максимальным извлечением всех полезных компонентов и использованием оставшихся нерудных веществ, в которых преобладают мелкие частицы кварца, серицита каолина и др. минералов.

Ангренский горно-рудный район представляет собой часть Чаткало-Кураминской горной системы Тянь-Шаня, насыщенной полезными ископаемыми. Здесь находятся промышленные месторождения золота и серебра с действующими рудниками Кочбулак, Кызылалмасай, разведанные месторождения Ag, Pb, Zn Лашкерецкой группы, Cu, Mo, Sn - Суюксу, Cu, Bi -Кызылгут, Ag, Au - Самарчук, Кайрагач, Реваште и др (Рудные месторождения..., 2001).

По технологическим свойствам на этих месторождениях выделяются два типа руды: золото-теллуридно-сульфидно- кварцевый (Кочбулак) и золото-кварцевый (Кызылалмасай и некоторые рудные тела Кочбулака), и два сорта руды: первичная и окисленная. Последняя отрабатывалась из карьера Кочбулака. Малосульфидные золото-кварцевые руды Кочбулака ранее использовались в качестве флюса на Алмалыкском горно-металлургическом комбинате, где золото добывалось из медной руды. Остальные руды Кочбулака, Кызылалмасая и даже с некоторых других месторождений (Маржанбулак, Чармитан, Каульды, Кенгутан и др.) перерабатывались на Ангренской ЗИФ.

Проведенные ранее технологические исследования обогатимости руды месторождений Кочбулак и Кызылалмасай в институтах САИГИМС и ИРГИРЕДМЕТ показали, что кроме золота и серебра, присутствуют в небольших количествах Te, Se, Cu, Pb, As, Sb, Sn, Fe, S и др.

За 25 лет работы Ангренской ЗИФ накопилось несколько млн. тонн отходов переработки руды, содержащих примеси полезных (Au, Ag, Cu и др.) и вредных (As, Sb и др.) элементов. Работа по изучению лежалых хвостов Ангренской ЗИФ актуальна с позиции их рассмотрения как техногенного месторождения рудных и нерудных компонентов и их влияния на экологию окружающей среды.

Основные задачи, которые решаются при изучении материала хвостохранилища:

1 - определение химического состава отходов, в том числе Au, Cu, Ag и др.;

2 - определение формы нахождения основных рудообразующих элементов в том числе теллуридной, тонкодисперсной и невидимой формы золота в сульфидах (пирите и др.), обычно создающие проблемы технологам при переработке руды и уходящие в хвосты;

3 - изучение распределения рудных элементов в хвостохранилище, геохимическое картирование;

4 - выяснение изменения формы нахождения рудных элементов Au, Ag, Te, Cu и др. за время хранения хвостов;

5 - разработка технологического регламента переработки хвостов ЗИФ. Золото-теллуридный тип руды в Узбекистане перерабатывается только Ангренской ЗИФ. Работа по минералого-геохимическому изучению складированных отходов этого производства ранее не проводилась. Технология изучения формы нахождения химических элементов в

лежалых отходах руды золото-теллуридно-сульфидно-кварцевого типа не разработана. Предстоит также разработать технологию извлечения невысоких содержаний металлов из нового техногенного месторождения.

На протяжении десятилетий работы Ангренской ЗИФ изменялись способы переработки руды. В связи с вопросами экологии с 1994 г. не используются в качестве растворителя золота цианистые реагенты. До 2004 г. применялись флотация и гравитация, а после - только флотация.

При изучении отходов ЗИФ предстоит учитывать факторы, влияющие на неоднородность распределения рудных компонентов и их форму:

- природные первичные, обусловленные изменчивостью состава привозимой руды;
- техногенные, обусловленные способами переработки руды;
- гипергенные, возникающие в отвалах отходов производства за время хранения.

Определенную роль в переработке первичного состава руды играют и микроорганизмы, неизбежно присутствующие в массе отходов производства в связи со свободным доступом воздуха и воды.

Изучение отходов ЗИФ проводится Национальным университетом совместно с институтом минеральных ресурсов Узбекистана. Гранулометрический анализ материала из хвостохранилища по 27 малым технологическим пробам показал, что вся масса находится в диапазоне размерности от 0 до -1 мм: 45 % составляет класс $-0,25+0,16$; 18 % $-0,16+0,01$; 9 % $+0,1-0,074$; 15 % $-0,074+0$.

По данным рентген-флюоресцентного анализа на приборе ЕД-2000 средняя нерасситованная проба содержит (в %): SiO_2 - 76,54; K_2O - 3,9; Al_2O_3 - 11,28; Fe_2O_3 - 2,96; CaO - 2,09 и др. Рудные компоненты представлены (г/т): Au - 0,4-0,5; Ag - 1-7; Pb - 300; Cu - 110; Zn - 150; MnO - 1850; TiO_2 - 4060; As - 40 и др.

В гравитационных концентратах двух групповых проб содержится (г/т): Au - по 100, Pb - 400-700, Cu - 330-290, Zn - по 2300 и др.

С экономической точки зрения использование хвостов целесообразно, т.к. они представляют собой новое техногенное месторождение с огромной массой уже раздробленного материала, в то время как при эксплуатации первичных руд на их дробление уходят значительные средства.

Следует также рассмотреть вопрос о использовании огромной массы материала хвостохранилища, состоящего преимущественно из мельчайших частиц дробленного кварца с примесью слюды, каолина и др.

Исследования финансируются грантом Центра по науке и технике Узбекистана №А-4-106 2006 г.

Рудные месторождения Узбекистана /Отв.ред. И.М.Голованов, Ташкент, 2001, 660 с.

**ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПОПУТНЫХ ПОРОД И
ТЕХНОГЕННЫХ ОТХОДОВ СЕВЕРО-ОНЕЖСКИХ И
СРЕДНЕ-ТИМАНСКИХ БОКСИТОВЫХ РУД ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ
КЕРАМИЧЕСКИХ И КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ**

Кочетков О.С., Землянский В.Н., Копейкин В.А.

Ухтинское отделение. УГТУ
zav_og@uii.sever.ru

**EFFECTIVENESS OF USING THE HOST ROCKS AND TECHNOGENE
WASTES WHILE MINING THE SEVERO-ONEZHISKY (NORTHERN-
ONEGA) AND SREDNETIMANSKY (MIDDLE-TIMAN) BAUXITES
FOR PRODUCTION OF CERAMICK AND COMPOSITE MATERIALS**

Kochetkov O.S., Zemlyanskiy V.N. Kopeikin V.A.

Ukhta branch. Ukhta State Technical University (USTU)
zav_og@uii.sever.ru

Создание в ближайшие годы горнопромышленного комплекса в Республике Коми, связанное с интенсификацией освоения рудных, нерудных и горючих полезных ископаемых, обусловлено рядом причин: дефицитом сырья на глиноземных и металлургических заводах Ленинградской и Вологодской (г. Череповец) областей, высоким содержанием ценных компонентов в рудных месторождениях Северо-Онежской и Тиманской минерагенических провинций, их расположением вблизи земной поверхности и возможностью разработки открытым способом.

Проблема комплексной утилизации горнопромышленных отходов и техногенных образований возникает неизбежно и ее решение связано с организацией производства современных керамических и других строительных материалов при малоотходных технологиях, снижением радиационного загрязнения ее территории.

Для проведения исследований выбрано направление использования попутных пород бокситовых руд. Гидратные формы оксида алюминия содержатся в рудоносных толщах Иксинского (Архангельская область) и Вежаю-Ворыквинского (Республика Коми) месторождений, представляя агрегатную смесь с глинистыми минералами, хлоритом, сидеритом, оксидами и гидроксидами железа. К попутным породам относятся аллит, сиаллит и ферросиаллит. Кроме того, бокситовые руды Среднего Тимана слагаются вмещающими магматическими породами-базальтами, диабазами, туфами базальтовыми, которые могут быть использованы для получения теплоизоляционных материалов и каменного литья. Исходя из этого, была решена проблема комплексной утилизации

горнопромышленных отходов для получения строительных материалов, включая:

1. Керамический наполнитель из двухкомпонентной шихты, обогащенной оксидами Al, Ti, Fe, Mg и аморфным кремнеземом, с поверхностной оболочкой повышенной жесткости (модулем упругости $3,5...5,0 \times 10^4$ МПа), прочностью при сдавливании в цилиндре 10...12 МПа и высокой физико-химической активностью за счет кристаллических новообразований, способствующих улучшению адгезии оболочки с цементной матрицей;

2. Конструкционные легкие бетоны классов В30...В50 и выше со средней плотностью марок Д1700...Д1900 в сухом состоянии, высокой суточной прочностью при использовании рядовых цементах средних марок и морозостойкостью F300...F500;

3. Строительную керамику с модулем упругости $1,2...1,3 \times 10^4$ МПа из некондиционного сырья способом полусухого прессования распылительного порошка, скоростными режимами сушки и обжига полуфабриката при прочности на сжатии 20,0...25,0 МПа, морозостойкости F25...F100, в том числе лицевой кирпич объемного окрашивания хромофорами, содержащими Al_2O_3 , TiO_2 , Fe_2O_3 , MnO;

4. Возможности получения минеральных волокон и каменного литья из отсеков дробления магматических, магнийсодержащих пород (туфа базальтового с раскислителем) в процессе их плавления, высококачественной строительной извести I сорта и обожженного металлургического доломита с использованием красного бокситового шлама (Землянский, 2002).

Уместно отметить, что титан- и железосодержащие муллиты, включающие примеси оксида железа и двуокиси титана, идентичны силлиманиту, сходному с муллитом. При введении боксита в шихту температура вспучивания и поризации наполнителя повышается. Выбор критериев для оценки использования техногенных отходов обуславливает синтез в кристаллической решетке новообразований с высокой энергетической активностью и физико-химическими особенностями строения структуры гравия из бельгопской глины и боксита Южного Тимана со средним кремниевым модулем 3,4 (рисунок).

Химический состав и морфология образцов наполнителя и строительной керамики после термообработки исследованы с помощью сканирующего электронного микроскопа JSM-6400 фирмы «Jeol» (Япония) и рентгеноспектрального микрозондового анализа. Фазовый состав материала поверхностной оболочки зерна представлен техногенным корундом, муллитом, гематитом, магнетитом, шпинелями $(Mg,Fe)Al_2O_4$ и другими соединениями с небольшим содержанием титан-железосодержащей фазы (таблица). Сочетание оксидов определяется составом легкоплавких пород и соотношением основных компонентов. Муллит, имея формулу $3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$, в первую очередь должен быть

характерен, как главный реакционный продукт, для низкомодульных, а корунд-2 – для высокомодульных бокситов.

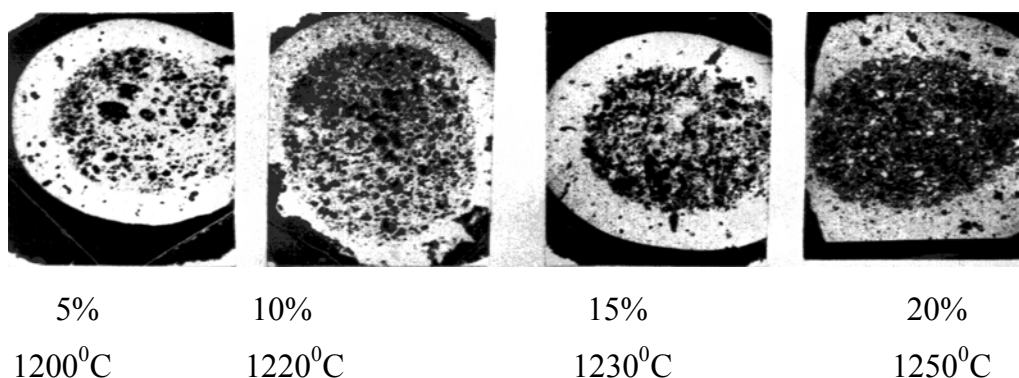


Рис. Структура заполнителя из бельгопской глины с различным количеством бокситов Южного Тимана.

Таблица

Химический состав кристаллических новообразований в оболочке зерна

Фазовый состав новообразований, формирующихся в керамической системе	Содержание оксидов, масс %									
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Cr ₂ O	BaO	ZnO
Муллит на границе алюмосиликатной фазы	6,3	29,2	0,2	1,7	0,4	0,44	0,7	0,11	0,06	-
Шпинель (Mg,Fe)Al ₂ O ₄ и микрозерна гематита	5,96	8,6	0,17	23,6	0,06	0,01	0,38	0,1	-	-
Силикат бария на границе межпоровых перегородок	18,1	9,76	0,05	1,87	0,93	1,0	1,0	0,04	5,2	-
Микрозерна гематита, магнетита и титаномагнетита	15,98	15,3	0,03	4,6	0,8	0,31	0,78	0,10	-	-
	5,71	3,31	2,04	24,0	1,03	2,58	0,14	0,40	-	-

В опытно-промышленных условиях изготовлены партии изделий из конструкционного легкого бетона классов В30...В50, высокие показатели физико-технических свойств которых позволяют рекомендовать их использование на разнообразных объектах строительства согласно ГОСТ 25820-2000 «Бетоны легкие. Технические условия» (Землянский, 2002). Крупнотоннажные отходы промышленности и техногенное сырье могут быть утилизированы для производства строительных материалов.

1. Землянский В.Н. Строительные материалы с использованием попутных пород бокситовых и титановых руд для строительства на Севере.- Ухта: УГТУ.- 2002.- 144с.

2. Землянский В.Н. Использование попутных пород бокситовых руд в конструкционном легком бетоне // Строительные материалы.- 2004.- №3.- с. 54-55.

**ПЕТРО-ГЕОХИМИЧЕСКАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ ТЕХНОГЕННЫХ
МЕСТОРОЖДЕНИЙ И ЕЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДЛЯ ОЦЕНКИ
КОМПЛЕКСНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ ВТОРИЧНОГО СЫРЬЯ**

Мананков А.В., Подшивалов И.И.

Томское отделение. ТГАСУ
mav.39@mail.ru

**PETRO-GEOCHEMICAL CLASSIFICATION OF TECHNOGENE
DEPOSITS AND ITS APPLIANCE TO ESTIMATE COMPLEX
PROCESSING OF THE SECONDARY USEFUL MINERALS**

Manankov A.V., Podshivalov I.I.

Tomsk branch. TSABU
mav.39@mail.ru

Вовлечение в производство промышленных отходов и их комплексное использование с помощью безотходных технологий превращается в одну из базовых проблем реализации концепции устойчивого развития. Ее решение включает и природно-ресурсные аспекты исчерпаемых полезных ископаемых и природоохранные аспекты использования водного, воздушного бассейнов и биологических ресурсов. Техногенный поток вещества и энергии превратил человека, прежде являвшимся одним из незаметных элементов биогеохимического круговорота, в мощный фактор, влияющий на ход общепланетарных процессов.

Общие научные принципы стратегии в системе отношений Человек – Природа – Производство были заложены трудами академиков-геохимиков В.И.Вернадского, А.Е.Ферсмана и др. Идея комплексного использования недр начала реализовываться при их участии при освоении месторождений Кольского полуострова. Однако затратный механизм экономики и ведомственные барьеры разрушили идеологию комплексного освоения минеральных ресурсов. По данным Отдела вторичных ресурсов, известно, что « из того, что мы берем из недр, в виде готовых изделий до нас доходит от двух до шести процентов природных веществ. Остальное – отходы». При этом из всех природных ресурсов, используемых для удовлетворения потребностей современного общества, 90 % приходится на минеральное сырье. Вследствие этого за один год на территории России суммарный прирост промышленных отходов составляет 7 млрд. т, соответственно при этом изымаются из землепользования сотни гектаров сельскохозяйственных земель, прилегающих к городам. Общее количество промышленных силикатных отходов удваивается каждые 10-15 лет. В

результате жизненная среда, особенно вблизи урбанизированных зон, имеет тенденцию разрушаться быстрее, чем повышается жизненный уровень и благосостояние населения. Качество контроля над хранением и реабилитацией промышленных отходов и порождаемых ими многочисленными загрязнителями всех компонентов экосистем во многом упирается в громоздкую и неестественно обременительную систему ведомственного контроля и местных интересов.

Понятие безотходной технологии сформулировано в 1979 г. на Общеввропейском совещании по сотрудничеству в области охраны окружающей среды в Женеве. Было сформулировано, что «безотходная технология есть практическое применение знаний, методов и средств, с тем чтобы в рамках потребностей человека обеспечить наиболее рациональное использование природных ресурсов и энергии и защитить окружающую среду».

Результаты последующего анализа качества окружающей среды и причин ее редукции послужили основанием для появления понятия «чистое производство». Термин был введен на заседании рабочей группы ЮНЕП/ИЕО в 1990 г. в Кантенбери (Великобритания). Под чистым производством понимается «производство, которое характеризуется непрерывным и полным применением к процессам и продуктам природоохранной стратегии, предотвращающей загрязнение окружающей среды таким образом, чтобы понизить риск для человечества и окружающей среды».

Для России переход к безотходным и чистым технологиям и создание территориально- производственных комплексов является сложной, многостадийной и многоуровневой задачей. Так, необходим инновационный принцип, основанный на фундаментальных разработках физической геохимии, технической минералогии и смежных научных дисциплин, в том числе отвечающих за техническое обеспечение.

Классификация отходов в настоящее время находится на начальной стадии разработок. Разработан Международный код идентификации отходов, включающий систему классификации отходов, предназначенную для процедур по утилизации, и Европейский каталог отходов.

Безотходное использование промышленных отходов, естественно, предполагает знание их минерального состава и геохимических особенностей. В рамках развития классификации промышленных отходов, предназначенной для утилизации, на основе созданного нами Банка данных промышленных отходов бывшего СССР и в докладе предлагается достаточно информативная классификация для комплексного использования.

Преобладающая часть промышленных отходов содержит в своем составе дефицитные металлы, включая радиоактивные элементы (золы ТЭЦ и ГРЭС), редкоземельные элементы, редкие, благородные, цветные и черные металлы. Большая часть промышленных отходов по содержанию

редких и редкоземельных металлов представляют, по существу, рудный концентрат, который возможно извлекать с помощью новых технологических решений. Кстати, за рубежом подобные технологии начали внедряться более четверти века назад.

Доминирующая по объему силикатная часть промышленных отходов по предлагаемой классификации на восьмерной круговой петрохимической диаграмме $\text{SiO}_2 - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{Fe}_2\text{O}_3 - \text{FeO} - \text{MgO} - \text{CaO} - \text{Na}_2\text{O} - \text{K}_2\text{O}$, на которой отображаются молекулярные количества ингредиентов, делятся в соответствии с признаками подобия на самостоятельные семь петрохимических классов. Каждый класс характеризуется определенными соотношениями породообразующих оксидов и может быть использован для синтеза и производства конкретных конструкционных и строительных материалов преимущественно мономинерального состава. Так, многотоннажные шламы глиноземных и фосфорных химико-металлургических предприятий, после извлечения из них редких металлов, по соотношению основных химических компонентов весьма целесообразно использовать для получения волластонитовых сикамов с высокими электроизоляционными свойствами за счет низкого содержания в них оксидов железа. Шлаки предприятий черной металлургии и отходы обогащения магнетитовых руд с минимальными добавками других отходов проще всего использовать для производства износостойких геденбергитовых или еще более ценных диопсид-авгитовых ситаллов и сикамов. Промышленные отходы четвертого петрохимического класса (отходы в виде зол и шлаков от переработки каменных углей), пятого (отходы обогащения нефелиновых руд месторождений Сибири, ПО «Апатит», промышленные отходы электролампового производства) и других классов, также после доизвлечения редких и других металлов, в комбинациях друг с другом экономически целесообразно и экологически эффективно можно использовать для получения как волластонитовых, так и пироксеновых стеклокристаллических материалов с заданными свойствами или вводить в виде модифицирующих добавок в керамические и бетонные составы.

Более детальная коррекция химического состава основных сырьевых компонентов для получения мономинеральных продуктов осуществляется либо на основе традиционного нормативно-молекулярного метода П.Ниггли, либо с использованием «кислородного» метода расчета кристаллохимических формул метасиликатов и других заданных составов на основе исследуемых промышленных отходов.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ТЕМПЕРАТУР ПРИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ СТЕКОЛ И СИТАЛЛОВ ИЗ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ

Мананков А.В., Сальников В.Н., Потылицына Е.С.

Томское отделение. ТГАСУ, ТПУ
mav.39@mail.ru

DEFINITION OF THE OPTIMUM TEMPERATURES IN TECHNOLOGIES TO PROCESS GLASSES AND PYROCERAMICS FROM INDUSTRIAL WASTES

Manankov A.V., Salnikov V.N., Potulizina E.S.

Tomsk branch. TSABU, TPU
mav.39@mail.ru

С 80-х годов интенсивно развивается одно из направлений минералогии – техническая минералогия, задачами которой являются повышение извлечения полезных компонентов, комплексности переработки сырья, создания и усовершенствования технологических схем с учетом возможности направленного изменения свойств минералов. В экспериментальной минералогии обсуждаются минералогические проблемы петрологии, физической геохимии, экспериментальное и компьютерное моделирование природных процессов, применение экспериментальных результатов к решению актуальных на сегодня геологических задач, синтез и рост минералов. Создание композиционных материалов, сплавов, стекол и ситаллов относится к технической минералогии, которая решает и экологические проблемы. Стеклообразное состояние вещества в природе встречается довольно часто, оно наблюдается не только в толщах эффузивных пород древних и современных вулканов, но и в виде включений в минералах кристаллических горных пород, образовавшихся в широких интервалах температур и давлений от магматического процесса до пегматитового, гидротермального и гипергенного. Стеклообразное вещество встречается и как продукт метасоматоза, метаморфизма разных фаций и космических воздействий, например образование тектитов. В геологической среде возможно и превращение кристаллического тела в аморфное под воздействием внешнего энергетического источника (радиационное излучение, удары грозových разрядов с образованием фульгуритов, технологических ядерных взрывов, космических процессов - астроблемы) и тепловых полей.

В настоящее время существует большое количество концепций строения и образования стеклообразного состояния, среди которых общепринятыми являются три: кристаллитная А.А.Лебедева, гипотеза непрерывной неупорядоченной сетки В.Ш.Захариасена и полиморфно-кристаллоидная (Минаев, 1996). Последняя основана на том, что кристаллические вещества являются носителями трех стехиометрических порядков – ближнего, среднего и дальнего; некристаллические вещества имеют только два уровня упорядочения – ближний и средний. При этом у кристаллического вещества лишь один тип среднего порядка, а у некристаллического имеется набор нескольких средних порядков. Отсюда, кристаллические и некристаллические вещества имеют исходные общие особенности – стехиометрически определенное строение исходных кристаллоидов, определенный способ их увязывания в единую структуру вещества. Функциональная разница между ними в том, что первое строится из кристаллоидов одной, а второе – из кристаллоидов нескольких полиморфных модификаций.

Теоретически разработано и экспериментально доказано, что при возбуждении твердого тела внешним воздействием (теплового поля, радиации, давления) и образовании дефектов в кристаллах в последних запасается энергия сверх равновесной, присущей ненарушенной структуре кристалла. Запасенная на дефектах кристаллов энергия может быть выделена при растворении и термическом стимулировании в виде тепловой энергии. Часть запасенной энергии может выделяться при нагревании возбужденных искусственных и природных диэлектриков в виде электромагнитного излучения не только в видимом диапазоне длин волн (термолюминесценция), но и в радиочастотном (Воробьев, 1968; Арефьев, Заверткин, Сальников, 2001). Закономерности изменения электропроводности и интенсивности термостимулированной электромагнитной эмиссии были изучены нами при нагревании образцов искусственного и

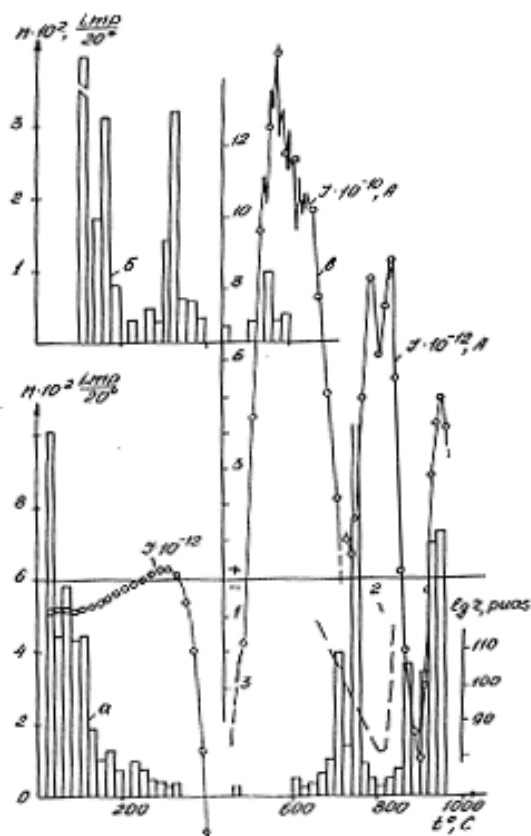


Рис. Температурная зависимость электромагнитных излучений (ЭМИ) стекла ТШС-2: а) ЭМИ при нагревании; б) ЭМИ при охлаждении; в) термоток, измеренный при нагревании синхронно с ЭМИ; г) температурная зависимость вязкости стекол марки ТШС.

природного кварца, периклаза, гетерогенных систем (горных пород, петрургических сплавов, ситаллов и технического стекла) и модельных кристаллов KBr, KCl, NaCl, LiF, CaF₂ (Сальников, Мананков, 1994). Изучение стекла, ситаллов, показывают, что при воздействии теплового поля в образцах при фазовых переходах первого и второго рода происходят как релаксационные процессы, так и образование объемного заряда, что приводит к возбуждению электрических, электромагнитных и акустических сигналов, которые являются особыми температурными точками и могут быть использованы при оптимизации технологических процессов (рисунок).

Установленные электрические и электромагнитные эффекты в силикатных стеклах развивают представления о полиморфно-кристаллоидном строении аморфного вещества.

1. Минаев В.С. Полиморфизм и развитие представлений о полиморфно-кристаллическом строении стекла// Физическая химия стекла. 1998. Т.34. № 5- С. 597-603.

2. Воробьев А.А. Центры окраски в щелочногалоидных кристаллах. Томск: ТГУ, 1968.-390 с.

3. Арефьев К.П., Заверткин С.Д., Сальников В.Н. Термостимулированные электромагнитные явления в кристаллах и гетерогенных материалах/ Под ред. М. В. Кабанова. Томск:STT, 2001.-400с.

4. Сальников В.Н., Мананков А.В. Определение температур фазовых превращений в технических и пироксеновых ситаллизирующихся стеклах методом регистрации проводимости синхронно с импульсным электромагнитным излучением// Тр. Укр. Ин-та стекла, 1994. С.159-171.

МИНЕРАЛОГИЯ ТЕХНОГЕННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ (ШЛАКИ И КЕКИ ЦИНКОВОГО И МЕДНОГО ПРОИЗВОДСТВА)

Турсебеков А.Х.¹, Низамова А.Т.^{1,2}

¹ Институт геологии и геофизики АН Республики Узбекистан. turesebekov-a@yandex.ru;

² Ташкентский государственный технический университет. alya_81@rambler.ru

MINERALOGY OF SOME MAN-MADE DEPOSITS (SLAGS AND CAKES OF ZINC AND COPPER PRODUCTIONS)

Turesebekov A.H.¹, Nizamova A.T.^{1,2}

¹ Institute of Geology and Geophysics AS of Republic of Uzbekistan.
turesebekov-a@yandex.ru;

² Tashkent State Technical University. alya_81@rambler.ru

Техногенные месторождения по своей природе – это многокомпонентная система, отличающаяся от природных систем текстурой, составом, морфологией индивидов, структурными особенностями, генезисом и другими свойствами.

В шлаках были установлены следующие классы минералов: силикаты – шпинель ($MgAl_2O_4$), который образует твердые растворы с железом $FeAl_2O_4$, $ZnAl_2O_4$, $FeCrO_4$ (феррохромит), магнетит (Fe_2O_4), стекло, кварц (SiO_2); фаялит ($2FeO \times SiO_2$); оксиды металлов – куприт, гематит и ему подобные минералы; сульфиды металлов – пирротин (FeS), троилит, халькозин (Cu_2S), сфалерит, галенит, борнит и халькоподобные минералы ($Cu_{1\pm x}Fe_{1\pm x}S_{2\pm x}$).

В изоморфную группу вошли элементы, обладающие различными пределами замещения – золото, серебро, платиноиды, кобальт, никель, висмут, селен и теллур. Некоторая часть элементов этой группы при достижении определенных содержаний образует свои собственные минералы, которые являются изоструктурными по отношению к минералу-хозяину. Например, кобальт образует собственный минерал – скуттерудит ($CoAs_3$).

Основная масса благородных элементов (золото, селен, теллур, индий, олово и другие) присутствуют исключительно изоморфно и входит в кристаллическую структуру сульфидных минералов. Причина отсутствия в шлаках минеральных форм этих элементов объясняется высокой температурой кристаллизации металлургических шлаков, при которой они не устойчивы для кристаллизации собственных минералов.

Минеральной основой медеплавильных шлаков являются – фаялит и стекло, содержание которых в среднем составляет 55 %. Второстепенные соединения представлены цинксодержащим магнетитом и гематитом – 39 %, сульфидами (пирит, пирротин, троилит, сфалерит, галенит) – 2 %,

оксидами меди (куприт и тенорит) – 0,9 %, сульфидами меди и железа – 2,0 % и самородной меди – 0,2 %.

В клинкерах медного и цинкового производства присутствуют следующие компоненты: Au, Ag, Pt, Fe, S, Cu, Co, Zn, Pb, Bi, W, Sn, Te, Se, Ga, Ge, Mo, Hg, Sb.

Руда по минералогическим и технологическим свойствам большей частью отнесена к золото-серебро-сульфидно-оксидно-полиметаллическому типу с высоким содержанием благородных металлов. Состав отходов, в основном представлен силикатами, алюмосиликатами, оксидами, сульфидами, сульфосолями, карбонатами и самородными металлами железа, меди, свинца, цинка, серебра, золота, титана, фосфора и др. Основная часть из присутствующих минералов состоит из силикатной части (стекло, фаялит). Часть минералов лежалых отходов под воздействием атмосферных осадков и горения преобразовалось в различные типы соединений: гидроокислы, карбонаты, сульфаты, фосфаты, арсенаты, хлориды, бромиды, йодиды железа, кремния, натрия, кальция, меди, мышьяка, свинца; часть мелкого золота высвободилась из структуры сульфидов и др. минералов и укрупнилось.

Выявлены следующие минеральные формы благородных металлов: для серебра – самородное серебро, амальгама серебра, хлораргирит, бромаргирит, аргентит, гессит и др.; для золота – самородное золото, теллуриды золота, платиноиды виде субмикронных выделений рассеяны в халькопирите, борните и др. Сульфидах, частично связаны с самородным золотом.

Таким образом, рудные шлаки и медные клинкеры являются неоднородными по текстурно-структурным особенностям и вещественному составу, их можно отнести к смешанным промышленным типам руд.

1. *Турсебеков А.Х.* Минералого-геохимическая оценка сырьевых ресурсов эндогенных и техногенных месторождений Алмалыкского рудного района в связи с их комплексным освоением // Узб. геол. Журнал, № 4, 1998, с. 91-102.

2. *Санакулов К.С., Рахимов В.Р., Турсебеков А.Х.* Комплексные руды техногенных месторождений. Материалы Третьей Международной научно-практической конференции. Казахстан, Житыкара, 2005, с. 244-248.

**УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ЗОЛОТОНОСНОЙ
ГИДРОТЕРМАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ «ЛИСЬИ ГОРЫ», ЮЖНЫЙ
УРАЛ (ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИЗУЧЕНИЯ ФЛЮИДНЫХ
ВКЛЮЧЕНИЙ)**

Анкушева Н.Н., Зайков В.В.,

Ильменское отделение, ИМин УрО РАН
ankusheva@ilmeny.ac.ru, zaykov@ilmeny.ac.ru

**FORMING CONDITIONS OF THE GOLD-BEARING
HYDROTHERMAL SYSTEM “LIS’Y GORY”, THE SOUTH URALS
(ACCORDING TO STUDY OF FLUID INCLUSION)**

Ankusheva N.N., Zaykov V.V.

Ilmensky Reserve, IMin UB RAS
ankusheva@ilmeny.ac.ru, zaykov@ilmeny.ac.ru

Исследованная гидротермальная система «Лисьи горы» располагается на южном фланге Восточно-Магнитогорской палеоостровной дуги, которая сформировалась в девоне на периферии Уральского палеоокеана. Важными золотоносными структурами являются вулcano-тектонические депрессии, выполненные андезит-базальтовыми вулcanoгенными и вулcanомиктовыми породами (Анкушева и др., 2005). Гидротермальная система «Лисьи горы», включает три золотоносные зоны на определенных стратиграфических уровнях рудовмещающей толщи. В Восточной зоне (нижний уровень) развиты кварцевые жилы с окварцованными андезибазальтами основания толщи, Центральная зона (средний уровень) представлена прожилково-вкрапленной сульфидной минерализацией в кровле вулcanoгенной толщи, Западная (верхний уровень) – сульфидизированными и окварцованными вулcanомиктовыми песчаниками надрудной толщи. В перекрывающих кремнистых отложениях развиты гематит-кварцевые отложения, ассоциирующие с оксидно-марганцевыми рудами (рис. 1).

Исследование флюидных включений проведено в образцах жильного кварца из отвалов траншей, вскрывающих Западную и Восточную зоны, а также кварцевых жил в гематит-кварцевых постройках. Флюидные включения изучались методами криометрии и термометрии. Эксперименты проводились на микрокриотермостойке LINKAM THMSG-600 в лаборатории Института геологии и геохимии, г. Екатеринбург. По каждому из изученных образцов было проведено 50–60 измерений.

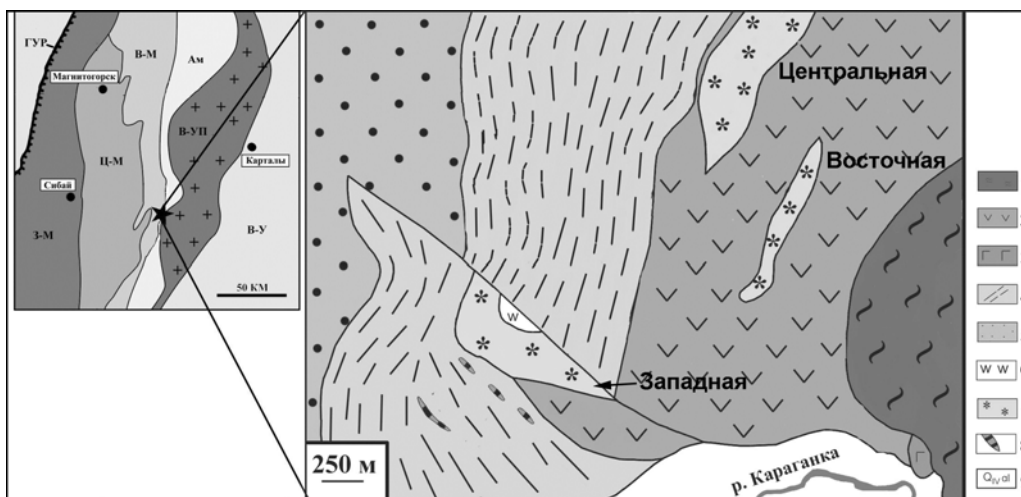


Рис. 1. Схематическая геологическая карта участка «Лисьи горы»: 1–3 – гумбейский вулканический комплекс: 1 – нижнегумбейская толща D_2gm^1 (базальты, кварциты, силициты), 2 – верхнегумбейская толща D_2gm^2 (андезибазальты пироксеновые и плагиоклаз-пироксеновые), 3 – габброиды субвулканические vD_2gm ; 4–5 – новобуранная свита: 4 – нижнебуранная толща D_2nb^1 (алевролиты, силициты, яшмы), 5 – верхнебуранная толща D_2nb^2 (песчаники, алевролиты); 6 – серицитовые кварциты; 7 – лимонитизированные, обохренные и окремненные породы с линзами бурых железняков; 8 – тела гематито-кварцевых пород; 9 – четвертичные отложения.

В Восточной зоне исследованы флюидные включения в прозрачном, крупнозернистом кварце, образующих однородные, светлые зерна. Первичные включения имеют размеры 20–30 мкм, плоские, вытянутые, часто со сложными очертаниями. Встречены двухфазные (прозрачная светлая жидкость и газовый пузырек) и, предположительно, трехфазные (CO_2) включения. Газовые пузырьки темные, крупные, достигающие 40–50 % объема включения. Криометрические исследования свидетельствуют, что растворы в них резко замораживались при температурах -27 – -35 °C и имеют температуры эвтектики $-17,2$ – -21 °C (результат 20 измерений). В составе растворов включений преобладает NaCl (Борисенко, 1977). При этом при замораживании газовых пузырьков некоторых включений появлялись фазовые границы жидкой углекислоты, которые постепенно исчезали при нагревании. Судя по относительно высоким температурам плавления последних кристалликов ($-0,3$ – $-3,4$ °C), содержание солей в них низкое: 0,5–5,5 %. Температуры гомогенизации включений составляют 260–274 °C (рис. 2). Кроме того, интересными являются наблюдения явлений гетерогенизации пар включений – при температурах 292,4, 265,3 и 260,6 °C. Возможно, данный интервал (260–290 °C) является интервалом значений истинных температур минералообразования на данном объекте.

В Западной зоне флюидные включения были найдены в кварце из отвалов траншей и жилок в силицитах. Первичные включения размерами 10–12 мкм достаточно редки, располагаются обособленно друг от друга, имеют округлую изометрическую или удлиненную форму, редко

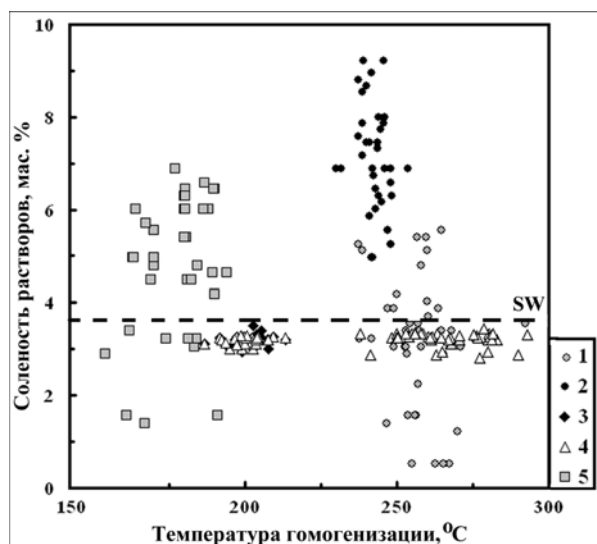


Рис. 2. Соотношение температур гомогенизации и солёности растворов флюидных включений в кварце поля «Лисьи горы»:
1 – Восточная зона (обр. 221-3); 2 – Западная зона (обр. Тр 20-5, 773-1, 803-1); 3 – подошва гидротермальной постройки (обр. 803-4); 4 – подводящий канал постройки (обр. 804-5); 5 – кровля постройки (обр. 804-1, 804-2, 804-4, 756-1).
SW – морская вода.

которых гомогенизировалось в газовую фазу, второе – в жидкую при температуре 248 °С. Это явление позволяет считать температуру гомогенизации истинной температурой минералообразования.

На завершающей стадии формирования данной гидротермальной системы формировались тела гематит-кварцевых пород, находящиеся на удалении от золотоносных зон и образующие холмообразные постройки с подводящими каналами (Зайкова, Зайков, 2003). Микрометрические исследования флюидных включений в кварце из всех уровней постройки (кровля, подошва, подводящий канал) позволили установить, что эти породы формировались при участии хлоридно-натриевых гидротермальных растворов с концентрациями солей 3–3,5 мас. % при температурах от 290 °С в подводящих каналах до 180 °С в кровле постройки.

Таким образом, гидротермальная минерализация различных стратиграфических уровней системы «Лисьи горы» имеет, в целом, схожие параметры растворов, что указывает на единый источник флюидов для гематит-кварцевых построек и золотоносных зон сульфидизированных андезибазальтов – морскую воду. Анализ флюидных включений в кварце из кварц-сульфидных жил золотоносных зон многоярусного гидротермального поля «Лисьи горы» показал, что в составе

ограниченные. Включения двухфазные – светлая жидкость и темный круглый газовый пузырек, занимающий 10–15 % объема включения. Криометрические исследования показали, что растворы замерзают в широком диапазоне температур: -38 – -53 °С. Единичные измерения температур эвтектики показали значения -21,7 – -22,1 °С, что соответствует NaCl с возможной добавкой KF или Na₂SO₄ (Борисенко, 1977). Концентрации солей составляют, главным образом, 5,3–9,2 % (температуры плавления последних кристалликов льда -3 – -6 °С). Нагревание флюидных включений выявило, что большая их часть гомогенизировалась при температурах 240–250 °С. В образце 803-1 замечен случай гетерогенизации пары включений, одно из

гидротермальных растворов изученных золотоносных зон с концентрациями солей 0,5–9,2 мас. % преобладает NaCl. Температуры гидротермальных систем, действовавших на дне палеобассейна, составляли 230–270 °С. Широкий интервал значений концентраций солей в растворах свидетельствует о возможном участии в гидротермальных системах магматогенных флюидов.

Исследования проведены при поддержке Министерства образования и науки (проект РНП.2.1.1.1840), интеграционного проекта УрО-СО РАН, РФФИ (№04-05-96017/p2004урал_a) и гранта молодых ученых и аспирантов УрО РАН.

1. Анкушева Н.Н., Зайков В.В., Юминов А.М., Новоселов К.А. Вулканизм и рудная минерализация на южном фланге Восточно-Магнитогорской палеоостровной дуги (Южный Урал) // Материалы Международного (X Всероссийского) петрографического совещания «Петрография XXI века». Т. 3. Петрология и рудоносность регионов СНГ и Балтийского щита. Апатиты, ГИ КНЦ РАН, 2005. С. 27-29.

2. Борисенко А.С. Изучение солевого состава растворов газово-жидких включений в минералах методом криометрии // Геология и геофизика № 8, 1977. С. 16-28.

3. Зайкова Е.В., Зайков В.В. Признаки придонного гидротермального происхождения железисто-кремнистых построек Магнитогорско-Мугоджарской островодужной системы Урала // Металлогения древних и современных океанов-03. Миасс: ИМин УрО РАН, 2003. С. 208–215.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ МИНЕРАЛОГИЯ РУДНОГО СЫРЬЯ

Бадалов С.Т.

Минералогическое общество Узбекистана, ИГГ АН Республики Узбекистан
badst@igg.edu

TECHNOLOGICAL MINERALOGY OF METAL ORES

Badalov S.T.

Mineralogical society of Uzbekistan,
Institute of Geology and Geophysics AS of Republic of Uzbekistan.
badst@igg.edu

Еще в XIX веке металлургам было хорошо известно, что в зависимости от методов обработки и переработки россыпей, содержание золота, выявленное пятью различными способами из одной усредненной пробы, могло колебаться от 0,4 до 117 г/т. При этом использовались методы от ручной промывки в лотках до металлургического передела в доменных печах. Столь резкое различие в содержании золота в россыпях возникло в связи с возможностями этих методов, т.к. каждый из них способен обнаружить золото только в строго определенной форме нахождения. Исходя из этого очевидно, что даже выявленные максимальные количества золота не могут соответствовать его абсолютному содержанию, т.к. даже в россыпях золото находится одновременно в различных своих формах нахождения, от видимых самородков до субмикроскопических и легко растворимых пиконаночастиц.

В связи с этим важнейшей задачей технологической минералогии является выявление всех возможных форм нахождения каждого ценного рудообразующего и редкого элемента с целью составления общего баланса их распределения. Это особенно касается наиболее рационального использования комплексного по составу минерального сырья, т.к. по существующим технологиям в отходах безвозвратно теряется весьма значительная часть не только главнейших рудных минералов (до 25-30 % и более), но и комплекса ценнейших редких элементов-примесей, находившихся в них. Эти потери нередко столь велики, что по своей ценности они сопоставимы с тем, что извлекается. В свое время (XIX век) Д.И.Менделеев считал, что "Главная цель передовой технологии отыскание способов производства полезного из бросового, бесполезного". При этом следует также учитывать возможности различных преобразований форм нахождения многих ценных элементов в технологическом цикле переработки руд вплоть до получения конечного

товарного продукта. Сложность использования новых научно-обоснованных направлений в развитии технологической минералогии заключается в очень большом разнообразии природных рудообразующих систем, в которых возникают промышленные концентрации большинства ценнейших элементов. По сути, почти каждое месторождение по многим минералого-геохимическим и технологическим особенностям уникально и не имеет себе полных аналогов. В связи с этим для каждого из них необходимо разрабатывать оригинальные методы добычи, обработки и переработки руд. Это особенно характерно для золоторудных месторождений, приуроченных к породам "черносланцевой" формации, в которых золото находится в основном в качестве элемента-примеси в таких минералах, как пирит и арсенопирит. В этом случае золото проявилось в своих халькофильных и биофильных формах нахождения. Даже при содержаниях более 1000 г/т в арсенопирите золото не образует в нем устойчивых минеральных форм с мышьяком.

При выявлении всех форм нахождения ценных элементов следует учитывать реальные возможности аналитических методов. В связи с этим крайне необходимо проводить контрольные анализы проб, но с помощью других более совершенных методов. Анализ распределения золота по минеральным формам в черных сланцах, изученных разными методами показывает, что в пирите связана только половина всего металла. Другая половина сосредоточена в арсенопирите, хотя его обычно в 4-6 раз меньше, чем пирита. Избирательное тяготение концентраций золота к арсенопириту обусловлено проявлением его халькофильности к мышьяку. Наиболее вероятными формами изоструктурного вхождения золота в этом случае являются FeAuS или AuAsS , при кларковых соотношениях золота к мышьяку как 1:425. Характерно, что если золото тяготеет к мышьяку в арсенопирите в 50 раз более интенсивно, чем серебро, то у серебра по отношению к сере в пирите связь также в 50 раз более интенсивная, чем у золота. В результате возникают пирит-арсенопиритовые руды, в которых фактически все золото изначально оказалось в этой синхронной паре минералов. Для наиболее полного и комплексного использования подобных руд существуют специальные методики, в которых с помощью тиосульфата аммония за несколько минут можно извлекать в раствор более 90% золота, тогда как при обычном выщелачивании извлекается около 50 % за 2 часа. Кроме самородного состояния золото образует свои минеральные формы более чем с 20 химическими элементами, а совместно с серебром тоже с 20 элементами.

Обладая и располагая почти всеми геохимическими свойствами золото активно участвует во многих природных системах, как косной, так и живой материи. У золота известны промышленные концентрации со многими химическими элементами, из которых наиболее значимые: с железом и марганцем, с сурьмой, мышьяком, медью и молибденом, ванадием, бором, вольфрамом, ураном и другими элементами, а также с

коллоидным кремнеземом, органическим веществом, гидрослюдами, с солями, карбонатами и др.

Золото, как моноизотоп, т.е. элемент, представленный единственным стабильным изотопом Au_{197} , очень легко активируется за счет различных причин (космическое и солнечное излучение и др.) с образованием изомера Au_{197m} с периодом полупревращения всего около 8 секунд. Почти все его минеральные формы нахождения, кроме самородной, являются малоустойчивыми. Все изменения форм нахождения золота зависят только от конкретных условий в тех природных системах, в которых оно оказалось. Эти изменения происходят и в процессах технологической переработки золотосодержащих руд, что приводит нередко к весьма значительным его потерям.

Таким образом, технологическая минералогия должна стать одним из важнейших направлений в технологии XXI века. Без учета всех особенностей ее использования технологические работы не могут считаться полноценными и рациональными. Только с помощью приемов технологической минералогии возможно резкое снижение потерь ценнейших элементов при процессах переработки руд вплоть до получения конечного продукта.

КРИСТАЛЛОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ХРОМШПИНЕЛИДОВ ПО ДАННЫМ ОПТИЧЕСКОЙ СПЕКТРОСКОПИИ

Бахтин А.И., Лопатин О.Н., Николаев А.Г., Сабиров А.М.

Казанское отделение. Казанский государственный университет
Anatoly.Baktin@ksu.ru, Oleg.Lopatin@ksu.ru, Anatolij-Nikolaev@yandex.ru,
Azat-Sabirv@rambler.ru

CRYSTAL-CHEMICAL PROPERTIES OF CHROMOSPINELIDES BY THE DATA OF OPTICAL SPECTROSCOPY

Bakhtin A.I., Lopatin O.N., Nikolaev A.G., Sabirov A.M.

Kazan branch. Kazan State University
Anatoly.Baktin@ksu.ru, Oleg.Lopatin@ksu.ru, Anatolij-Nikolaev@yandex.ru,
Azat-Sabirv@rambler.ru

Хромшпинелиды являются единственным минеральным источником хрома. Они одни из распространенных типоморфных минералов ультраосновных пород. В гарцбургитах, лерцолитах, верлитах, вебстеритах, клинопироксенитах и других петрографических разностях гипербазитов хромшпинелиды содержатся в акцессорных количествах (0,5-4 %), нередко образуя повышенные концентрации в дунитах до 10 %, а также являются главными минералами хромитовых руд (Магматические..., 1988; Макеев, 1992). По кристаллохимии хромшпинелидов можно судить о генезисе ультрабазитов и связанного с ними хромитового оруденения (Макеев, 1992).

В данной работе изучались кристаллохимические особенности хромшпинелидов из офиолитовых комплексов Урала методом электронной оптической спектроскопии поглощения. Ранее этим методом изучались только хромшпинелиды из глубинных ксенолитов в кимберлитах (Мацюк, 2001). Образцы для изучения были отобраны из Аркашорского, Косшорского, Лекхойлинского I месторождений и Бурхойлинского, Вороновского рудопроявлений хромита дунит-гарцбургитового комплекса пород северной части Войкаро-Сыньинского массива. Запись оптических спектров поглощения велась в диапазоне длин волн 400 – 800 нм, с интервалом 2 нм, на специализированной оптико-спектроскопической установке на базе микроскопа МИН-8. Препараты для исследования изготавливались в виде полированных петрографических шлифов толщиной 0,01 – 0,04 мм. На просвет препараты хромитов имели красноватые тона. Всего снято более 100 спектров.

По особенностям конфигураций спектров хромшпинелидов (рисунок) можно сказать, что в ультрафиолетовой части спектра имеется интенсивная полоса поглощения. Эта полоса связана с механизмом переноса заряда лиганд $\rightarrow$ металл ($O^{2-} \rightarrow Fe^{3+}, Fe^{2+}$) (Мацюк, 2001, Платонов 1976), а длинноволновой край этой полосы протягивается в видимую часть оптического спектра. Интенсивность этой полосы в основном определяется концентрацией ионов Fe^{3+} . В оптических спектрах выявлены две полосы поглощения, которые объясняются спинразрешенными переходами в ионах трехвалентного хрома в октаэдрическом окружении. Первый переход ${}^4A_{2g}({}^4F) \rightarrow {}^4T_{2g}({}^4F)$ дает полосу 560 нм, а второй переход ${}^4A_{2g}({}^4F) \rightarrow {}^4T_{1g}({}^4F)$ – 420 нм. Вторая полоса поглощения менее интенсивная, чем первая и наблюдается не во всех спектрах. В ближней инфракрасной области имеется полоса поглощения, которая протягивается в видимую часть спектра, и по своей природе она обязана спинзапрещенным переходам ионов Fe^{3+} в октаэдрах. Дополнительно на эту полосу поглощения накладывается более интенсивное поглощение по спину d-d перехода в ионах Fe^{2+} в октаэдрах. В районе 480 нм наблюдается слабая полоса поглощения, объясняемая спинзапрещенными d-d переходами в ионах двухвалентного железа, которые занимают в структуре минерала тетраэдрические позиции (Мацюк, 2001; Платонов 1976). По результатам исследований хромшпинелидов можно выделить три основные конфигурации оптических спектров (рисунок).

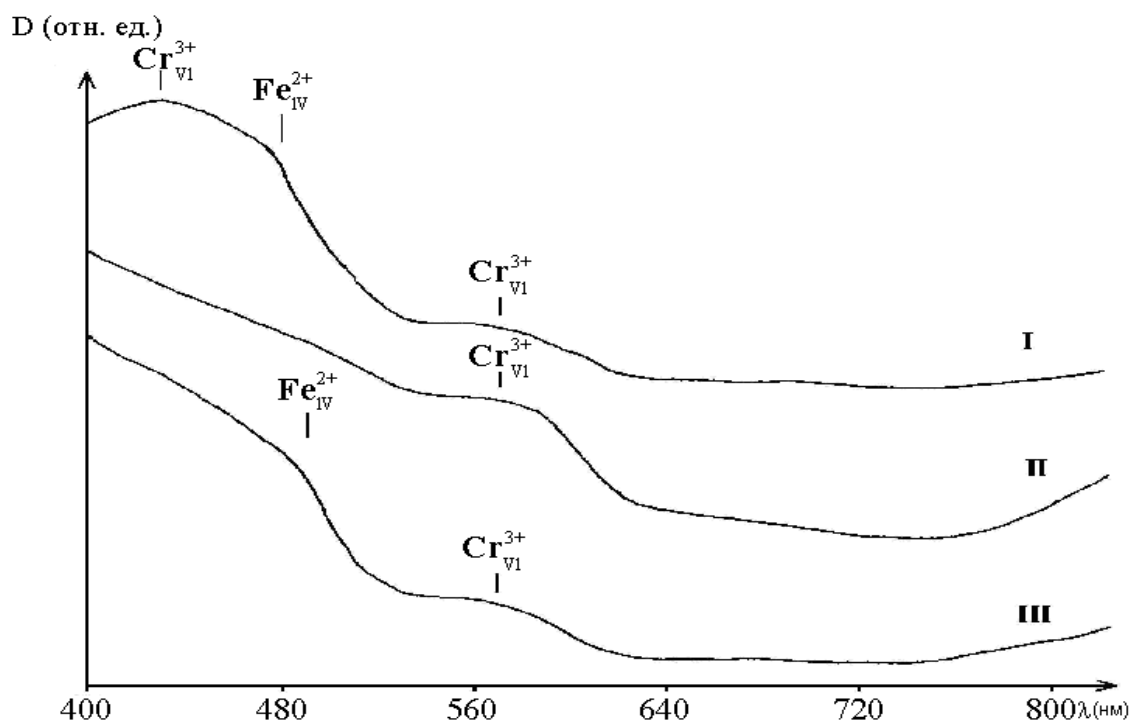


Рис. Типы оптических спектров поглощения хромшпинелидов

Для выявления генетических особенностей хромшпинелидов были использованы значения D_λ - величины оптической плотности на определенных длинах волн. Отношение D_{800}/D_{730} характеризует относительную концентрацию двухвалентного октаэдрического железа и, в меньшей мере, трехвалентного железа, отношение D_{560}/D_{540} определяет концентрацию ионов Cr^{3+} в октаэдрическом окружении. Также берется отношение D_{480}/D_{800} для определения относительного распределения Fe^{2+} по катионным октаэдрическим и тетраэдрическим позициям. Параметр D_{400}/D_{480} можно использовать для определения относительного содержания трехвалентного железа.

При анализе полученных данных выявлено, что все три типа конфигурации оптических спектров были типичны не только для всех рудных тел, а также в разных зернах на одном препарате. Исходя из этого, можно говорить о сложности и многоэтапности образования рудных тел. При этом установлена общая тенденция: при увеличении параметра D_{800} - параметр D_{480} уменьшается. Таким образом, вероятно, часть хромшпинелидов имеет обращенную структуру, что может свидетельствовать о метаморфическом их преобразовании.

Профильная съемка оптических спектров проводилась в отдельных зернах шпинелидов - от края до края зерна для получения представления об общих изменениях оптико-спектроскопических параметров хромшпинелидов. Общая тенденция их изменения такова: хром и двухвалентное железо имеют максимальные концентрации в центре зерна, а к краям они уменьшаются. Кроме того, в некоторых образцах имеется тенденция перераспределения двухвалентного железа из тетраэдрического окружения в октаэдрическое от центра к краю зерна.

1. Магматические горные породы. Ультраосновные породы. М.: Наука, 1988. 508 с.

2. *Макеев А.Б.* Минералогия альпинотипных ультрабазитов Урала. СПб.: Наука. 1992. 197 с.

3. *Мацюк С.С., Зинчук Н.Н.* Оптическая спектроскопия минералов верхней мантии. М.: Недра. 2001. 432 с.

4. *Платонов А.Н.* Природа окраски минералов. Киев: Наукова думка. 1976. 284 с.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ МИНЕРАЛОГИЯ ГРАНАТСОДЕРЖАЩИХ СЛАНЦЕВ ПРОЯВЛЕНИЯ ВЫСОТА-181

Бубнова Т.П., Гаранжа А.В.

Карельское отделение. Институт геологии КарНЦ РАН
bubnova@krc.karelia.ru

TECHNOLOGICAL MINERALOGY OF THE GARNET-BEARING SCHISTS IN THE MINERAL OCCURRENCE “VYSOTA-181”

Bubnova T.P., Garanja A.V.

Karelian branch. Institute of Geology KarRC RAS
bubnova@krc.karelia.ru

Проявление Высота-181 расположено на севере Карелии и его изучение связано с возможностью получения гранатового продукта для различных направлений использования (абразивный, фильтрационный материал). В целом участок имеет сложноскладчатую структуру, представленную перемежающимися сланцами и амфиболитами. Гранат здесь входит в минеральный парагенезис практически всех разновидностей горных пород (табл. 1). На отдельных участках встречаются прослойки, содержащие до 60 % граната.

Таблица 1.

**Минеральный состав природных типов гранатовой руды
на проявлении «Высота-181» (%)**

Минерал	Природные типы пород								
	ставролит-кианит-гранатовый сланец			кианит-гранат-слюдистый сланец			гранатовый амфиболит		
	макс.	мин.	среднее	макс.	мин.	среднее	макс.	мин.	среднее
Гранат	35,50	13,40	21,50	29,70	13,20	20,35	16,00	12,00	13,8
Кианит	30,00	14,40	22,47	18,70	0,00	11,45	0,00	0,00	0,00
Ставролит	13,00	0,00	4,73	5,10	0,00	1,97	0,00	0,00	0,00
Кварц	47,50	31,70	42,00	61,20	41,20	49,67	24,00	8,10	12,2
Плагиоклаз	8,00	0,20	4,13	16,60	0,00	9,77	7,90	2,90	5,00
Мусковит	2,10	0,50	1,50	4,70	0,10	1,97	0,01	0,00	0,0005
Биотит	1,50	0,10	0,63	5,60	0,10	3,12	0,50	0,30	0,40
Рудные	4,20	1,20	2,33	1,50	0,20	0,92	0,70	0,00	0,50
Хлорит	0,40	0,10	0,27	0,10	0,10	0,10	0,50	0,10	0,30
Турмалин	0,20	0,00	0,07	0,60	0,00	0,22	0,00	0,00	0,00
Рутил	0,70	0,10	0,40	0,90	0,10	0,45	0,10	0,00	0
Карбонат	0,30	0,00	0,13	0,10	0,10	0,10	0,00	0,00	0,1
Амфибол	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,00	69,35	58,41	67,8

Таблица 2

Параметры элементарной ячейки граната

Порода	$a \pm \Delta a$
Кианит-гранат-сланцевый сланец	11.5385±0.0003
	11.5640±0.0030
Гранатовый амфиболит	11.5643±0.0003
Стандарт - альмандин	11.529±0.001
Стандарт - альмандин-спессартин	11.570±0.002

Таблица 3

Состав основных породообразующих минералов проявления Высота-181

Минерал	Порода	Содержание оксидов, %							
		SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	K ₂ O
Гранат	Кианит-гранат-сланцевый сланец	39,90		20,71	31,88	0,62	3,09	6,18	
	ставролит-кианит-гранатовый сланец	34,13		21,75	40,33	0,60	1,51	1,17	
	Гранатовый амфиболит	37,24		20,93	28,04	2,31	2,39	8,75	
Биотит	Кианит-гранат-сланцевый сланец	39,15	1,66	21,79	16,42		11,82		8,87
	Гранатовый амфиболит	38,85	1,99	20,23	17,81		11,71		8,84
Плагиоклаз	Кианит-гранат-сланцевый сланец	49,23		31,21	0,03			14,01	0,10
	Гранатовый амфиболит	59,51		24,14	0,01			6,51	0,11
Амфибол	Гранатовый амфиболит	43,24	0,69	15,75	20,75	0,07		11,45	0,07

Рентгеноструктурный анализ подтвердил, что гранат представляет собой переходную разновидность - альмандин-спессартин (табл. 1) с кристаллохимической формулой:

$(\text{Fe}_{2.15}\text{Ca}_{0.53}\text{Mg}_{0.37}\text{Mn}_{0.004})_{3.09}\text{Al}_{1.97}\text{Si}_{2.98}\text{O}_{12}$ (гранат из кианит-гранат-слюдистого сланца),

$(\text{Fe}_{1.88}\text{Ca}_{0.75}\text{Mg}_{0.258}\text{Mn}_{0.157})_{3.06}\text{Al}_{1.97}\text{Si}_{2.98}\text{O}_{12}$ (гранат из гранатового амфиболита).

Рентгеноспектральный микроанализ позволил определить состав основных минералов (табл. 2), на основании чего по минеральному парагенезису произведен расчет условий минералообразования с определением примерных интервалов температур – 554-580°C и давлений – 6-8 кБар. Следовательно, РТ-параметры метаморфизма не превышали условий ставролитовой фации, о чем также свидетельствует наличие в породах ставролита, присутствие хлорита и голубовато-зеленые цвета плеохроизма амфибола.

В целом, гранат имеет изометрическую форму и достаточно большой разброс размеров зерен – от 0,2 до 50 мм. В отдельных случаях, при локальных деформациях, его форма существенно отличается от общепринятой, а именно, - кристаллы вытянуты или уплощены по одной из осей. Часто наблюдается большое количество включений в гранате, в основном это кварц, а также биотит, плагиоклаз, рутил, амфибол, рудные.

В гранатсодержащих сланцах промышленную ценность могут представлять также ставролит, кварц, кианит, в связи с чем необходимо решить проблемы эффективного разделения этих минералов.

СЕЛЕКТИВНЫЕ СПОСОБЫ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ГОРЮЧИХ СЛАНЦЕВ ВОЛЖСКОГО БАССЕЙНА С ЦЕЛЮ ПОВЫШЕНИЯ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ И ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Букина Т.Ф.¹, Яночкина З.А.¹, Илясов В.Н.²

Саратовское отделение.¹НИИЕНСГУ. bukina_tf@land.ru;

²ООО Перелюбская горная компания

SELECTIVE MEANS TO MINE THE OIL SHALES OF VOLZHSKY BASIN WITH AIM TO INCREASE ECONOMIC AND ECOLOGICAL EFFECTIVENESS OF THEIR USE

Bukina T.F.¹, Yanochkina Z.A.¹, Ilyasov V.N.²

Saratov branch. ¹Scientific Research Institute for Natural Science, Saratov State University;

²LLC Perelyub Mining Company

Исследование закономерностей развития Волжского сланцеродного палеобассейна поздней юры, в котором проходило формирование продуктивных толщ, позволило установить, что практически каждый из пластов Коцебинского, Перелюбского и других месторождений имеют индивидуальные особенности, связанные с эволюционной направленностью процессов седиментогенеза (Кулева, Яночкина, Букина и др. 2004). В связи с тем, что горючие сланцы представляют собой генетически обусловленную смесь органического вещества (ОВ), биогенных карбонатов и алюмо-силикатной составляющей, для их изучения были привлечены литолого-петрографические и нанопетрографические наблюдения, химико-спектральные исследования, а также другие прецизионные методы. Выделение ОВ путем деминерализации керогена, его исследование с помощью рентгеноструктурного анализа и ИКС (инфракрасной спектроскопии), выявило существенные различия продуктивных пластов.

Данными дифрактометрии и ИКС подтверждается плохая сохранность ОВ в пластах низкого качества. Слабо выражены на дифрактограммах пики 4,8 ангстрема, а на кривых ИК-спектров исчезают полосы поглощения в области $2800-3000\text{ см}^{-1}$. Сравнение данных попластного исследования керогена на Перелюбском месторождении, по материалам опорной скважины № 559, отражает худшую сохранность ОВ в пластах II (83,8-85,2 м) и VII, (119-121 м), при относительно низком его содержании – 27-31 % и 15-21 %, что сопоставимо с данными петрографических и нанопетрографических исследований. Степень сохранности ОВ определяется, по-видимому, неблагоприятными

условиями его захоронения в осадках, как на стадии седиментогенеза в условиях впадин с углекислотным заражением, так и на стадии раннего диагенеза в окислительно-восстановительных обстановках. Лучшую сохранность имеет кероген в пласте IV (94-97,2 м) с содержанием ОВ 36-59 %, а также в пласте I (78,56-79,9 м), где ОВ составляет 34-54 %, что подтверждается выраженностью соответствующих рефлексов на дифрактограммах и полос поглощения в ИК-спектрах. Эти особенности керогена обуславливают высокую теплотворную способность рассматриваемых горючих сланцев – более 3000 ккал/кг, в то время как в сланцах относительно низкого качества она может снижаться до 1000 ккал/кг.

Совместная добыча и переработка различных по качеству пластов горючих сланцев (ГС) и слабое использование межпластовых пород приводит к неоправданному усложнению технологических процессов, к необходимости обогащения керогена низкокачественных сланцев, складирования вмещающих глин в виде терриконов, загрязняющих окружающую среду. Скважинная селективная добыча сырья из пластов с определенными характеристиками имеет явные преимущества, о которых авторы неоднократно упоминали в своих публикациях. (Букина, Яночкина, 2002; Илясов, Яночкина, Букина, 2005 и др.).

Извлечение горючих сланцев осуществляется с помощью экспериментальной буровой установки для добычи твердых полезных ископаемых из тонких продуктивных пластов наклонно-горизонтальными скважинами (патенты В.Н.Илясова: 2002 г. № 2236537; 2003 г. №33968) Совершенствование способов извлечения определенных пластов ГС проводилось на многопластовом Коцебинском месторождении. Результатом работ был подъем на поверхность высококачественных сланцев первого пласта. Для дальнейшей разработки месторождения проведено перемещение буровой добывающей установки на значительное расстояние, подтвердившее ее мобильность.

Методика селективного извлечения ГС для оценки их качества позволит устранить ряд недостатков анализа усредненных технологических проб, когда определялись свойства керогена в ГС различного качества, смешанных с межпластовыми сапропелевыми глинами. Индивидуальные пробы керна должны быть строго «привязаны» к определенным частям разрезов на основе литолого-геохимических и биостратиграфических данных, а для каждого пласта разработана оптимальная схема комплексирования методов исследования, необходимых для получения характеристики минеральной и органической части пород. Эффективность последующей добычи ГС будет определяться качеством полученной информации (Иванов, Яночкина, Букина, Неручев, Илясов, 2003), научным сопровождением и контролем всех осуществляемых операций.

Совет экономического развития Саратовской области считает комплексное освоение месторождений ГС Поволжья одной из приоритетных задач. В настоящее время ведутся подготовительные работы для начала промышленной добычи с последующей комплексной переработкой ГС с целью получения сырья для предприятий энергетики, химической промышленности, производства медицинских и ветеринарных препаратов, гербицидов, удобрений для сельского хозяйства. Интересным вариантом возможного использования ГС в заволжских регионах является создание местных промышленно-отопительных котельных установок на предприятиях строительной индустрии с последующей переработкой зольного остатка на тех же производствах.

Вовлечение в хозяйственную деятельность региона разведанных, но не востребуемых до настоящего времени месторождений горючих сланцев (комплексного органо-минерального сырья) будет обеспечено внедрением экономически выгодных и экологически безопасных подземных технологий добычи и комплексной переработки селективно извлеченных пластов.

Поскольку запасы сланцевой нефти - это крупнейший нетрадиционный потенциальный ресурс углеводородного сырья, превышающий запасы природной нефти, Волжский бассейн, является самым перспективным в России для получения больших количеств топливных и химических продуктов. Селективная разработка сырья и попутное использование вмещающих пород обеспечит одновременно сохранение окружающей среды от влияния твердых, жидких и газообразных отходов сланцепереработки.

1. Кулева Г.В., Яночкина З.А., Букина Т.Ф., Иванов А.В., Барышникова В.И., Троицкая Е.А., Еремин В.Н. Разрез верхнеюрских сланценозных отложений Волжского бассейна (зона *Dorsoplanites panderi*). Саратов, Изд-во «Научная книга», 2004 – 110 с. (Труды НИИГео СГУ им. Н.Г.Чернышевского. Новая серия. Том XVII).

2. Букина Т.Ф., Яночкина З.А. Юрские горючие сланцы- комплексное энерготехнологическое сырье. //Тез. докл. Научно-практической региональной конференции. Октябрь 2002 г. «Геолого-экономические перспективы расширения минерально- сырьевой базы Поволжского и Южного регионов Российской Федерации и пути их реализации в 2003-2010 г.г. С. 124-126.

3. Илясов В.Н., Яночкина З.А., Букина Т.Ф. О возможностях селективной добычи горючих сланцев Волжского бассейна (на примере Коцебинского месторождения) // Тезисы Научно-практической региональной конференции «Стратегия развития минерально-сырьевого комплекса Приволжского и Южного Федеральных округов на 2006 и последующие годы» 24-26 мая 2005 г. Саратов: НВНИИГГ, 2005. С.146-147.

4. Иванов А.В., Яночкина З.А., Букина Т.Ф., Неручев С.С., Илясов В.Н. Комплексное энергохимикотехнологическое сырье Волжского сланценозного бассейна как альтернатива современным источникам энергоносителей, химического и технологического сырья.// Известия высш. Учебн. Завед. «Геология и разведка», №6, 2003 г.С. 60-63.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ РЗЭ В ШЕЕЛИТЕ ЗОЛОТОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Викентьева О.В.

Московское отделение. ИГЕМ РАН. viken@igem.ru

DISTRIBUTION OF REE IN SCHEELITES OF GOLD ORE DEPOSITS

Vikentyeva O.V.

Moscow branch. IGEM RAS. viken@igem.ru

Распределение РЗЭ изучено методом ICP-MS в шеелите крупных золоторудных месторождений: Березовского на Урале и Нежданинского на Северо-Востоке России. Шеелит из кварц-сульфидных жил Березовского месторождения образует друзовидные агрегаты оранжевого цвета в ассоциации с кварцем, пиритом, блеклой рудой, карбонатами. Состав минерала близок стехиометрическому, сумма содержаний элементов-примесей (Mo, Fe, Mn, Sr, Cu) не превышает 1 мас.% (Шагалов, 1998). Суммарные содержания РЗЭ в шеелите составляют 713-1551 г/т (рисунок). Для него характерно обеднение легкими лантаноидами ($La_n/Yb_n=0,48-0,89$), наличие отрицательных аномалий Ce ($Ce/Ce^*=0,3-0,4$) и незначительных положительных аномалий Eu ($Eu/Eu^*=1,4-1,6$).

Шеелит Нежданинского месторождения представлен двумя генерациями: ранний, желтовато-белый, ассоциирует с арсенопиритом, реже галенитом и сфалеритом, поздний, оранжевый, образует совместные выделения с регенерированным кварцем и карбонатами ряда доломит-сидерит (Гамянин и др., 2000). Отличительная особенность минерала – отсутствие примеси молибдена и высокие концентрации стронция. Шеелит I обогащен легкими лантаноидами ($La_n/Yb_n=7,5-11,8$), в нем обнаружены положительные аномалии как Eu ($Eu/Eu^*=4,0-10,4$), так и Ce ($Ce/Ce^*=1,1-1,2$). Суммарные содержания РЗЭ составляют 1101-1642 г/т. Поздний шеелит отлагался вслед за образованием кварца этого этапа. Для шеелита II содержания РЗЭ (30,8-61,2 г/т) значительно ниже, чем в раннем шеелите; $La_n/Yb_n=2,4-9,2$. Для него характерно наличие положительных аномалий Eu (6,2-38,8) и отрицательных Ce (0,6-0,7).

На основе экспериментальных данных показано, что при обогащении флюида щелочными элементами, они замещают кальций в шеелите. В этом случае коэффициент разделения выше для средних лантаноидов, чем для легких и тяжелых, что отражается в выпуклом спектре РЗЭ. Баланс заряда обеспечивает Na. При отсутствии щелочных элементов баланс заряда обеспечивается вакансией Ca и выражается линейными спектрами РЗЭ.

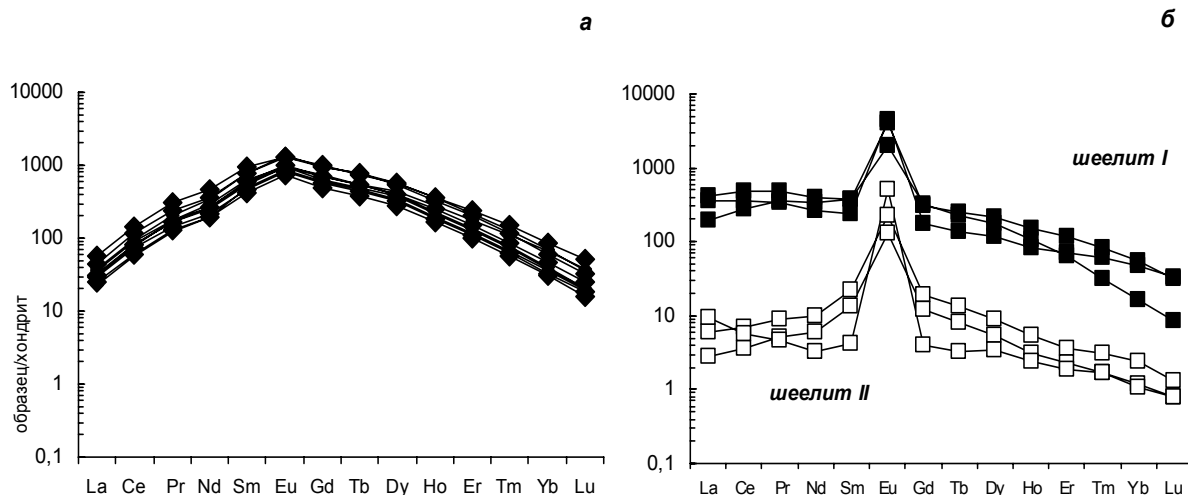


Рис. Распределение РЗЭ в шеелите Березовского (а) и Нежданинского (б) месторождений.

Шеелит Березовского месторождения кристаллизовался из РЗЭ-обедненного флюида ($La_n/Yb_n < 1$). Вхождение лантаноидов в структуру шеелита происходило по схеме $2Ca^{2+} = REE^{3+} + Na^+$, свидетельствуя о высокой активности Na в растворе. Низкие отношения Eu/Eu^* предполагают присутствие Eu преимущественно в форме Eu^{3+} и кристаллизацию минерала из относительно окисленного средне-низкотемпературного ($< 250^\circ C$) флюида.

Шеелит Нежданинского месторождения кристаллизовался из РЗЭ-обогащенного флюида ($La/Yb > 1$). Вхождение лантаноидов с кристаллическую решетку минерала происходило по схеме $3Ca^{2+} = 2REE^{3+} + T_{Ca}$ (Ghaderi et al., 1999). Высокие отношения Eu/Eu^* отвечают низким отношениям Eu^{3+}/Eu^{2+} во флюиде, т.е. Eu присутствует в форме Eu^{2+} , что указывает на кристаллизацию шеелита из относительно восстановленного высокотемпературного флюида ($> 250^\circ C$). Значительная положительная аномалия европия ($Eu/Eu^* = 38,8$) в шеелите II (обр.13/6-29) свидетельствует о кристаллизации из восстановленного флюида и/или флюида с положительной аномалией европия. Вариации составов шеелита одной генерации, отражающиеся на форме спектра (выпуклый спектр с $Gd/Yb > La/Yb$ и пологий спектр с $La/Yb > Gd/Yb$), вероятно зависят от состава флюида и форм переноса РЗЭ во флюиде.

Исследования выполнены при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект 05-05-64803) и Президента РФ (грант МК-510.2006.5).

БЛАГОРОДНОМЕТАЛЬНАЯ МИНЕРАЛИЗАЦИЯ ЗОЛОТЫХ РУД ВАСИЛЬЕВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (ЕНИСЕЙСКИЙ КРЯЖ)

Григорьева А.В., Дубровская И.В.

Московское отделение. ИГЕМ РАН
grig@igem.ru, divette@mail.ru

MINERALIZATION OF PRECIOUS METALS IN GOLD-BEARING COMPLEX ORES OF VASILYEVSKY DEPOSIT (ENISEYSKY RIDGE)

Grigoryeva A.V., Dubrovskaya I.V.

Moscow branch. IGEM RAS
grig@igem.ru, divette@mail.ru

Месторождение находится в северо-западной части «золотого пояса», окаймляющего Сибирскую платформу и является одним из крупнейших золотых месторождений Енисейского кряжа. Проблема благороднометалльного оруденения руд месторождений «золотого пояса» до настоящего времени является дискуссионной. В литературе, посвященной этой проблематике, стали появляться противоречивые цифровые данные, которые для одного и того же месторождения констатировали либо полное отсутствие платиновых металлов, либо их количество определялось в более чем десятках г/т. Такое положение дел говорит о недостаточной достоверности приводимых результатов и ставит перед исследователями задачу более точных аналитических определений и выявления форм нахождения МПГ. Так, например, по месторождениям Зун-Холбинскому, Васильевскому, Олимпиадинскому и другим, приводятся данные по содержаниям платины от 1,3 до 36,6 г/т и палладия от 0,05 до 10,3 г/т, а в гравитационных концентратах до 50 г/т платины (Коробейников, 2005 и др.).

Исследования особенностей минерального состава руд Васильевского месторождения проводилось в связи с оценкой возможного распределения Pt-металлов в рудах. В работе С.С.Сердюка и Ю.Е.Комаровского (2002 г) приводятся данные, полученные в Красноярской государственной Академии цветных металлов и золота: Pt – около 100 г/т; Pd – 200 г/т (проба отобрана из жилы Васильевская-IX).

В геохимическую лабораторию ИГЕМ РАН поступил материал, отобранный на Васильевском месторождении из тех же отложений. Задачи исследования состояли в проведении химических и химико-спектральных анализов определения МПГ, а также в изучении “ультратяжелых” концентратов электронномикроскопическими методами с определением состава исследуемых зерен.

Результаты химического анализа проб на МПГ

№ п/п	№ пробы	МПГ, г/т	
		Pt	Pd
1	2198	0,03	0,20
2	2199	<0,03	0,05-0,10
3	2200	<0,03	0,12
4	2201	<0,03	0,10
5	2202	<0,03	0,07
6	2203	<0,03	0,07-0,10
7	К-1	0,03	0,10
8	К-2	0,03	0,10
9	К-3	0,03	0,13
10	К-4	0,03	0,05
11	К-5	0,03	0,05

Приведенные результаты показывают, что содержание платины незначительно, а содержание палладия достигает 0,10-0,20 г/т, что можно расценить, как значимые цифры. Определения, полученные разными методами плохо воспроизводятся, повторяется ситуация, характерная для многих подобных объектов. Очевидно, что для определения присутствия металлов платиновой группы необходимо выявление их форм нахождения в пробах. Только после этого возможно выбрать аналитическую методику для определения их содержаний.

В ИГЕМ РАН была сделана попытка выявления форм нахождения МПГ: для этой цели исследовались “ультратяжелые” фракции золотосодержащих пород с помощью электронной микроскопии. Подтвердилась тесная генетическая связь золотого оруденения с сульфидной минерализацией. Золото часто присутствует в виде сростков с пиритом, галенитом, арсенопиритом (рисунок).

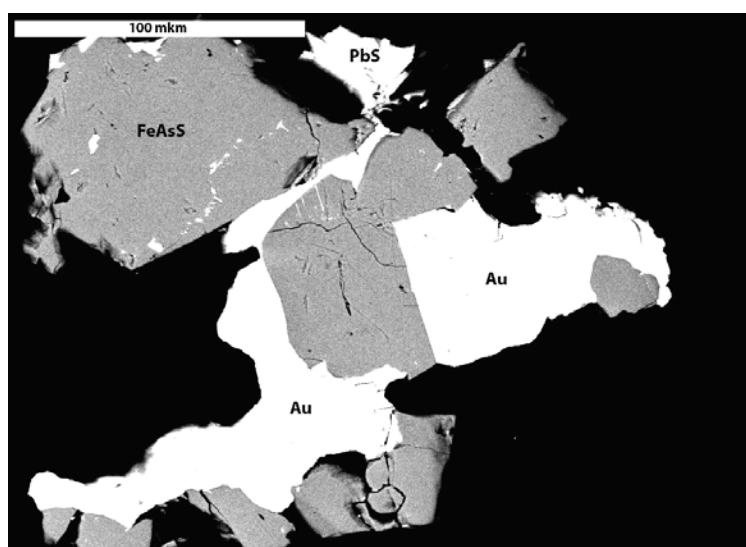


Рис. Сросток золота с галенитом и арсенопиритом.

Кроме того, значительную часть “ультратяжелой” фракции составляют соединения золота с серебром, где содержание серебра варьирует в широких пределах: от 0 до 95 % (табл. 2). Измерения проводились с помощью энергодисперсионной приставки Kevex. В таблице 2 представлены результаты измерений в одном из зерен, имеющем поликомпонентный состав.

Количественная оценка гетерогенных соединений по отношению к самородному золоту не проводилась, однако присутствие таких образований является минералогической особенностью, характеризующей источник благороднометального оруденения.

Таблица 2

Элементный состав гетерогенного соединения

№ точки	Au, масс.%	Ag, масс.%	Pd, масс.%	S, масс.%	Pb, масс.%
t1	37	63	-	-	-
t2	32	56	-	12	-
t3	23	72	-	5	-
t4	15	81	-	4	-
t5	-	26	1	11	62

Наличие металлов платиновой группы в составе “ультратяжелой” фракции в виде самостоятельных минеральных фаз не обнаружено. Тем не менее, выявлено присутствие Pd в галените. В составе представленного выше гетерогенного соединения также установлено присутствие высокой концентрации серебра, весьма вероятно, что кроме галенита в состав этого соединения входят свинцово-серебряные сульфиды (табл.2).

Исходя из полученных результатов, можно сделать следующие выводы:

- в рудах Васильевского месторождения в части проб установлено присутствие Pd;
- обнаруженные Pd-содержащие фазы, связаны с галенитом, возможно, они являются твердыми растворами в галените;

Исследование форм нахождения МПГ в золоторудных комплексах Васильевского и других месторождений «золотого пояса» является целью дальнейших исследований авторов.

**КОМПЛЕКСНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТИПОМОРФНЫХ СВОЙСТВ
КВАРЦА ПРИ ПРОГНОЗИРОВАНИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ
ПОКАЗАТЕЛЕЙ И ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА КВАРЦЕВОГО СЫРЬЯ**

Данилевская Л.А.

Карельское отделение. Институт геологии КарНЦ РАН. danilevs@krc.karelia.ru

**COMPLEX STUDY OF TIPOMORPHIC PROPERTIES OF QUARTZ
TO FORECAST TECHNOLOGICAL PARAMETERS AND EVALUATE
QUALITY OF THE RAW QUARTZ MATERIAL**

Danilevskaya L.A.

Karelian branch. Institute of Geology KarRC RAS. danilevs@krc.karelia.ru

Традиционно качество кварцевого сырья оценивается по существующим ГОСТам и ТУ на различные виды кварцевой продукции, где лимитируются содержания элементов-примесей, коэффициента светопропускания, высокотемпературной воды, минеральных примесей и влаги. Однако зачастую этих данных бывает недостаточно, чтобы уверенно прогнозировать положительный результат опытных плавок, как правило, дорогостоящих. В связи с этим изучение комплекса типоморфных свойств кварца составляет важную предварительную стадию определения обогатимости кварцевого сырья, корректировки технологических схем его переработки и отбраковки труднообогатимого сырья.

Содержание элементов-примесей в кварце является одной из самых важных характеристик качества кварцевого сырья. Суммарные значения примесей строго регламентируются ТУ как для глубоко обогащенного, так и для предварительно обогащенного сырья. Наиболее жесткие требования предъявляются к плавочным видам кварца, содержание элементов-примесей в них не должно превышать 20-30 ppm. По данным изучения кварцевого сырья Карелии по содержанию элементов-примесей наиболее чистым природным сырьем является перекристаллизованный, гранулированный жильный кварц и интенсивно рекристаллизованный жильный кварц. Жильный кварц, образованный в условиях зеленосланцевой фации метаморфизма, характеризуется повышенными концентрациями Al, Na, K, Ca, которые связаны в основном с минеральными примесями и газовой-жидкими включениями, но в тоже время в данном кварце наблюдаются низкие содержания Li и Ti. Наиболее минерализованные и соответственно наиболее загрязненные природные типы кварца – керамические пегматиты, метасоматиты, кварциты и сливные кварциты.

Структурно-текстурные особенности кварца существенно влияют на технологические свойства кварца, особенно в процессах дробления и измельчения, так как они определяют прочностные свойства кварца (твердость, дробимость). Важными типоморфными признаками являются субструктуры метабазиса кварца (Кораго, Козлов, 1988), которые характеризуют интенсивность проявленных метаморфических процессов и степень дефектности кварцевых зерен. Возрастание степени деформации приводит к увеличению неоднородности структуры самих зерен кварца, что в результате играет негативную роль в процессах дезинтеграции при рудоподготовке, т.к. возникающая аморфизация кварца в участках микродефектов обладает повышенной сорбцией, растворимостью и концентрирует кислородные электронно-дырочный центры (ЭДЦ). Кроме того, с увеличением дефектности увеличивается растворимость кварца в сильных кислотах, а также при плавлении кремнезема состояния напряжения в кварце способствуют более быстрому образованию фазы кристобалита в местах дефектов (Sosman, 1965). При изучении кварцевого сырья Карелии было отмечено, что наиболее интенсивно данные процессы проявлены в керамических пегматитах, перекристаллизованном, гранулированном (Северная Карелия) и слабо рекристаллизованном жильном кварце (Центральная Карелия). Блокирование и появление полос деформации в кварцевых зернах сказывается на степени измельчения и однородности частиц, что в свою очередь влияет на процессы плавки и свойства стекол. Данные субструктуры в большей степени проявились в интенсивно рекристаллизованном и катаклазированном жильном кварце Центральной Карелии. Проявление процессов рекристаллизации приводит к появлению однородных, недеформированных вторично образованных зерен кварца, которые характерны для таких генетических типов как метасоматиты, перекристаллизованный и гранулированный жильный кварц, интенсивно катаклазированный и рекристаллизованный жильный кварц.

В результате наименее деформированные зерна кварца, характеризующиеся однородной структурой и малым количеством микродефектов, наблюдаются в метасоматитах, кварцитах и перекристаллизованных (сливных) кварцитах.

Важными типоморфными признаками кварцевого сырья являются виды и формы вхождения минеральных примесей. Современные технологии обогащения кварцевого сырья позволяют практически полностью освободиться от минеральных примесей. Труднообогатимым является кварц, в котором содержатся мелкодисперсные включения минералов (серицита, эпидота, хлорита, кальцита и др.). Практически неудаляемыми остаются только микроскопические включения (< 10 мкм), в частности рутил в тонкоигольчатом виде. Присутствие таких включений наблюдается в жильном гранулированном, пегматитовом кварце, сливных

кварцитах Северной Карелии (Парандово-Тикшеозерский зеленокаменный пояс), а также в кварцитах Центральной Карелии.

Одним из наиболее значимых типоморфных признаков кварца является газонасыщенность – наличие газово-жидких включений (ГЖВ) в кварце. Традиционно используемые характеристики кварцевого сырья - светопропускание и декрептоактивность - дают представление только об общем содержании ГЖВ, в то время как важными характеристиками являются размеры включений и их распределение, поскольку часть ГЖВ может быть удалена на стадиях дробления, измельчения и термообработки. В данном случае эффективной, может быть методика экспрессного анализа включений по шлифам или тонким пластинкам (Данилевская, 1999), которая включает в себя подсчет включений по классам крупности, расчет их плотности и площади занимаемой включениями на единицу площади кварца, примененная для подсчета ГЖВ в жильном кварце Карелии, основанная на методике подсчета ГЖВ в объеме Г.Н. Вертушкова (Жильный кварц..., 1969). 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 процессе технологического передела. При этом важным показателем является содержания самых мелких (0,001-0,005 мм) и крупных классов (> 0,01 мм), позволяющих предположить какой процент включений может быть достаточно легко удален при обогащении кварца, а какая часть включений наиболее трудноудаляема.

Структурные примеси в кварце также являются важным типоморфным признаком в кварце для прогнозирования обогатимости кварцевого сырья, поскольку при современных технологиях переработки они являются практически неудаляемыми, поэтому их концентрация фактически определяет предел обогатимости кварцевого сырья. Количество структурных примесей в кварце зависит от его генезиса и определяется в основном термодинамическими условиями образования, химизмом растворов, скоростью роста. При изучении структурных примесей в кварце наиболее эффективным является метод электронного парамагнитного резонанса (ЭПР), позволяющий характеризовать закономерности распределения и состав парамагнитных дефектов в кварце.

Как показало исследование структурных примесей в различных типах кварца Карелии методом ЭПР, несмотря на то, что наиболее чистыми природными типами по данным анализов элементов-примесей являются перекристаллизованный, гранулированный жильный кварц, они характеризуются повышенными концентрациями структурных примесей, особенно Al и Li. В тоже время наиболее низкие концентрации структурных примесей, особенно структурного Ti и Li наблюдаются в жильном молочно-белом кварце, для которого характерны низкотемпературные деформационные изменения, сопровождающиеся

процессами катаклаза, фрагментации и вторичной рекристаллизации с образованием мелкозернистого вторично рекристаллизованного кварца.

Характерной особенностью для всех кварцев Карельского кратона является практическое отсутствие центра Ge_3 (Ge^{3+} -(Li_2H)). Изоморфная примесь Ge в различных типах кварца Карелии входит в структуру или с ионом компенсатором Li, или с H.

1. *Sosman R.B.* The phases of silica. - Rutgers University Press. New Brunswick, 1965. - 389 p.

2. *Данилевская Л.А.* К минералогии жильного кварца Карелии // Вопросы геологии Карелии. – Петрозаводск: Кар.НЦ РАН, 1999 а. - С. 28-33.

3. Жильный кварц восточного склона Урала. Ч. 1 (методы исследования) / Вертушков Г.Н., Емлин Э.Ф., Синкевич Г.А. и др. // Тр. Свердлов. Горн. Инстит. – Свердловск, 1969 - 100 стр.

4. *Кораго А.А., Козлов А.В.* Текстуры и структуры жильного кварца хрусталеносных областей. – Л.: Недра, 1988. - 159 с.

**СТЕПЕНЬ ЗАВИСИМОСТИ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СВОЙСТВ
ПРОДУКТОВ ОБОГАЩЕНИЯ КОЛЧЕДАНЫХ РУД ОТ
КОНЦЕНТРАЦИИ ПОЛЕЗНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ**

Джангиров М.Ю., Богуш И.А., Бурцев А.А.

Северо-Кавказское отделение. ЮРГТУ (НПИ)
dgangirovmj@mail.ru, i_bogush@mail.ru, a_burtsev@mail.ru

**DEGREE OF DEPENDENCE OF THERMOELECTRIC PROPERTIES
OF THE MASSIVE SULFIDE ORES PROCESSING PRODUCTS ON
THE CONCENTRATION OF USEFUL ELEMENTS**

Dzhangirov M.Y., Bogush I.A., Burtsev A.A.

North Caucasian branch. South - Russian State Technical University
dgangirovmj@mail.ru, i_bogush@mail.ru, a_burtsev@mail.ru

В колчеданных полиметаллических рудах полезные элементы (медь, цинк, свинец и др.) находятся как в собственных минералах, так и в виде примесей в пирите и других составляющих. Пирит является основным минералом колчеданных залежей, кроме того, он минерал-индикатор. По минералофизическим показателям которого определяются условия онтогенеза руды. Исходя из генетического типа руды, можно говорить об основном виде нахождения полезных компонентов, закономерности их распределения в руде, что влияет на её обогатимость.

Методы рудно - и минералофизических исследований, в частности, метод определения полупроводниковых свойств рудных минералов, широко используются в поисковой минералогии для прогноза, оценки и генетического анализа оруденения (Богуш, Старостин, 1982). Для термоэлектрических показателей пиритов медноколчеданных руд нами (Богуш, 1979) доказана высокая степень типоморфности этого показателя. Термо-Э.Д.С. пиритов количественно характеризуют генетическую принадлежность пиритов, а стало быть, и самих колчеданных руд. В пределах гетерогенных колчеданных залежей полупроводниковые свойства пирита направленно изменяются, следуя соответствующим генетическим типам пирита, и отражают универсальную зональность колчеданных рудных тел (Богуш, Старостин, 1982) (рис.1).

Однако эмпирические закономерности без выяснения основных причинно-следственных взаимосвязей не дают корректного прогноза. Влияние примесей на характер проводимости галенитов было исследовано у Г.И.Князевым и В.К.Куделей (1969), однако при выявлении этой взаимосвязи не учитывался генетический аспект. На связь геохимии и

электрофизических свойств пиритов золоторудных месторождений указывал А.Д.Титаренко (1979). Связь свойств и химического состава пирита с формами его выделений описана в литературе (Попова, 1974, Изоитко, 1997). Ранее проводилось изучение причин различий физических показателей у пирита с целью определения его генетически различающихся разновидностей (Cambel, Jarkowsky, 1967).

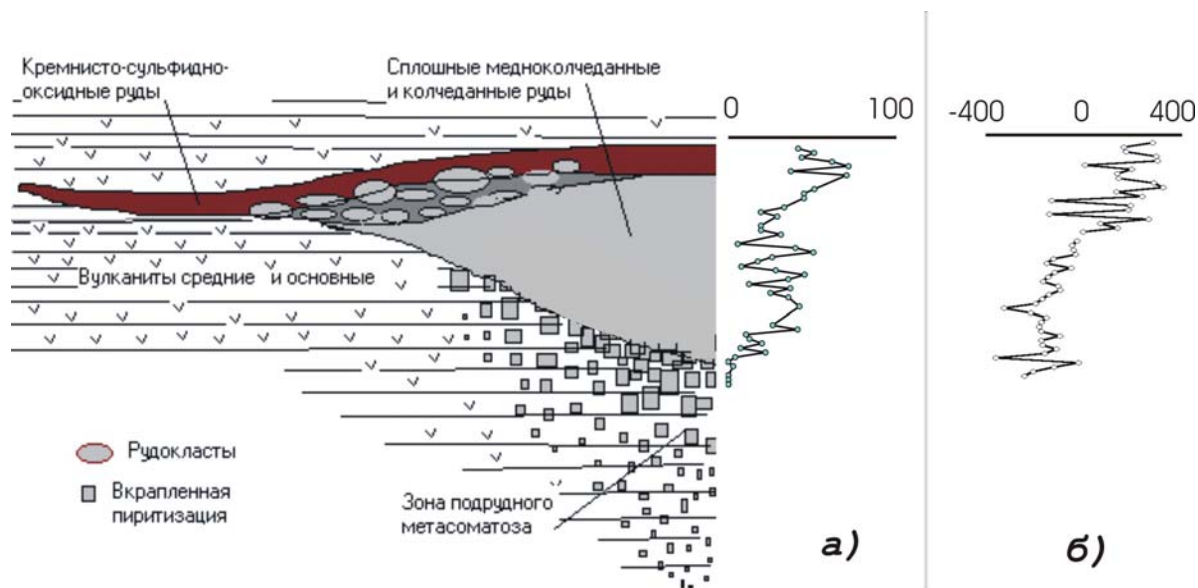


Рис. 1. Схема вертикальной минералофизической зональности колчеданной залежи. Справа – процент развития осадочно-диагенетической группы пиритной минерализации (а) и график суммарного коэффициента термо-э.д.с., мкВ/°С (б)

Тип проводимости сульфидов зависит, в первую очередь, от их стехиометрического состава (Ракчеев, 1989). В роли доноров и акцепторов могут выступать различные примесные компоненты. Влияние примесей на характер проводимости пирита уже рассматривалось нами (Бурцев, Богуш, 2003), а также в той или иной мере другими исследователями (Оверчук, 1981, Полтавец, 1974, Ульянова, 1988). В последней работе отмечено, что мышьяк накапливается в пирите дырочной проводимости, никель и кобальт накапливаются в пирите электронной проводимости. Не менее корректной представляется иная постановка вопроса – именно избыток кобальта, например, может обуславливать отрицательный характер проводимости пирита. Примесный состав пирита четко коррелирует с минеральным составом руд. Проведенная оценка корреляционной зависимости между содержаниями примесных элементов и характером проводимости пиритов в рудах колчеданных тел позволила выявить на шкале коэффициента термо-э.д.с. интервалы, соответствующие содержанию конкретного минерала в колчеданных рудах. Выяснилось, что “свои” интервалы на этой шкале имеют многие элементы, в частности Be, Ni, Co, Sn, Mo, Bi, Cu, Au, Zn, Pb, Ag, Sb и Ba.

Примечательно, что, в соответствии с корреляцией, элементы сгруппировались по зонам оруденения (рис. 2), причем вертикальная

последовательность элементов соответствует единому ряду распределения элементов, выделенному Э.Н.Барановым, С.В.Григоряном и Л.Н.Овчинниковым (1973).

Обработка колчеданных месторождений чаще всего происходит по всей мощности рудного тела, не зависимо от зональности и генетического типа, колчеданных руд. При последующей переработке различия, присущие определенным типам колчеданов в определенных интервалах, стираются, вследствие: измельчения, химических реакций, удаление некоторой части сульфидов и др. В результате чего невозможно определить генетический тип пирита по термоэлектрическим свойствам. Однако генезис пирита отображается и в других физических свойствах минерала, характерных для тех или иных условий. Это твердость, спайность, плотность, удельный вес, химический состав. Именно в зависимости от их значений в продукты технологической переработки руд попадут минералы с определенными характеристиками. Сравнение коэффициентов корреляции содержания элементов и значений термо-э.д.с. в пиритах залежи и продуктах технологической переработки позволяет нам с еще большей уверенностью говорить о зависимости термоэлектрических свойств сульфидов, в частности, пирита от химического состава.

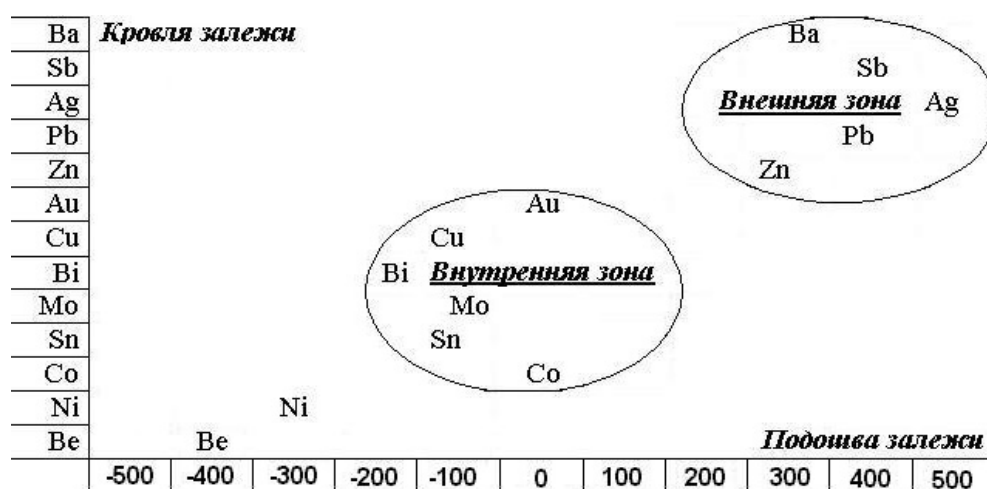


Рис. 2. Обобщенная вертикальная геохимическая зональность колчеданно-полиметаллического месторождения; расположение элементов по вертикали обусловлено единым универсальным рядом распределения

В ряде случаев коэффициент корреляции между значением термо-э.д.с. и содержанием химического элемента для продуктов технологической переработки и пиритной мономинеральной фракции практически совпадают. Однако результаты механической и химической обработки, а также факт суммарного влияния минералов и примесей на термоэлектрические показатели концентратов колчеданных руд приводит к изменению коэффициентов корреляции и интервалов влияния на значения термо-э.д.с. (табл. 1).

Коэффициенты корреляции химических элементов с суммарным коэффициентом термо-э.д.с. продуктов обогащения (в скобках коэффициенты для монофракций пирита)

	Шкала суммарного коэффициента термо-э.д.с., мкВ/°С								
	-290	-240	-190	-140	-90	-40	10	60	ср.зн
Cu		0,315	0,233	(0,57)	-0,503	-0,729		0,474	0,103
Zn	-0,262	-0,559	-0,536	-0,424 (-0,50)	-0,232	0,449	0,552	(0,37)	0,420
S	0,383	0,223	0,359	0,521	0,426	-0,264	-0,271	-0,272	-0,346
Au					0,300	0,249	(0,48)	-0,338	-0,195
Ag	-0,485	-0,509	-0,636	-0,655	-0,496	0,331	0,432	0,408	0,574

Каждый генетический тип пирита, как и слагаемый им генетический тип колчеданной минерализации, обладает присущим ему специфическим геохимическим спектром. От химического состава зависят термоэлектрические свойства как пиритов и колчеданных руд, так и их продуктов технологической переработки. Выявление степени и интервалов влияния содержания химических элементов на показатели термо-э.д.с. позволит существенно уменьшить затраты времени и средств на определение качества продуктов обогащения колчеданных руд.

1. Богуш И.А., Старостин В.И. Руднофизическая зональность полигенных колчеданных залежей Северного Кавказа. Геол. рудн. месторожд., Т. XXIV №1, 1982. С. 93–98.

2. Богуш И.А. Минералогенетическая информативность термоэлектрических свойств пиритов колчеданных руд Сев. Кавказа // Докл. АН СССР. - 1979. Т. 245., №2. - С. 441-443.

3. Князев Г.И., Куделя В.К. Полупроводниковые свойства галенитов и пиритов как критерий условий рудообразования. – “Наукова думка”, Киев, 1969, с. 99 - 102.

4. Титаренко А.Д. Зональность электрофизических свойств пиритов из руд месторождения Медвежье (Восточный Саян). // Материалы Красноярское отд. Всес. минерал. о-ва АН СССР, 1975, вып. 3, 160—164.

5. Изюмко В.М. Технологическая минералогия и оценка руд. СПб.: Наука, 1997. С.352–353.

6. Попова В.И. К зависимости термо-э.д.с. пирита от формы кристаллов. В сб.: Минералогия, магматизм и рудогенез Дальнего Востока. Владивосток, 1974.

7. Cambel B., Jarkowsky J. Geochemie der Pyrite einiger Lagerstätten der Tschechoslowakei. Bratislava, 1967. S.S. 404 - 409.

8. Ракчеев А.Д. Новые физико-химические методы изучения минералов, горных пород и руд: Справочник. – М.: Недра, 1989. – С. 94–97.

9. *Бурцев А.А., Богуш И.А.* Связь физических свойств и состава пиритов колчеданных рудных тел Джусинского месторождения (Южный Урал) // Обогащение руд, №4, 2003. С.24–28.

10. *Оверчук В.М.* Зависимость полупроводниковых свойств сингенетических пиритов средней и верхней свит Криворожской серии от содержания элементов-примесей. “Минерал. и петрол. рудн. р-нов Укр. щита”. Киев, 1981, с. 76–81.

11. *Полтавец З.И.* О зависимости термоэлектрических свойств пиритов из магнетитовых месторождений Северного Тургая от состава в них элементов-примесей. “Ежегодник 1973. Ин-т геологии и геохимии. Уральск. науч. центр АН СССР”. Свердловск, 1974, с. 184–188.

12. *Ульянова Н.А.* Особенности пиритов свинцово-цинкового месторождения Яблоновое // Геол. и метод. поисков и оценки месторожд. тверд. полез. Ископаемых Казахстана. – Алма-Ата, 1988. – С. 69–75.

13. *Овчинников Л.Н., Григорян С.В., Баранов Э.Н.* Зональность первичных геохимических ореолов гидротермальных месторождений и их поисковое значение. – Изв. вузов. Геология и разведка. 1973. № 10. С.15-27.

ОЦЕНКА СТАНДАРТНЫХ ПОТЕНЦИАЛОВ ГИББСА ДЛЯ СУЛЬФАТОВ МЕДИ ПРИ ПОМОЩИ ЗАДАЧ ЛИНЕЙНОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ

Ерёмин О.В., Винниченко С.В., Юргенсон Г.А.

Читинское отделение. Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН
yeroleg@yandex.ru, root@cinr.chita.su, yurgga@mail.ru

EVALUATION OF GIBBS' STANDARD POTENTIALS FOR COPPER SULFATES BY MEANS OF TASKS OF THE LINEAR PROGRAMMING

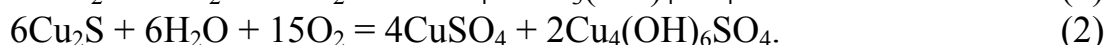
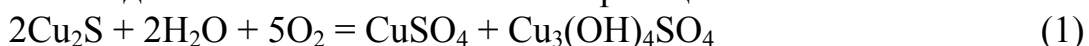
Yeromin O.V., Vinnichenko S.V., Yurgenson G.A.

Chita branch. Institute of natural resources, ecology and criology Siberian Branch of RAS
yeroleg@yandex.ru, root@cinr.chita.su, yurgga@mail.ru

Исследование минералогии Удоканского месторождения показало, что в условиях низких температур окисление сульфидов меди (халькопирит, борнит, халькозин) сопровождается появлением кристаллогидратных комплексных сульфатов: гидроантлеритов и гидроброшантитов, удоканита, фиброферрита, бескалиевого ярозита и др. (Юргенсон, 1996). Для большинства таких минералов отсутствуют какие-либо термохимические данные.

Расчёт термодинамических равновесий методами выпуклого программирования позволяет проводить оценки физико-химических свойств веществ (Карпов, 1981). Воспользуемся этой возможностью для расчёта стандартных потенциалов Гиббса сульфатов меди.

Запишем две независимые химические реакции в системе Cu-S-O-H:



Расчёты равновесных составов x^* , в предположении однокомпонентных газовой и водной фаз, можно представить как задачи линейного программирования (Ерёмин, Юргенсон, 2001):

$$x^* = \min \{ g(x) = \sum_{i=1..5} \Delta_f G_i^0 x_i, Ax = b, x \geq 0 \}, \quad (*)$$

где $\Delta_f G_i^0$ - стандартные потенциалы образования Гиббса веществ, участвующих в реакциях (1,2), x_i - их мольные количества, A - стехиометрическая матрица, b - вектор материального баланса.

Прямой задаче (*) соответствует сопряжённая с ней двойственная:

$$y^* = \max \{ d(y) = \sum_{j=1..4} b_j y_j, A'y \leq \Delta_f G^0 \}, \quad (**)$$

где ' - индекс транспонирования.

Из тождественности прямой и двойственной задач ($x^*=y^*$) следует, что компоненты y^* соответствуют вкладу химических элементов в значение свободной энергии Гиббса веществ, присутствующих при

равновесии в реакциях (1,2). Выделим пару невырожденных двойственных решений соответствующих реакциям (1,2)

$$y^* = (y^*_H, y^*_S, y^*_O, y^*_{Cu}):$$

$$y^*_1 = (-45534, -68690, -146114, -8755) \text{ Дж/моль},$$

$$y^*_2 = (-46189, -79170, -144804, -3515) \text{ Дж/моль}.$$

Основываясь на вышеприведённых решениях, проведём расчёты потенциалов по формуле $\Delta_f G^0$ для простых и основных сульфатов меди (таблица).

Таблица

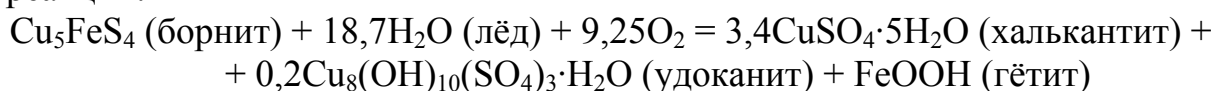
Значения стандартных потенциалов Гиббса сульфатов меди (Yokokawa, 1988; Wood, Garrels, 1987; Mercury et. al., 2001) и оценки из двойственных решений для реакций (1,2)*

Химическая формула (минерал)	$\Delta_f G^0$ (Дж/моль)			Расчёт $\Delta_f G^0$ для реакций (1,2) (Дж/моль)	
	(Yokokawa, 1988)	(Wood, Garrels, 1987)	(Mercury et. al., 2001)	(1)	(2)
Cu_2S (халькозин)	-86200	-86900 -85600		-86200	-86200
CuSO_4 (халькоцианит)	-661900	-661700 -662300	-661700 -662310	-661900	-661900
$\text{CuSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ (пойтевинит)	-918220	-917100 -918100	-918110 -918042	-899081	-899081
$\text{CuSO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ (бонаттит)	-1400170	-1400000	-1399884 -1399960	-1373443	-1373443
$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ (халькантит)	-1880060	-1879900 -1879600	-1879578 -1879796	-1847805	-1847805
$\text{Cu}_3(\text{OH})_4\text{SO}_4$ (антлерит)		-1446000 -1445600		-1446000	-1432900
$\text{Cu}_4(\text{OH})_6\text{SO}_4$ (брошантит)		-1818400 -1817100		-1838050	-1818400
$\text{Cu}_4(\text{OH})_6\text{SO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ (познякит)	-2044300	-2044000		-2075231	-2055581
H_2O (жидк.)			-237181	-237181	-237181
$\text{Cu}_8(\text{OH})_{10}(\text{SO}_4)_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ (удоканит)				-4183131	-4150381
$\text{Cu}_4(\text{OH})_6\text{SO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (лангит, роуволфит)				-2312412	-2292762
$\text{Cu}_3(\text{OH})_4\text{SO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (ктенасит)				-1920362	-1907262
$\text{CuSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (бутит)				-2322167	-2322167

Примечание: * $2\text{Cu}_2\text{S} + 2\text{H}_2\text{O} + 5\text{O}_2 = \text{CuSO}_4 + \text{Cu}_3(\text{OH})_4\text{SO}_4$ (1);
 $6\text{Cu}_2\text{S} + 6\text{H}_2\text{O} + 15\text{O}_2 = 4\text{CuSO}_4 + 2\text{Cu}_4(\text{OH})_6\text{SO}_4$ (2).

В верхней левой части таблицы содержатся величины $\Delta_f G^0$ из литературных источников (Yokokawa, 1988; Wood, Garrels, 1987; Mercury et. al., 2001). В правой части расположены расчётные данные для реакций (1, 2). Жирным шрифтом выделены значения, использованные в оптимизационных задачах, и равные им, полученные из двойственных решений. Расхождения расчётных значений с литературными данными не превышают 2 % для простых сульфатов и 1 % для основных сульфатов меди. Расхождение оценок между собой не более 0,5 %.

Полученные величины $\Delta_f G^0$ могут быть использованы для анализа геохимических процессов с участием этих минералов. Например, для реакции:



ΔG^0 составляет -2925 ± 83 кДж/моль, что обосновывает возможность её протекания в зоне криогенеза. Подобный процесс образования минеральных ассоциаций наблюдался в рудах Удоканского месторождения.

1. Юргенсон Г.А. Особенности минералогии и формирования зоны окисления в условиях многолетнемёрзлых пород/Проблемы рудообразования, поисков и оценки минерального сырья. Материалы Всесоюзной конференции, посвящённой 100-летию акад. С.С.Смирнова. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 1996, с. 127-160.

2. Карпов И.К. Физико-химическое моделирование на ЭВМ в геохимии. Новосибирск: Наука, 1981. 247 с.

3. Ерёмин О.В., Юргенсон Г.А. Термодинамические модели окисления сульфидных руд в зоне криоминералогенеза как задачи линейного программирования (Удоканское месторождение) // Изв. вузов. Геология и разведка, 2001, №6, с.153-156.

4. Yokokawa, H. Tables of thermodynamic properties of inorganic compounds//Journal of the national chemical laboratory for industry, Tsukuba Ibaraki 305, Japan, 1988, v.83, 27-118.

5. Wood, T.L., Garrels, R.M. Thermodynamic values at low temperature for natural inorganic materials. Oxford University Press, 1987. 265 p.

6. Mercury, L., Vieillard, Ph., Tardy, Y. Thermodynamics of ice polymorphs and «ice-like» water in hydrates and hydroxides//Appl. Geochem., 2001, 16, 161-181.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ МИНЕРАЛОГИЯ НЕФТЯНОГО ПЛАСТА

Изотов В.Г.

Казанское отделение. Казанский государственный университет
vgisotov@yandex.ru

TECHNOLOGICAL MINERALOGY OF THE OIL RESERVOIR

Izotov V.G.

Kazan branch. Kazan State University
vgisotov@yandex.ru

Активная разработка нефтяных месторождений с применением комплекса физических и химических методов воздействия на пласт ставит на повестку дня вопросы, связанные с его минералого-химической и структурной перестройки.

В настоящее время, особенно в старых нефтедобывающих регионах, разработка месторождений производится с применением методов увеличения нефтеотдачи (МУН), направленных в основном на изменение параметров нефтяного флюида – понижение вязкости и повышения или поддержания на оптимальном уровне пластового давления. Однако эти методы, активно действуя на флюидную составляющую нефтяного пласта, одновременно воздействуют и на сам пласт. При этом эффект воздействия на флюидную и минеральную составляющую пласта часто может быть противоположным, что приводит к резкому снижению нефтеизвлечения и, в отдельных случаях, выводу нефтяного пласта из процесса разработки.

Проведенные исследования на базе ряда месторождений Волго-Уральской и Западно-Сибирской провинции позволяют рассматривать нефтяное месторождение как термодинамически равновесную систему нефть – коллектор (Изотов и др. 1993). Введение в эту систему методов активного воздействия на пласт нарушает создавшееся равновесие, что и приводит как к изменению свойств, как флюида, так и минеральной составляющей, в которой можно выделять инертную минеральную матрицу, в случае терригенных коллекторов – обломочная часть и активную минеральную составляющую, реагирующую на методы воздействия на пласт. Активная составляющая изученных месторождений включает глинистые минералы, окислы и гидроокислы железа, карбонатные минералы, тонкодисперсный кварц-полевошпатовый комплекс. Воздействие на пласт физическими и химическими методами в ходе разработки месторождений приводит эти активные минеральные фазы к объемным изменениям, меняющим в свою очередь фильтрационно-емкостные свойства пласта. Эти изменения выражаются в изменении

объема, формы и способа группировки комплексов тонкодисперсных минералов в поровом пространстве коллекторов, изменении поверхностных свойств этих минералов, перехода их в новые минеральные формы, коагулирующие поровые каналы – техногенный пирит, карбонатные минералы, повышение сорбционной активности тонкодисперсных кварц – полевошпатовых фаз. Важно отметить, что даже, несмотря на низкие содержания активных минеральных фаз, их изменения существенно меняют фильтрационные свойства пласта, поскольку эти минералы часто локализованы в порожках поровых каналов.

Нами были проведены исследования реакции активных тонкодисперсных фаз и, в первую очередь, глинистых минералов, на воздействие кислотных композиций, на воздействие ПАВ и полимерных композиций. Было установлено, что кислотные воздействия на глинистые минералы, извлеченные из коллекторов, приводят к усыханию их пакетов за счет выноса межслоевой воды. В результате смектитовые пакеты «усыхают» до 10, а иногда до 25 %. Гидрослюдистые пакеты «усыхают» меньше до 5 – 6 %, что объясняется кристаллохимическими особенностями этих групп минералов. Однако кислотные (сернокислотные) воздействия в условиях восстановительного режима пласта приводит к появлению техногенного пирита, забивающего поровые каналы, что необходимо учитывать при выборе сернокислотных композиций. Активно влияет на структуру глинистых фаз различные ПАВы. Воздействие на глинистую составляющую промышленных ПАВ типа АФ-6 и АФ-12 приводит к существенному усыханию смектитовых пакетов на ширину цепей ПАВ (Ibatullin 1993) и увеличению фильтрационных эффектов. Так же хорошо известно влияние композиций многоатомных спиртов на структуру глинистых минералов. Понижая вязкость нефтяного флюида, они, в свою очередь, способствуют разбуханию глинистых пакетов в поровых каналах и их коагуляции.

С целью учета реакции активных минеральных фаз коллектора на физико-химическое воздействие на пласт нами предлагается и было опробовано на ряде месторождений нефти Волго-Уральской провинции проведение литолого-технологического картирования (Муслимов, Изотов 2003), учитывающего распределение по площади пласта не только его фильтрационно-емкостных параметров, но и распределение активных минеральных фаз и особенностей их локализации. Наличие таких литолого-технологических планов позволяет рекомендовать переход к более оптимальным, селективным методам воздействия на пласт и его отдельных участков, учитывая литолого-минералогическую характеристику этих участков и их реакцию на используемые методы воздействия на пласт.

1. *Ibatullin R.R., Mukhametshin R.Z., Izotov V.G., Sitdikova L.M.* Investigation the oil displacement process with the nonionic surfactant assistance in the clay contained formation. European Symposium on Improved oil Recovery, v.1. М. 1993, p.265-271.

2. *Изотов В.Г., Ситдикова Л.М.* Влияние динамики структуры на процессы нефтеотдачи. Сб. «Геология и разработка нефтяных месторождений». Альметьевск, 1993, с.104-106.

3. *Муслимов Р.Х., Изотов В.Г., Ситдикова Л.М.* Литолого-технологическое картирование нефтяных залежей – основа выбора стратегий воздействия на пласт с целью оптимизации коэффициента извлечения нефти. Тр. 12 Европейского симпозиума «Повышение нефтеотдачи пластов». Идел – Пресс, Казань, 2003 г., с. 558-560.

**НАНОМИНЕРАЛОГИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПОИСКА, ТИПИЗАЦИИ
И ОЦЕНКИ СКРЫТОГО ЗОЛОТОГО ОРУДЕНЕНИЯ (НА
ПРИМЕРЕ КУРАМИНСКОЙ ВУЛКАНОГЕННОЙ ОБЛАСТИ
УЗБЕКИСТАНА)**

Конеев Р.И., Халматов Р.А., Гиль В.А.

Минералогическое общество Узбекистана. Национальный университет Узбекистана
rkoneev@yahoo.com, hal_rust@mail.ru, vl_gil@mail.ru

**NANOMINERALOGICAL TECHNIQUES OF PROSPECTING,
TYPIFICATION AND APPRAISAL OF THE LATENT GOLD
MINERALIZATION (BY EXAMPLE OF KURAMINSKAYA
VOLCANOGENIC AREA, UZBEKISTAN)**

Koneev I.R., Khalmatov R.A., Gil V.A.

Mineralogical Society of Uzbekistan. National University of Uzbekistan
rkoneev@yahoo.com, hal_rust@mail.ru, vl_gil@mail.ru

Кураминская вулканогенная область является восточным окончанием протяженного Бельтау_Кураминского вулканоплутонического пояса, к которому на территории Узбекистана приурочены все крупнейшие золоторудные месторождения (Конеев, 2003). В соответствии с геохимической классификацией золоторудных месторождений, в Кураминской области проявлены промышленные месторождения трех рудных формаций – золото-мышьяковая, золото-теллуровая и золото-серебряная (таблица). В связи с тем, что возможности открытия выходящих на поверхность месторождений с высоким содержанием и крупными выделениями сульфидов и золота практически исчерпаны, встает проблема поиска крупно объемных месторождений с невысокими содержаниями и наноминеральными формами золота.

Разработана методика анализа тонкодисперсного и других форм золота, его наноансамблей, закономерных для каждой из выделенных формаций и являющихся, главным образом, продуктом распада сложных полиядерных комплексов золота и серебра с Te, Se, As, Sb, Bi, Hg. При этом становится возможным проведение оценки вертикальной зональности, уровня эрозионного среза, форм нахождения золота и других элементов, масштабов и комплексности руд, что имеет важнейшее значение для дальнейшего освоения месторождений и выбора технологий извлечения.

Применение методики позволило выявить ряд перспективных участков с тонкодисперсными формами выделения как традиционных для региона рудных формаций, так и нетрадиционного золото-порфирового

оруденения типа Форт Нокс (Константинов, 2005), Au-Ag-ЭПГ-И-РЗЭ оруденения типа Корнейшн Хилл (Лазаренков и др., 2002).

Таблица

**Минералого-геохимические признаки золотого оруденения
Чаткало –Кураминской вулканогенной области**

Формация	Золото-серно-мышьяковая	Золото-теллуровая	Золото-серебрянная
Минеральная ассоциация	Золото-пирит-арсенопиритовая	Золото-теллуридно-селенидно-полиметаллическая	Электрум селенидно-полисульфидная
Золото	Тонкодисперсное (AuAsS, AuS)	700-1000‰ Au ₃ Ag, Au ₂ Ag, Au ₈ Ag, Au, Hg, Bi, Pb, Cu, Fe, Te, Pt	100-700‰ AuAg, Au ₂ Ag ₃ , AuAg ₃ , Sb, Cu, Fe, Pd, Se
Микропарагенезисы	Тонкокристаллический арсенопирит, герсдорфит, леллингит, кобальтин	Гессит, сильванит, петцит, калаверит, тетрадимит, теллурантимон, чаткалит, кавацулит, фаматинит, теллур	Полибазит, пираргирит, стефанит, аргентит, штернбергит, науманит, агвиларит, клаусталит, серебро, алларгентум,
Минеральный состав	Кварц, анкерит, кальцит, пирит, халькопирит. Сульфидов <1%	Кварц, кальцит, барит, доломит, пирит, тетраэдрит, галенит, сфалерит, халькопирит. Сульфидов до 30%.	Кварц, Mn-анкерит, кальцит, пирит, халькопирит, галенит, сфалерит. Сульфидов до 5%.
Au: Ag	1:1-1:10	10:1-1:10	1:10-1:100
Se:Te	5:1-1:1	1:10-1:30	10:1-1:10
Элементы-индикаторы	As, Ni, Co	Te, Bi, Se, Hg, Sn	Ag, Sb, Se
Околорудные изменения	Пропилитизация, березитизация	Вторичные кварциты, аргиллизация, березатизация, алунитизация	Калишпатизация, аргиллизация, березитизация
Зона гипергенеза	Гетит, золото (800-900)	Гетит, ярозит, ютенбогардит, акантит, англезит, теллулаты золота (до 1000)	Гетит, серебро, акантит, кераргирит, золото (800-900)

1. Конеев Р.И. Систематизация золоторудных месторождений Узбекистана на основе микроминеральных парагенезисов // Руды и металлы, 20003, №3 . с. 20-28.

2. Константинов М.М., Ручкин Г.В. Новые и нетрадиционные типы золоторудных месторождений // Руды металлы, 2005, №1. с. 44-54.

3. Лазаренков В.Г., Петров С.В., Таловина И.В. Месторождения платиновых металлов. СПб: Недра, 2002. 298 с.

МЕТАЛЛЫ В ЯНТАРЕ

Корытов Ф.Я., Викентьев И.В., Магазина Л.О.

Московское отделение. ИГЕМ РАН
vanina@kopytko.ru, viken@igem.ru, lm@igem.ru

METALS IN THE AMBER

Korytov F.Ya., Vikentyev I.V., Magazina L.O.

Moscow branch. IGEM RAS
vanina@kopytko.ru, viken@igem.ru, lm@igem.ru

Во многих угле-нефтегазоносных бассейнах мира встречается янтарь (сукцинит, румэнит, бирмит, симетит и другие его разновидности), содержащий 69-82 % углерода, 9-12 % водорода, 8-21 % кислорода и до 2 % серы. Янтарь по составу близок к оксикеритам - окисленным разновидностям асфальтовых битумов.

Самым крупным в мире является Приморское (Пальмникенское) месторождение сукцинита в Калининградской области. Оно приурочено к разломам периферии Гданьской кольцевой структуры и представлено пластообразными залежами эоценовых глауконит-кварцевых песков (песчаников) с желваками сидерита, фосфоритов и янтаря. С помощью нейтронно-активационного анализа (аналитик А.Л.Керзин, ИГЕМ РАН) в янтаре Приморского месторождения исследованы элементы - примеси (Na, Ca, Cr, Fe, Co, Zn, As, Rb, Sr, Sc, Ag, Sb, La, Ce, Nd, Sm, Eu, Tb, Yb, Ta, Th, U и Ai). Установлены повышенные концентрации, г/т: Cr 0,14-6,15, Co 0,04-0,4, Zn 1,7-4,9, As 0,26-0,74, Ag 0,04-0,28, Sb 0,02-0,14, La 0,03-0,51, Ce 0,02-0,74, Sm 0,01-0,035, Th 0,003-0,065, Au 0,01-0,04 и Br 0,42-0,66. При этом намечается корреляция концентрации золота с серебром, сурьмой, мышьяком и натрием.

Для изучения микроминералов в янтаре разной окраски авторы использовали методы аналитической сканирующей электронной микроскопии. В нем обнаружены нанокристаллы разных размеров и формы (от пластинчатой до сферической) пирита, галенита, магнетита, барита, рутила, калиевого полевого шпата, сульфата железа, самородного железа и других минералов.

Присутствие элементов - примесей в форме наноминералов в янтаре определяет не только его степень прозрачности и окраску, но и свидетельствуют о его сложном генезисе.

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ КРИСТАЛЛОВ ИСЛАНДСКОГО ШПАТА МЕСТОРОЖДЕНИЙ РАЗЛИЧНОГО МАСШТАБА

Кукуй А.Л., Матвеева О.П.

Санкт-Петербургское отделение. СПбГИ (ТУ). olgam29@yandex.ru

PHYSICAL-CHEMICAL PECULIARITIES OF THE ICELAND SPAR CRYSTALS FROM ITS DEPOSITS OF DIFFERENT SCALES

Kukuy A.L., Matveeva O.P.

Saint-Petersburg branch. Saint-Petersburg State Mining Institute (TU). olgam29@yandex.ru

Исследованы химический состав и фотолюминесценция (ФЛ) кристаллов исландского шпата (ИШ) 16 месторождений различного масштаба из лавовой толщи и туфов траппов Сибирской платформы. В целом для состава редкоземельных элементов (РЗЭ) характерно преобладание легких РЗЭ при интервале суммарных содержаний 1-40 ppm. Суммарные содержания РЗЭ максимальны в ИШ мелких проявлений и непромышленных блоков крупных месторождений, а минимальные могут быть в ИШ месторождений любого масштаба лавовой толщи траппов. Для крупных месторождений платформы содержание любого РЗЭ в ИШ не превышает 10 ppm. Изучение кристаллов кальцитов различных генераций одного месторождения показало изменение во времени общей концентрации и характера распределения содержаний примесей РЗЭ. В раннем жильном кальците количество РЗЭ сопоставимо с их количеством в материнских базальтах и долеритах.

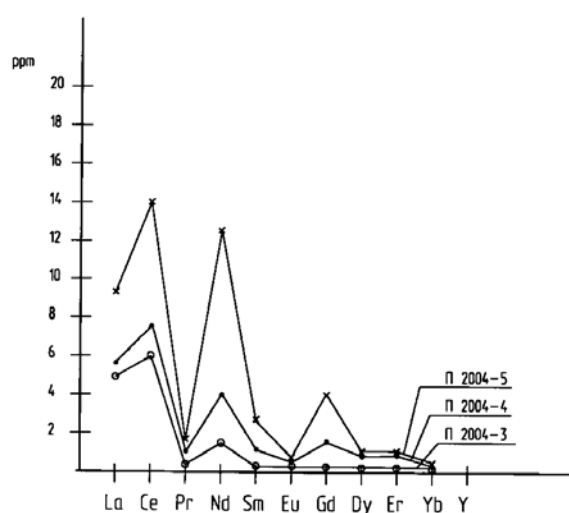


Рис. 1. Состав РЗЭ в ИШ <3584> месторождения Поledжикит.

В пределах одной пирамиды роста кристалла (рис. 1) в процессе роста форма кривой распределения примесей в целом сохраняется и несколько увеличивается общее содержание РЗЭ. При содержаниях отдельных элементов примесей порядка 1 ppm и выше ИШ одного месторождения характеризуется своеобразной формой кривой распределения примесей РЗЭ. В ИШ пирамиды роста одной формы кристаллов разных месторождений количества примесей могут меняться в широких пределах.

Если кристаллы сложены пирамидами роста нескольких форм, то минимальные содержания РЗЭ всегда отмечаются в $\langle 10\bar{1}1 \rangle$, а максимальные – в $\langle 0001 \rangle$ (таблица). Например, в кристаллах месторождений Нижнетунгусского узла разница содержаний легких РЗЭ достигает двух порядков (рис. 2). Различия в распределении РЗЭ по граням одновременно росших форм одного кристалла свидетельствуют о влиянии кристаллохимического фактора – эффекте грани (Григорьев, Жабин, 1975) или двумерном изоморфизме (Леммлейн, 1973).

Сопоставление концентраций РЗЭ и Mn с особенностями фотолюминесценции (ФЛ) ИШ показывает отсутствие прямой пропорциональной зависимости интенсивности ФЛ от содержания примеси - люминогена. Можно предположить, что вхождение этих элементов в плоские сетки некоторых простых форм осуществляется не только в виде точечных изоморфных замещений, но также в виде пар и кластеров, что приводит к концентрационному тушению ФЛ даже при малых содержаниях примесей - люминогенов.

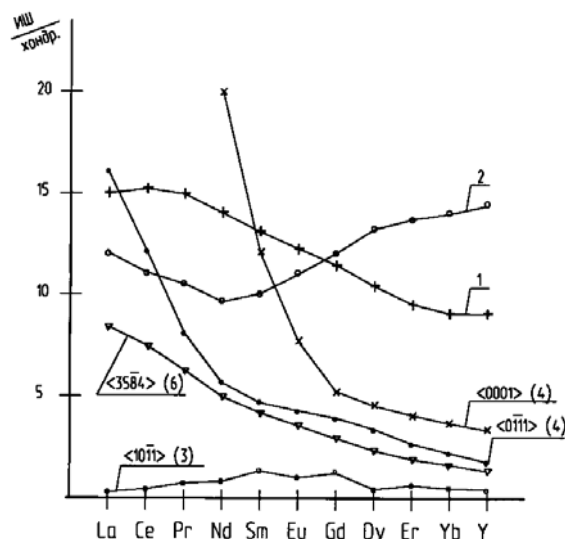


Рис. 2. Содержание РЗЭ в ИШ месторождений Нижнетунгусского узла. В скобках – количество проб.
1 – РЗЭ в базальте [2];
2 – РЗЭ в жильном кальците.

Таблица

Содержание примесей и фотолюминесценция кальцитов

№ образца	Пирамида роста	Концентрация примесей, г/т			Фотолюминесценция*	
		Mn	Fe	Ce	λ , нм (интенсивн., усл.ед.)	Цвет
Хр-3	3584	272	36	9.8	350(7), 530-600 (5-6)	желт.-малин.
Хр-8	1011	208	58	2.6	340(100), 370(90), 630(5)	малинов.
ЖГ-135	8.8.16.3	1544	57	28.0	350(15), 370(15), 630(8)	красный
Пр-3	0221	1853	251	28.1	345(170), 370(170), 630(49)	красный
Пол-393	1011	121	227	4.2	340(1), 370(3), 560(55)	желтый
Пол-4-5	3584	406	42	14.1	345(20), 370(20), 610(3)	белесый
Пол-743-2	0001			35.8	340(40), 370(40)	фиолетов.

*Примечание: ФЛ $\lambda = 340-370$ нм вызвана примесью церия, а $\lambda = 610-630$ нм – примесью марганца

Таким образом, установлена сложная связь между содержанием РЗЭ, ФЛ и морфологией кристаллов ИШ. Низкие содержания РЗЭ могут быть в ИШ месторождений любого масштаба в базальтах. На всех крупных месторождениях содержания РЗЭ незначительны. Высокие содержания РЗЭ характерны для мелких месторождений туфового и лавового полей. Выявленные особенности характеристик могут быть использованы для оценки масштаба месторождений и для разбраковки кальцита, предназначенного для изготовления особо чистых химических веществ и оптических материалов.

1. Леммлейн Г.Г. Морфология и генезис кристаллов. 1973. М. Наука, 327 с.
2. Балашов Ю.Л. Геохимия редкоземельных элементов. 1976. М., Наука, 268 с.
3. Григорьев Д.П., Жабин А.Г. Онтогения минералов. 1975. М. Наука, 339 с.

РЕТГЕРСИТ КАК МАТЕРИАЛ ДЛЯ УФ-СВЕТОФИЛЬТРОВ

Кульков А.М.

Санкт-Петербургское отделение. СПбГУ. kulk@nwlink.spb.ru

RETGERSITE AS A MATERIAL FOR UV-FILTERS

Kulkov A.M.

Saint-Petersburg branch. Saint-Petersburg State University. kulk@nwlink.spb.ru

В последние годы у разработчиков различных приборов (в первую очередь лидаров и спектроанализаторов) возник интерес к узкополосным кристаллическим фильтрам УФ диапазона. Оказалось, что кристаллы тетрагонального шестиводного сульфата никеля (минералогическое название *ретгерсит* - *Rt*) имеют полосу пропускания в области 195 – 340 нм (рис. 1). В связи с этим возникла необходимость в получении вышеуказанных кристаллов оптического качества большого (более 50 мм) диаметра. Выращивание и использование таких крупных кристаллов сопряжено со значительными трудностями и требует дополнительных исследований особенностей физических свойств, строения и роста не только кристаллов шестиводной тетрагональной модификации сульфата никеля, но и других, близких по условиям образования, фаз данного химического соединения – главным образом шестиводной моноклинной модификации сульфата никеля (*никельгексагидритом* - *Nh*), семиводной ромбической модификации (*моренозитом*), а также четырех- и одноводными. С другой стороны, взаимоотношения различных фаз

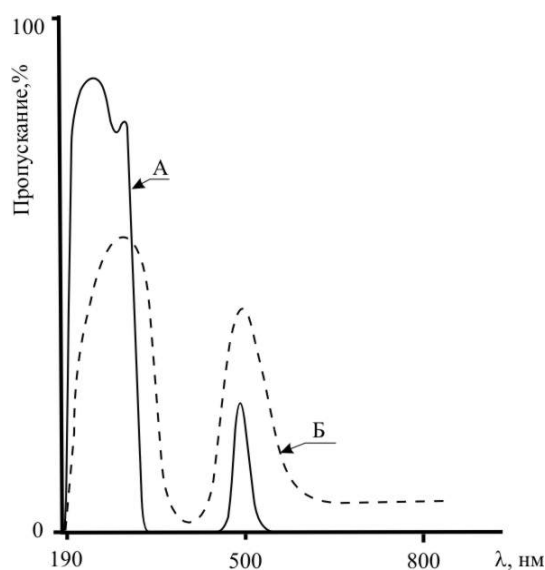


Рис.1 Спектры пропускания ретгерсита (А) и никельгексагидрита (Б)

сульфата никеля интересны для изучения массопереноса ионов никеля в зоне окисления никелевых месторождений (I-Ming Chou, Robert R. Seal II, 2003).

Сульфаты Ni и Co характерны для никелевых и кобальтовых месторождений, в которых первичные минералы представлены никель- и кобальтсодержащим пиритом, миллеритом, каткьеритом, пентландитом, линнеитом, ваэситом и другими никелевыми и кобальтовыми сульфидами. Наиболее известные сульфаты Ni принадлежат к группе “купорос-

ных” соединений – нормальных сульфатов с переменным содержанием H_2O (таблица), генетически относящихся к растворимым в воде сезонным и техногенным образованиям, возникающим на отвалах, стенках горных выработок, в складских помещениях. Главная форма их выделения – выцветы, корочки и налеты. Никелевые разности обычно окрашены в яблочно-зеленые (*никельгексагидрит*, *ретгерсит*, *никельбуссенготит*), густо-зеленые (*моренозит*) или белые (*дворникит*) тона. Наиболее частыми изоморфными примесями в этих минералах служат Fe и Mg. Так, известны изоморфные ряды гексагидрит (Mg)–никельгексагидрит (Ni), эпсомит (Mg)–моренозит (Ni), халькантит (Cu)–кобальтхалькантит (Co). Многие из никель-кобальтовых сульфатов являются редкими минералами. Например, в единичных находках известны *мурхаусит* и *эплоуит* (Канада). (Яхонтова, Зверева, 2000)

Таблица

Некоторые сульфаты Ni и Co

Дворникит	$(Ni, Fe)[SO_4] \cdot H_2O$
Эплоуит	$(Co, Ni)[SO_4] \cdot 4H_2O$
Никельгексагидрит (мон.)	$Ni[SO_4] \cdot 6H_2O$
Ретгерсит (тетр.)	$Ni[SO_4] \cdot 6H_2O$
Мурхаусит (мон.)	$(Co, Ni, Mn)[SO_4] \cdot 6H_2O$
Моренозит (ромб.)	$Ni[SO_4] \cdot 7H_2O$

Задача работы состояла в изучении возникающих текстур и соответствующих механизмов при взаимных переходах между полиморфными модификациями в растворе (от 25 до 55°C) и наблюдениями за фазовыми превращениями на воздухе (от 25 до 90°C).

Эксперименты включали в себя выращивание кристаллов моноклинной шестиводной фазы сульфата никеля (никельгексагидрит, β - $NiSO_4 \cdot 6H_2O$) и тетрагональной фазы того же состава (ретгерсит, α - $NiSO_4 \cdot 6H_2O$) из растворов, визуальное наблюдение за их преобразованием, а также определение их полей устойчивости в растворе. Условия фазовых равновесий уточнялись в микрокристаллизационной кювете по фиксации роста–растворения единичных затравок при контролируемом изменении температуры. Растворимости ретгерсита и никельгексагидрита характеризуются кривыми, слабо разориентированными друг относительно друга и пересекающимися в эвтонической точке G при 53°C (рис. 2).

Согласно Соболевой Л.В. и др. (1998), от 53 до 80°C кристаллизуется никельгексагидрит, фазы с меньшим содержанием воды (Ni-эплоуит и Ni-дворникит) являются метастабильными. От 80 до 100°C становятся стабильной только Ni-дворникит. По данным (Angel and Finger, 1988), никельгексагидрит при 75°C на воздухе обезвоживается до четырехводного Ni-эплоуита. Наши наблюдения показали, что обезвоживание никельгексагидрита до Ni-эплоуита проходит уже при

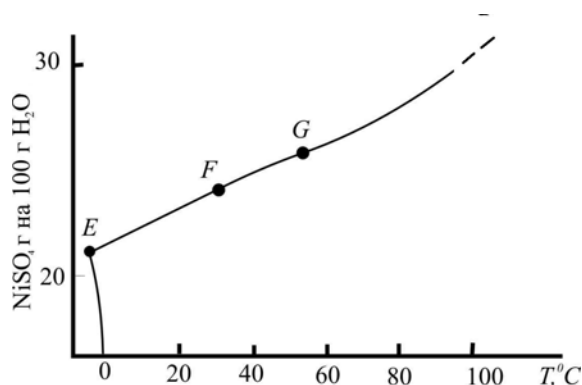


Рис 2 Растворимость сульфата никеля в воде. EG – поле устойчивости $\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (моренозит); FG – поле устойчивости $\text{NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (ретгерсит).

зеленого цвета (рис. 3). При температурах выше 53°C моренозит на, как и никельгесагидрит, обезвоживается до Ni-эплоуита. Ретгерсит кристаллизуется в диапазоне температур $33 - 53^\circ\text{C}$ (Соболева и др., 1998). Кристаллы ретгерсита довольно устойчивы к перепадам температур (при климатических испытаниях оптические элементы из ретгерсита выдерживают кратковременные колебания температур $-40 - +80^\circ\text{C}$). Выше 80°C ретгерсит начинает обезвоживаться до Ni-эплоуита. Ni-эплоуит имеет желто-зеленый цвет. При комнатной температуре и повышенной влажности он адсорбирует влагу из атмосферы и переходит в ретгерсит.

В эксперименте по массовой кристаллизации раствор, насыщенный при температуре около 40°C заливался в чашку Петри и охлаждался до температуры 25°C . При этом сначала выпадали кристаллы ретгерсита (изометрические, размерами до 2-3мм), затем моренозита (в виде иголок длиной до 10-12 мм) с образованием сростков. Сростки сушили при температуре около 55°C . При этом моренозит обезвоживался до Ni-эплоуита, а ретгерсит не изменялся (рис. 3)

Таким образом, фазовые взаимоотношения в системе сульфат никеля – вода сложны не только при кристаллообразовании (минералообразовании), но и при последующих преобразованиях кристаллов (гипергенетические изменения), что необходимо учитывать при выращивании и использовании ретгерсита в качестве материала для УФ-светофильтров.

53°C . При температурах ниже 53°C никельгексагидрит переходит в ретгерсит с образованием параморфоз различных текстур (Кульков, 2006), причем от 53 до 40°C возможно образование монокристалльных параморфоз. Моренозит кристаллизуется при температурах до 33°C . После извлечения из раствора, кристаллы моренозита довольно быстро (первые сутки) обезвоживаются до ретгерсита с образованием характерных псевдоморфоз яблочко-

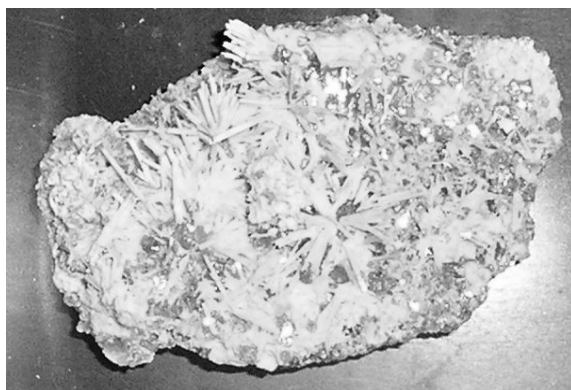


Рис. 3. Сросток кристаллов Ni-эплоуита (светлые иголки) и ретгерсита (темные кристаллы)

Искренне благодарю А.Э.Гликина за моральную поддержку и консультации.

Работа выполняется при поддержке РФФИ, грант 04-05-64416.

1. *I-Ming Chou, Robert R. Seal II*, American Mineralogist, V. 88, p. 1943-1948, 2003
2. *Яхонтова Л.К., Зверева В.П.* Основы минералогии гипергенеза: Учеб. пособие. Владивосток: Дальнаука, 2000. 331 с. ISBN 5-7442-1235-3.
3. *Соболева Л.В. и др.*, Кристаллография, 1998, том 43, 4, 756-760.
4. *Angel R.J. and Finger L.W.*, Polymorphism of Nickel Sulfate Hexahydrate, Acta Cryst. (1988) C44, 1869 -1873.
5. *Кульков А.М.* Монокристаллические и поликристаллические текстуры замещения никельгесагидрита ретгерсита, сборник работ конференции, Сыктывкар, 2006.

ДЕФОРМАЦИОННЫЕ ПАРАМАГНИТНЫЕ ЦЕНТРЫ В АЛМАЗАХ ИЗ МИРНИНСКОГО КИМБЕРЛИТОВОГО ПОЛЯ (ЯКУТИЯ)

*Минеева Р.М.¹, Титков С.В.¹, Солодова Ю.П.², Сперанский А.В.¹,
Бершов Л.В.¹, Седова Е.А.², Самосоров Г.Г.², Ермакова Е.С.²*

Московское отделение. ¹ ИГЕМ РАН. mineeva@igem.ru; ² РГГРУ.

DEFORMATION PARAMAGNETIC CENTERS IN DIAMONDS FROM MIRNINSKOYE KIMBERLITE FIELD (YAKUTIA)

*Mineeva R.M.¹, Titkov S.V.¹, Solodova Y.P.², Speransky A.V.¹, Bershov L.V.¹,
Sedova E.A.², Samosorov G.G.², Ermakova E.S.²*

Moscow branch. ¹ IGEM RAS. mineeva@igem.ru; ² RSGPU.

Как известно, часть природных алмазов кимберлитового и лампроитового происхождения испытали интенсивные пластические деформации. При этом в них образовывались как макроскопические дефекты (плоскости скольжения, разориентированные микроблоки, механические микродвойники и т.д.), так и точечные атомноразмерные дефекты структуры. С использованием метода ЭПР-спектроскопии к настоящему времени в алмазах выявлены и подробно исследованы парамагнитные центры деформационного происхождения N1, N2, N4, W7, W9, W10, W35, M2, M3 (Newton, Baker, 1995; Mineeva, Speransky, 1995). Их изучение представляет интерес как для реконструкции условий эпигенетических воздействий, которые испытали алмазы в природе, так и для выявления природы некоторых типов окраски деформационного происхождения – коричневой, розовой и фиолетовой.

Нами с использованием метода ЭПР-спектроскопии была исследована коллекция пластически деформированных кристаллов алмаза из различных кимберлитовых трубок Якутии – Интернациональная, Дачная, Юбилейная, Удачная, Айхал, Комсомольская и Нюрбинская (по 15-20 кристаллов из каждой трубки).

Спектры электронного парамагнитного резонанса (ЭПР), результаты анализа которых представлены в этой работе, регистрировались на спектрометре Varian E-115 в X-диапазоне с частотами модуляции 100 и 25 кГц при комнатной температуре. Измерения величины магнитного поля осуществлялись с помощью гауссметра E-500 NMR. Для анализа угловой зависимости линий использовался двухкружный гониометр, обеспечивающий возможность вращения образца вокруг двух взаимно перпендикулярных осей и его ориентацию в любом направлении по отношению к приложенному магнитному полю с точностью до 0,5°.

Все изученные пластически деформированные кристаллы алмаза из различных трубок содержали парамагнитные центры N2 (ранее его

связывали дислокациями, позднее было показано, что в его состав входит атом азота) и подавляющее большинство – W7 (два неэквивалентных атома азота и четыре атома углерода, которые образуют гофрированное кольцо). Однако, центры N1 (два неэквивалентных атома азота, разделённые атомом углерода) в изученной коллекции наблюдались только в кристаллах из трубок Интернациональная и Дачная Мирнинского кимберлитового поля. При этом алмазы, которые содержали центры N1 наряду с центрами N2 и W7, были окрашены в коричневый цвет различной интенсивности. В то время как, кристаллы, в спектрах которых кроме того наблюдался центр M2, как правило, были слабо окрашены в фиолетовый и серо-фиолетовый цвета. Недавно выявленный центр M2 представляет собой сфероподобное образование в структуре алмаза из двух неэквивалентных атомов азота и восьми атомов углерода (Mineeva, Speransky, 1995).

Необычные ЭПР спектры наблюдались у полупрозрачных чёрно-коричневых алмазов из этих же трубок. Анализ угловых зависимостей спектров показал, что в них центры N1 находятся как в основной части кристалла, так и в двойниках, которые имеют, по-видимому, деформационное происхождение. Недавно при изучении относительно интенсивно окрашенных в фиолетовый цвет алмазов, было показано (Mineeva et al., 2004), что наличие центров M2 в характерных структурных ориентациях свидетельствует о том, что пластическая деформация этих кристаллов происходила путем механического двойникования. Следует отметить, что и в изученных ранее относительно интенсивно окрашенных, и в проанализированных в настоящей работе светлоокрашенных фиолетовых алмазах парамагнитные центры M2 всегда находились только в механических микродвойниках.

Как известно, алмазы Мирнинского поля отличаются рядом типоморфных особенностей, и в частности, относительно повышенным содержанием фиолетовых кристаллов и исключительно низким содержанием кристаллов с округлыми поверхностями, образованными в результате растворения. По-видимому, и эпигенетические процессы пластической деформации алмазов из этого района протекали при специфических условиях, способствовавших образованию наблюдавшихся деформационных парамагнитных центров.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 05-05-64986).

1. Baker J.M., Newton M.E. Nitrogen in diamond studied by magnetic resonance // Appl. Magn. Reson., 1995. V. 8. № 2. P. 207-227.

2. Mineeva R.M., Speransky A.V., Titkov S.V., Zudin N.G. Ordering of paramagnetic defects in natural diamonds with microtwins // Mitt.Osterr.Miner.Ges., 2004. Bd. 149. P. 69.

3. Mineeva R.M., Speransky A.V. EPR studies on the di-nitrogen centers with nonequivalent atoms in a reddish-brown plastically deformed diamond // Appl. Magn. Reson., 2005. V. 28. P. 355-364.

ОЦЕНКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ КАЧЕСТВ ВЫСОКОЧИСТОГО КВАРЦИТА НЕКОТОРЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ВОСТОЧНОЙ СИБИРИ

*Непомнящих А.И.¹, Михайлов М.А.², Демина Т.В.³, Розенталь А.П.,
Богданова Л.А., Шалаев А.А.⁴, Васильева И.Е.⁵, Шабанова Е.В.,
Пройдакова О.А., Сокольникова Ю.В., Спиридонов А.М., Романов В.С.*

Восточно-Сибирское отделение. ИГХ СО РАН

¹ ainep@igc.irk.ru, ² mikmik@igc.irk.ru, ³ deminat@igc.irk.ru, ⁴ alshal@igc.irk.ru,
⁵ vasira@igc.irk.ru

EVALUATION OF TECHNOLOGICAL PROPERTIES OF THE HIGHLY PURE GUARTZITE IN SOME EAST SIBERIA DEPOSITES

*Nepomnyashikh A.I.¹, Mikhailov M.A.², Demina T.V.³, Rozental A.P.,
Bogdanova L.A., Shalaev A.A.⁴, Vasilyeva I.E.⁵, Shabanova E.V.,
Proidakova O.A., Sokolnikova Yu.V., Spiridonov A.M., Romanov V.S.*

East Siberian branch. Vinogradov Institute SB RAS

¹ ainep@igc.irk.ru, ² mikmik@igc.irk.ru, ³ deminat@igc.irk.ru, ⁴ alshal@igc.irk.ru,
⁵ vasira@igc.irk.ru

Одними из основных условий повышения эффективности развития производства являются: 1) поиск и освоение высококондиционных близповерхностных месторождений многофункциональных полезных ископаемых; 2) вовлечение в практику высокоэкономичных процессов технологической переработки исходного сырья или их разработка.

Произведена оценка технологических качеств высокочистого кварцита двух типов месторождений: редкого метаморфогенно-метасоматического, находящегося на земной поверхности (Воробьев и др, 2003) и распространенного жильного (Бродовиков, 2004). Из первого типа месторождения исследован сахарно белый т.н. «суперкварцит» (**сырье I**), из второго - сахарно-белый гранулированный кварцит (**сырье II**). Краткая характеристика исходного сырья обоих типов приведена в таблице 1.

Куски обоих типов сырья после прохождения операций дробления (в щековой дробилке) и ручной рудоразборки (для удаления кусочков с визуально видимыми примесными фазами) подвергались предварительной обработке в растворе HCl (для удаления техногенных примазок окислов железа), затем – термодроблению. Высушенный продукт термодробления подвергался классификации для выделения так называемой кварцевой крупки: зерен размером от 0,1 до 0,4 мм. Кварцевая крупка проходила обогащение в минеральных кислотах (HCl, HF или их смеси). Результаты анализа исходной и обогащенной кварцевых крупок приведены в таблице 2.

Установлено, что для каждого вида сырья требуется подбирать типы и количество операций очистки. В ряде случаев выявлено техногенное заражение проб, источники их загрязнения. Намечены варианты улучшения методов очистки кварцевого сырья.

Из очищенной на предыдущем этапе кварцевой крупки обоих типов сырья получены прозрачные однокомпонентные кварцевые стекла в лабораторных и заводских условиях (рис. 1).

Таблица 1.

Краткая характеристика исходного сырья

№пп	Сырье I	Сырье II
1	Неравномернoзернистая порoда, состоящая из аллотриморфных зерен кварца различной крупности (мм): 50% крупных (до 4.80×1.00), 30% средних (до 0.90×0.50), 20% мелких (от 0.05×0.05 до 0.25×0.25)	Неравномернoзернистая порoда, состоящая из аллотриморфных зерен кварца различной крупности (мм): единичные гиганты (7×4), 10 % крупных (2,8-4,5), 70% средних (0,8-0,4÷1,1-1,0) и 20% мелких (0,5-0,4÷0,2-0,01)
2	Практически мономинеральная порoда	Акцессорные минералы (менее 1 %) мусковит, слюда флогопит-биотитового ряда, хлорит, лимонит, редко альбит
3	Летучие газoво-жидкие примеси: вода, углеродсoдержающие вещества и водород (в соотношении 56/15/1).	Летучие газoво-жидкие примеси (ppm): SiF ₄ (54), вода (28), углеродсoдержающие вещества (6,1), NH ₃ (2,5), HF (0,87), HCl (0,5), SO ₂ (0,27), H ₂ (0,07)
4	Коэффициент светoпропускания до 60%	Коэффициент светoпропускания от 70 до 86%

Примечание: Типы анализов: 1 – петрографический, 2 – рентгенофазовый, 3 – масс-спектрометрический.

Таблица 2

Содержание примесей в сырье (нормируемых в оптическом стекловарении), ppm

Тип сырья (№ анализа)	Al	Ca	Mg	Fe	Ti	Mn	Na	K	Li	Cu	Σ ¹⁰
I, исх.БС4 (11ск)	43,7	1,8	10,7	4,7	0,4	0,25	3,2	7,5	0,02	<0,1	72,27
I/3, БС4(16ск)	20,3	<1	0,6	<0,1	<0,1	0,2	2,6	3,7	0,1 ^T	0,7 ^T	28,2
I, исх БС5 (21ск)	22,8	<1	0,1	0,2	<0,1	0,01	4,7	3,9	0,1	1,0	32,81
I/1,БС5 (23ск)	8,4	<1	0,7 ^T	10,8 ^T	<0,1	0,01	6,0 ^T	3,9	<0,1	1,4 ^T	31,21
I/3,БС5 (24ск)	7,1	<1	0,1	<0,1	<0,1	0,01	3,2	1,5	<0,1	0,7	12,61
I/14,БС5 (8ск)	3,5	<5	<0,1	0,1	<0,5	<0,1	4,0	1,4	0,09	<0,1	9,09
II исх.(50ск)	40,7	1,8	2	1,4	1,4	<0,5	2,7	5,2	1,9	<1	58,6
II /1(70ск)	24,2	<0,6	4,1	21,6 ^T	2,6	<0,5	4,6	8,6	1,8	0,31	58,36
II /3	29,26	5,7 ^T	3,1	2,4	2,47	1,32 ^T	2,7	5,1	1,7	<0,1	53,80
II / 4	17,87	6,3 ^T	2,2	2,1	1,92	<0,1	2,1	2,9	1,7	<0,1	37,19

Примечания: исх – исходный; 1-4,14 – варианты лабораторной очистки; ^T - техногенное загрязнение. Методы анализа: прямой атомно-эмиссионный анализ, пламенная фотометрия.

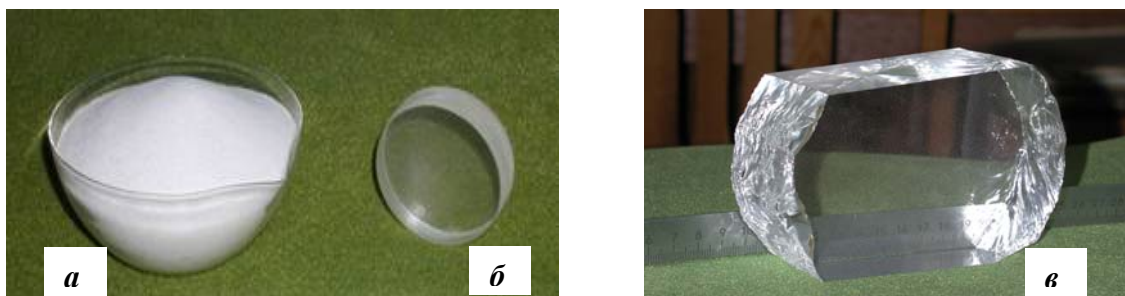


Рис. Кварцевая крупка (а) и кварцевые стекла, полученные в лабораторных (б) и заводских (в) условиях

1. Воробьев Е.И., Спиридонов А.М., Непомнящих А.И., Кузьмин М.И. Сверхчистые кварциты Восточного Саяна (Республика Бурятия, Россия) // ДАН, 2003, т. 390, № 2, с. 219-223.

2. Бродовиков Н.Р., Непомнящих А.И., Михайлов М.А. и др. Гранулированный кварц Патомского нагорья // Тез. совещ. «Кремний –2004». Иркутск, 5-9 июля 2004, с. 16.

ОСНОВЫ ЭВОЛЮЦИИ ПРИРОДНЫХ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МИНЕРАЛОВ

Пирогов Б.И.

Московское отделение. РГГПУ. pirogov_bi@inbox.ru

FUNDAMENTALS IN EVOLUTION OF NATURAL AND TECHNOLOGICAL PROPERTIES OF MINERALS

Pirogov B.I.

Moscow branch. Russian State Geology-Prospecting University. pirogov_bi@inbox.ru

Эволюционные закономерности развития минерального мира во взаимосвязи с живым веществом - минералы и их ассоциации; в целом состав, текстурно-структурные признаки и свойства полезных ископаемых (ПИ), в том числе технологические (ТС), формируются в единой геолого-техногенной системе (ЕГТС) на макро-, микро- и наноуровне. Они определяют основные факторы обогатимости с учетом минералого-геохимической и экологической специализации ПИ, отражая круговорот минерального вещества (МВ) в Природе и Технологии на различных уровнях его организации: *индивид (кристалл, зерно, частица) → агрегат (агрегат малых частиц) → рудное тело → минералогическая аномалия (отвалы пустых пород и некондиционных ПИ, хвостохранилища-техногенные МПИ) → минералогическое поле...* ЕГТС охватывает физическое, вещественное и энергетическое пространство, в котором минерал развивается во взаимосвязи со средой (природной и технологической), эволюционируя под действием внешних и внутренних факторов, распадаясь на системы «минерал», два типа «сред» и взаимосвязи между ними. Развивая идеи Н.П.Юшкина (1977) о взаимосвязи между минералом и минералогенетической средой, следует считать их во много общими и в технологической системе. Они подразделяются на: а) *энергетические*, обеспечивающие обмен энергией при структурных преобразованиях индивида; б) *вещественные*, связанные с поступлением из среды в минеральный индивид, обеспечивающее его рост, или, наоборот, разрушение индивида и удаление вещества из минерала в среду; в) *информационные* – передача особенностей структурной организации вещества и энергии от среды к минералу и обратно. Опираясь на особенности вещественного состава, текстурно-структурных признаков, физико-механических и физико-химических свойств ПИ различных генетических типов; законы минералогии – информационные, резонанса, инерции (Юшкин, 1977; 1983; Григорьев, 1998); учитывая взаимосвязи и во многом подобие между процессами

минералообразования (преобразования) в Природе и Технологии; данные технологических экспериментов, мы формируем наши представления о ТС минералов. ТС минералов - плотностные, магнитные, полупроводниковые, люминесцентные, флотационные и др. - являются функцией конституции и генезиса, а потому «жизнь», начатая в геологических процессах, продолжается в технологических аппаратах. Это отражает двоякую природу ТС (Пирогов, 1982) с локализацией информации на разных уровнях минералогической «памяти» - морфологическом, структурном, изотопном, молекулярном, магнитном и т.п. Различия природных и техногенных условий связаны с масштабностью размеров, массой, временем, энергией процессов (Дементьева, Смирнова, 1996). Причем длительность природных процессов, которые формируют ТС минералов, до установления термодинамического равновесия исчисляется тысячелетиями. Согласно принципу наследования структурных, вещественных и морфологических признаков минералов (Юшкин и др., 1984), их ТС потенциально проявляются в различных эволюционных рядах минералов (ассоциаций), отражающих непрерывное направленное развитие процессов минерагенезиса (результат взаимодействия в различных энергетических полях минералов со средой). Этот принцип важно учитывать при разработке технологических процессов переработки и модифицировании минералов, руд; в управлении ими. Однако, быстро текущие технологические процессы, обусловленные производительностью аппаратов, интенсивно разрушая естественную информационную структуру минерала, медленнее передают ее новым продуктам в более или менее сохранившемся виде.

Исследуя индивиды и агрегаты рудных минералов, сростаний с другими минералами важно выразить телесно изменчивость и эволюцию их ТС и признаков с использованием онто- и филогенического подходов (Григорьев, 1978; 1998), комплекса современных методов анализа (ЭМ и РЭМ, РВМТ, ИКС, РКФА, ЯГРС, ЯМР, ЭПР, оптико-геометрический с автоматизированными компьютерными системами, микрозондовый, термический радиографический и др. методы). Для рудных, нерудных, техногенных ПИ определяется свой комплекс минералогических и других методов минералого-технологической оценки с учетом их генетических особенностей и преобразований при обогащении. Д.П.Григорьев (1978) подчеркивает, что познавая генезис минералов, очень важно придать понятию наряду с химическим четкий физический смысл. Это позволит выразить те или иные особенности неоднородности химического состава и структуры различных порядков в анатомии реальных кристаллов и частиц; учесть различные по составу включения, поры, трещины, покрытие адсорбционным слоем, различные пленки, синтаксию, эпитаксию и др. особенности. Следует также иметь в виду, что она отражает историю их роста, неоднократную смену габитуса, трансформацию скелетного роста в полногранный и наоборот. Важно выявить и проследить особенности

изменений, связанные с этапами их син- и эпигенетического метаморфизма (Руденко и др., 1978). Особое место в оценке ТС минералов и руд принадлежит заключительным этапам минерагенеза, фрагментарно «замораживающих» информацию в морфолого-структурных количественных параметрах (прежде всего, в срастаниях минералов, позволяющих оценивать эффективность их раскрытия при измельчении). Именно онтогенетический подход к оценке технологических особенностей минералов и руд обеспечивает: а) *выбор оптимальных условий раскрытия зерен полезного компонента* с учетом природы срастаний, определяющей гранулометрию, форму зерен срастающихся минералов и особенности их границ; б) *оптимизацию технологического процесса* с учетом неперенной неоднородности состава и свойств мономинеральных зерен (при комплексном анализе анатомии индивидов). В организации системы рудоподготовки и выбора наиболее эффективных методов сепарации ПИ важна оценка типоморфных признаков и свойств минералов, определяющих минералого-технологические особенности типов и сортов руд по глубине и экономичности их переработки. Чтобы учесть динамику изменения свойств за счет внешнего энергетического воздействия, в том числе направленного на повышение степени их контрастности в технологическом режиме, необходимо учитывать, что ТС минералов формируются в широком природно-технологическом гранулометрическом спектре ЕГТС как на стадии рудоподготовки, так и в различных узлах схемы обогащения. Ведущим фактором здесь выступает, прежде всего, крупность измельчения руд (Ревнивцев, 1983), верхний предел которой в начале XX в. составлял 1 мм, в 30-е годы для всех типов руд он был снижен на порядок – до 100 мкм, а в настоящее время многие руды измельчаются до 50 мкм, т.к. существенно ухудшились их текстурно-структурные признаки. Суммарная поверхность измельченной руды при переходе 1 мм → 100 мкм крупности возрастает на 2 порядка, а при снижении линейных размеров до 50 мкм она увеличивается уже на 4 порядка (преодолевается качественный барьер). Эти изменения в системе обогащения связаны с вовлечением все большего количества «труднообогащаемых руд» с неблагоприятными характеристиками: тонкозернистые со сложными срастаниями минералов и текстурами, обогащаемые с большим количеством шламов (частицы < 20-10 мкм), не имеющих эффективных методов обогащения. В этих рудах ассоциации минералов имеют близкие ТС и обуславливают низкую их контрастность при сепарации. Например, ассоциации хризоколлы, халькантита, брошантита, полевых шпатов и кварца затрудняют флотуруемость окислов и сульфидов ряда Cu-Mo и Cu руд (Пирогов, 2000). При тонком измельчении (< 44 мкм) могут значительно изменяться природные признаки ПИ – морфология, гранулометрия и конституция минералов, вплоть до появления новообразованных фаз, явлений аморфизации, псевдоморфизации, полиморфизма (Пирогов, 1982). Преобразования

минералов при измельчении обычно начинается и заканчивается под воздействием нагрузок (тектонических в природе и механических в измельчительных аппаратах), обуславливая различную степень диспергирования и последующего технологического агрегатирования вещества (флокулы и др.). При этом по деформированным участкам, особенно вдоль зон хрупкого разрыва, интенсивнее протекают процессы разложения, окисления и других видов физико-химических преобразований системы минерал – среда, что особенно минералов техногенных МПИ (Юргенсон, 2002; Шмакин, Коваль, 2002 и др.). Наиболее существенные изменения связаны с конституцией минералов – структурой и составом. Так, исследования обогатимости Fe руд различных генетических типов (Пирогов и др., 1988) показали, что изменения в структуре связаны, прежде всего, с морфотропными изменениями в ряду: вюстит $Fm3m$ – магнетит $Fd3m$ – маггемит $R4_22_12$ – гематит $R3c$. В природных и промышленных условиях окислительно-восстановительные процессы перехода магнетита в вюстит или маггемит (далее в гематит) связаны с существенными объемными изменениями на фоне симметричных преобразований (Дымкин, Пермяков, 1984). Так, при окислении магнетита до маггемита объем рудной фазы увеличивается на 9 %, при восстановлении до вюстита – уменьшается на 21 %, что приводит к большой деформации как отдельных зерен, так и агрегатов. Они провоцируют процессы псевдоморфизации магнетита и гематита (мартитизацию и мушкетовитизацию), которые весьма существенно сказываются на изменении таких ТС преобразованных минералов, как характер и величина удельной поверхности, магнитных (прежде всего, на коэрцитивной силе и др.). Эти процессы в природе усиливаются за счет возникновения многочисленных вторичных микротрещин в минералах. Оба явления весьма существенно проявлены в железистых кварцитах Михайловского месторождения КМА. Это четко прослеживается в изменении величины полной удельной поверхности магнетитового концентрата по зональности толщи кварцитов (крупность измельчения 95 % класса < 44 мкм) - от существенно магнетитовых с силикатами и пиритом до гематит-магнетитовых (1- Fe = 65,8 % и уд.п. = 1788 м²/ кг; 2 – 65,3 и 1407; 3 – 66,0 и 1200).

В развитии ЕГТС важен учет иерархической систематики дискретного состояния вещества (Туресебеков и др., 1999) в ряду образований: *минерал* → *микроминерал* → *квазикристаллы* → *фуллерены* → *аморфное вещество* → *коллоиды* → *наночастицы* → *кластеры*. Это позволит по-новому подойти к минералого-технологической оценке комплексности, экологичности ПИ и отходов, разработке нестандартных их оценки, технологии добычи и обогащения; обеспечить разработку экономо-экологических технологий получения новых нетрадиционных видов сырья (цеолиты, сапонит, полевые шпаты, дистен, гранаты и др.), постоянно расширяя области их применения.

Исследования эволюции ТС минералов и поведения техногенных фаз позволяют говорить о двух основных механизмах изменений, как это уже подчеркивалось выше, - полиморфном и изоморфном (Дементьева, Смирнов, 1996). Наиболее четко оба механизма превращений противопоставляются в техногенезе. При этом полиморфный механизм превращений представляет собой не химические, а симметричные реакции минералов. В случае формирования ТС минералов за счет полиморфных превращений энергия тратится на разупорядочение решетки и структура превращается в низкосимметричную фазу, как показано выше для Fe руд. Авторы подчеркивают - с понижением симметрии возрастают примесная емкость структуры и реакционная активность полиморфных фаз. На примерах рядов сульфидов и оксидов они показывают, что полиморфные модификации существенно различаются по своим физическим свойствам: плотности, твердости, оптическим характеристикам. Это позволяет фиксировать при измельчении руд на ГОКах превращения: магнетит – гематит, сфалерит – вюртцит и др. Механизм нормального изоморфизма не связан с резким изменением в энергетике структур, предопределяя путь монотонного изменения физических свойств минералов. Нередко в макрокристаллах развит наноблочный изоморфизм (Юшкин, 1999). Он образует новый мир структур и морфологически упорядоченных объектов, находящихся в дальнем порядке структурообразующих частиц (механически захваченные в процессе роста наноиндивиды; в виде структур распада твердых растворов; в межзеренных и границах субиндивидов; в агрегатах и надмолекулярной упорядоченности наноструктурах аморфных веществ и др.). Конституция и форма наноиндивидов определяется только внутренними факторами и практически не зависит от внешних воздействий. Этот вид изоморфизма важен при решении проблем полного извлечения полезных компонентов из руд, получения новых видов минерального сырья, при оценке показателей обогащения руд различных генетических типов (например, магнетитовых концентратов из руд Ковдора и др.). Четко просматривается взаимосвязь явлений полиморфизма и изоморфизма в морфотропном ряду оксидов Fe, приведенном выше. Несомненно, оба явления предопределяют выбор режимов обогащения руд различных генетических типов. Практика работы ГОКов также показывает, что на эффективность процессов сепарации многих руд может оказывать отрицательное влияние любой минерал (или группа минералов), даже в небольшом количестве, ухудшая показатели обогащения (Пирогов и др., 1988; Попов, 1988; Изюмко В.М. 1997 и др.). Например, появление слоистых силикатов (талк, хлорит, слюды) от десятых долей до первых процентов отрицательно сказывается на флотационных свойствах рудных минералов из скарновых W-Mo руд. В Fe-P рудах появление 0,5-1,5% гипса подавляет флотацию апатита и т.д.

На основе представлений об эволюции ТС минералов в Природе и Технологии основные методы направленного их изменения связаны с «регенерированием» или «залечиванием» дефектов кристаллической решетки на поверхности или в объеме измельченных частиц. К ним относятся: *механические* (особые режимы и приемы измельчения), *акустические* (ультразвуковая обработка), *термические* (нагревание и последующее быстрое или медленное охлаждение), *активация свойств поверхности* (блокировка поверхностных центров в физических полях простыми молекулами газовой составляющей; изменение соотношения электронных и дырочных центров различными методами смещения адсорбционно-десорбционного равновесия, что изменяет условия сепарации частиц как за счет поверхностных, так и объемных изменений, Котова, 2004), *химические изменения* (протравливание, обработка реагентами, «легирующими» поверхность примесными ионами), *радиационные* (облучение рентгеновскими и гамма-лучами, потоками быстрых частиц) т.п. При направленном изменении свойств минералов на макро-, микро- и наноуровне возможно воздействовать как на сам минерал, так и среду. При различных видах энергетического воздействия с учетом типоморфных особенностей ПИ возможно направленно преобразовать их ТС, выбрать оптимальный способ модификации, изменив целенаправленно контрастность сепарируемых минералов и оптимизировав схему обогащения (Направленное изменение..., 2003).

1. Григорьев Д.П. Позиции онтогении минералов. // ЗВМО, 1978, ч. 107, в. 4, с. 407-415.
2. Григорьев Д.П. Рассуждения о минералогии. Сыктывкар: Геопринт, 1998, 88с.
3. Григорьев Д.П., Жабин А.Г. Онтогения минералов. М., 1975, 340 с.
4. Дементьева Г.И., Смирнов Ю.М. Изоморфные и полиморфные превращения минералов в техногенезе. // Обогащение руд, № 3. 1988, с. 34-37.
5. Дымкин А.М., Пермяков А.А. Онтогения магнетита. Свердловск: УНЦ АН СССР. 1984, 188 с.
6. Изоитко В.М. Технологическая минералогия и оценка руд. СПб.: Наука, 1997, 582 с.
7. Котова О.Б. Поверхностные процессы в тонкодисперсных минеральных системах. Екатеринбург: УрО РАН, 2004, 194 с.
8. Направленное изменение физико-химических свойств минералов в процессах обогащения полезных ископаемых. // Плаксинские чтения. М.: Альтекс, 2003, 145.
9. Пирогов Б.И. Особенности технологической минералогии медно-молибденовых руд порфирового типа. // Минералогия России. СПб.: Мин. об-во при РАН, 2000, с. 201-203.
10. Пирогов Б.И., Поротов Г.С., Холошин И.В., Тарасенко В.Н. Технологическая минералогия железных руд. Л.: Наука, 1988, 304 с. Попов В.А. О необходимости усиления минералогических исследований в технологии минерального сырья. // Онтогения минералов и технологическая минералогия. Киев: Наукова Думка, 1988, с. 16-21.

11. *Ревнивцев В.И.* Рудоподготовка как новое направление горных наук . //Основные направления развития техники и технологии обогащения ПИ. Л., 1983, с. 3-22.
12. *Руденко С.А., Иванов М.А., Романов В.А.* Метаморфизм минералов – важное явление в истории их формирования. // ЗВМО, 1978, № 6, с. 698-710.
13. *Турсебеков А.Х. Конеев Р.И., Каширский С.А., Ахмедов А.М.* Дискретное состояние вещества в рудных и техногенных системах. //Минералогическое общество и минералогическая наука на пороге XXI века. СПб.: Мин. об-во при РАН, 1999, с. 174-175.
14. *Юргенсон Г.А.* Проблемы минералогии геотехногенеза. //Роль минералог. исслед в решении эколог. проблем (теория, практика, перспективы развития). СПб.: Мин. об-во при РАН, 2002, с. 200-203.
15. *Юшкин Н.П.* Теория и методы минералогии. Л.: 1977, 291 с.
16. *Юшкин Н.П.* Теоретические и методические основы расшифровки генетической информации, содержащейся в минералах. //Новые идеи в генетич. минералог. Л.: Наука, 1983, с. 38-47.
17. *Юшкин Н.П.* Наноминералогия: объекты, функции, перспективы. //Минералогическое общество и минералогическая наука на пороге XXI века. СПб.: Мин. об-во при РАН, 1999, с. 20.
18. *Юшкин Н.П., Хомяков А.П., Евзикова Н.З.* Принцип наследования в минералогенезисе. Сыктывкар: Препринт. 1984, в. 93, 32 с.

ВАРИАЦИИ МИНЕРАЛЬНЫХ ФОРМ Au И Ag НА МЕСТОРОЖДЕНИИ БЕРЕЗНЯКОВСКОЕ (Ю. УРАЛ)

Плотинская О.Ю.¹, Новоселов К.А.², Коваленкер В.А.¹, Зелтман Р.³

¹ Московское отделение. ИГЕМ РАН. plotin@igem.ru;

² Уральское отделение. ИМин УрО РАН;

³ Музей Естественной истории, Лондон

VARIATIONS OF MINERAL FORMS OF Au AND Ag IN BEREZNYAKOVSKOE DEPOSIT (THE SOUTH URALS)

Plotinskaya O.Yu.¹, Novoselov K.A.², Kovalenker V.A.¹, Seltmann R.³

¹ Moscow branch. IGEM RAS. plotin@igem.ru;

² Uralian branch. IMin UB RAS;

³ NHM. London, UK

Березняковское золоторудное эпитеpмальное месторождение расположено на Южном Урале в 35 км южнее г. Челябинска, в пределах Биргиндильско – Томинского рудного узла. Оруденение прожилково-вкрапленного типа локализовано в андезит-дацитовых порфиритах (D₃-C₁). Гидрослюдистая кора выветривания распространена до глубины 20 – 50 м (Грабежев и др., 2000, Lehmann et al., 1999, Новоселов и др., 2005). На настоящий момент разведана центральная часть Березняковского рудного поля (собственно Березняковское месторождение) и т.н. Юго-Восточный сателлит. Наблюдается уменьшение отношения Au/Ag от центра к периферии рудного поля (Савинов, 2005).

В первичных неокисленных рудах установлено 2 рудных стадии: пиритовая (вкрапленность пирита в кварц-серицитовых метасоматитах) и полиметаллическая (Грабежев и др., 2000). Полиметаллическая стадия развита в пределах рудного поля повсеместно, но обнаруживает значительные вариации минерального состава. Она подразделена на энаргитовую, блеклорудно-теллуридную и золото-теллуридную подстадии.

Энаргитовая подстадия развита только в пределах в пределах центральной части месторождения и представлена энаргитом (Cu₃AsS₄) с вкрапленностью клаусталита (PbSe), станноидита и Te-Sb-теннантита. Минерализация *блеклорудно-теллуридной* подстадии в центральной части месторождения представлена массивными агрегатами теннантита с пиритом, а в Юго-Восточного сателлите – вкрапленностью этих минералов в кварце. Золото и серебро присутствуют почти исключительно в теллуридной форме – в силъваните (AuAgTe₄), креннерите ((Au,Ag)Te₂), калаверите (AuTe₂) и петците (AuAg₃Te₄), которые вместе с самородным Te и алтаитом (PbTe) образуют вкрапленность и прожилки в теннантите (рис. 1 а). Минералы *золото-теллуридной* подстадии развиты только в

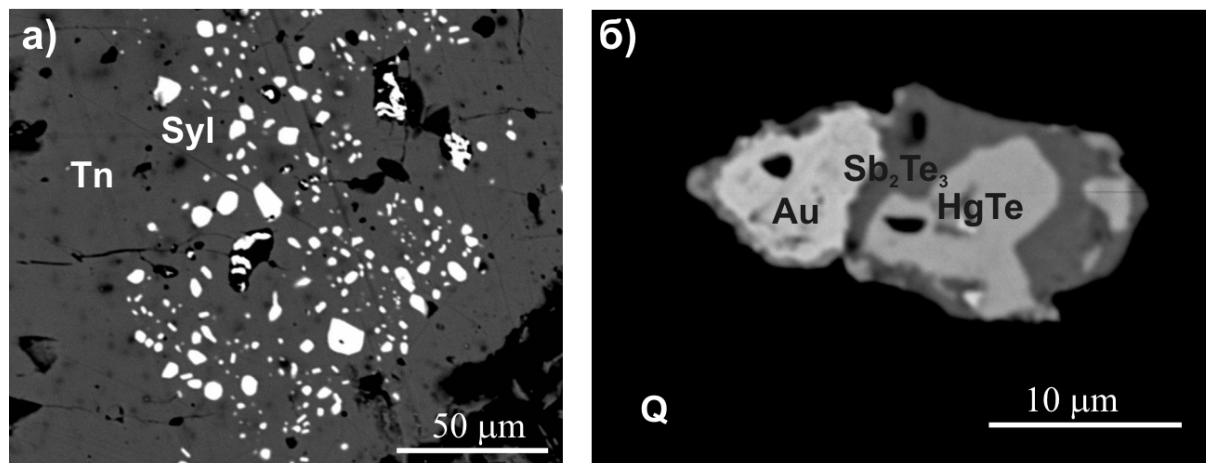


Рис. 1. Минеральные ассоциации теллуридов на Березняковском рудном поле: а)– эмульсионная вкрапленность силъванита (Syl) в теннантите (Tn), месторождение Березняковское; б)– самородное золото (Au), колорадоит (HgTe) и теллурантимон (Sb_2Te_3) среди кварца (Q), Юго-Восточный сателлит. Обратнo-рассеянные электроны, Jeol 5900 LV SEM

пределах Юго-Восточного сателлита и представлены теннантит-тетраэдритом с примесями Ag до 3 мас.% с гесситом (Ag_2Te) и штюцитом ($\text{Ag}_{5-x}\text{Te}_3$), а также высокопробным самородным Au (937 ‰) с калаверитом, теллурантимоном (Sb_2Te_3) и колорадоитом (HgTe), реже – с галенитом и антимонитом (рис. 1 б).

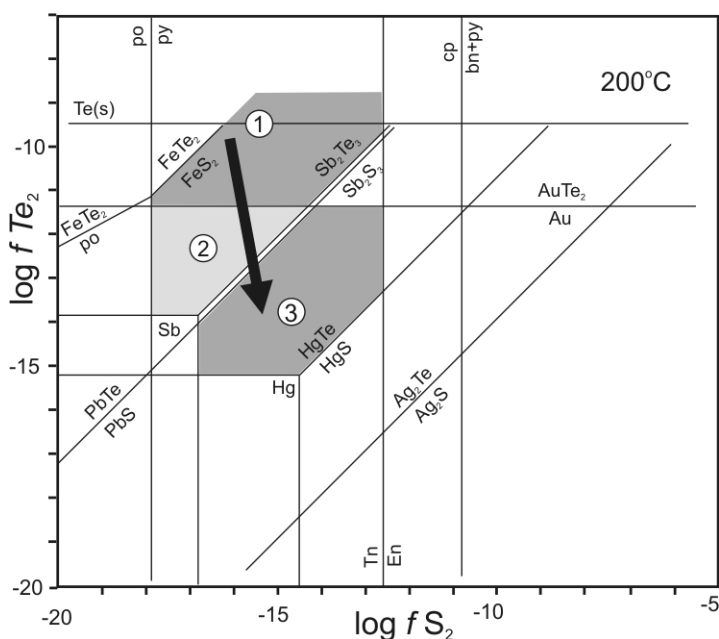


Рис. 2. Поля кристаллизации основных ассоциаций Au и Ag Березняковского месторождения на диаграмме фугитивность серы – фугитивность теллура для 200°C. Термодинамические данные взяты из (Afifi et.al. 1988 и Barton, Skinner, 1979). Временной тренд показан стрелкой. Пояснения в тексте.

Для выявления причин описанных вариаций минеральных форм золота и серебра были рассчитаны пределы стабильностей основных золото- и серебро-содержащих ассоциаций в координатах фугитивность серы – фугитивность теллура для 200°C (рис. 2).

Ассоциация самородный Te + алтаит + калаверит (поле 1 на рис. 2) указывает на высокую фугитивность Te ($10^{-9} - 10^{-11}$) при фугитивности серы от 10^{-18} до $10^{-12,5}$. Появление ассоциации самородное Au + калаверит + алтаит + теллурантимон (поле 2 на рис. 2) возможно при снижении f_{Te} до $10^{-12} - 10^{-14}$, а ассоциации золото +

галенит + антимонит – при дальнейшем снижении f_{Te} до 10^{-15} (поле 3 на рис. 2). Фугитивность серы при этом могла оставаться постоянной.

Таким образом, на месторождении Березняковское установлено зональное распределение минеральных форм благородных металлов. В центральной части месторождения они присутствуют в теллуридной форме, а на периферии золото встречается как в теллуридной, так и в свободной форме, а серебро – либо в теллуридной, либо входит в состав самородного золота и блеклых руд. Основной причиной подобных пространственных и временных вариаций является снижение фугитивности Te от центра к периферии месторождения и от ранних минеральных ассоциаций к поздним.

Авторы выражают благодарность главному геологу ЗАО «Еткульзолото» Савинову А.И. за содействие в работе. Исследования выполнены при поддержке Фонда Содействия Отечественной Науке, Гранта Президента РФ МК-4396.2006.5, РФФИ № 05-04-64407.

1. Грабежжев А.И., Сазонов В.Н., Мурзин В.В. и др. Березняковское золоторудное месторождение (Южный Урал, Россия) // Геология рудных месторождений. 2000. № 1. С. 38-52.

2. Новоселов К.А., Савинов И.А., Белогуб Е.В., Котляров В.А. Энаргит-теннантитовые руды Березняковского месторождения золота (Южный Урал) // Металлогения древних и современных океанов – 2003. Формирование и освоение месторождений в островодужных системах. Миасс, ИМин УрО РАН, 2003, с. 177-183.

3. Савинов И.А. Геохимия золота и серебра юго-восточного сателлита Березняковского золоторудного месторождения (Южный Урал). // Металлогения древних и современных океанов – 2004. Достижения на рубеже веков. Том 2. Миасс, ИМин УрО РАН, 2004, с. 35-39.

4. Afifi AM, Kelly WC, Essene EJ (1988) Phase relations among tellurides, sulfides, and oxides: I. Thermochemical data and calculated equilibria; II. Applications to telluride-bearing ore deposits. Econ Geol 83: 377–394 and 395–404

5. Barton PB Jr, Skinner BJ (1979) Sulfide mineral stabilities. In: Barnes HL (ed) Geochemistry of hydrothermal ore deposits. New York: Wiley Interscience 278–403

6. Lehmann B., Heinhorst J., Hein U. et al. The Bereznyakovskoe gold trend, Southern Urals, Russia // Mineralium Deposita, v. 34. 1999. P. 241-249.

**О ФРУСТУМАЦИИ (СВОЙСТВЕ ПЕРВИЧНОЙ КУСКОВАТОСТИ,
ФРАГМЕНТАЦИИ) ГОРНЫХ ПОРОД И ЕЁ ВЛИЯНИИ НА ИХ
ДРОБИМОСТЬ И ВОЗМОЖНОСТЬ КРУПНОКУСКОВОГО
ОБОГАЩЕНИЯ**

Поваренных М.Ю.

Московское отделение. ОГЛ БЕН РАН. povar@igem.ru

**ABOUT FRUSTUMATION (PROPERTY OF THE PRIMARY
FRAGMENTATION OR LUMPINESS) OF ROCKS AND ITS
CORRELATION WITH CRUSHING CAPACITY AND POSSIBILITY
OF A LUMPY PROCESSING**

Povarennykh M.Yu.

Moscow branch. Geological Literature Department of the Library for Natural Sciences RAS
povar@igem.ru

В последние 15-20 лет после впечатляющих успехов физико-химического подхода к рассмотрению горных пород в духе классической термодинамики Гиббса и Коржинского в петрографии намечается возрождение интереса к их структурно-текстурным характеристикам, являющимся по своей сути отражением нелинейности и неравновесности процессов их генезиса, для познания законов которых применимы идеи И.Р. Пригожина и его школы [29,43,46,49].

Эта тенденция вызвана, по нашему мнению, рядом факторов: 1) осознанием явной недостаточности аппарата равновесной термодинамики для объяснения реально наблюдаемых горнопородных явлений и привлечением для этого синергетических представлений и аппарата неравновесной термодинамики; 2) потребностями практики геологической разведки месторождений (особенно месторождений нефти и газа - в осадочных и метаморфогенных толщах) и инженерно-геологического прогнозирования устойчивости и долговечности инженерных сооружений в сейсмо- и экологически опасных регионах; 3) необходимостью перейти от словесного, часто субъективного и построенного на основании исследований в плоских срезах двумерного описания горных пород на трехмерную количественную основу; 4) потребностью создания *теории горной породы*, и на ее основе - фундаментальной науки петрологии и *естественной классификации горных пород*.

В докладе посвящён последнему из вышеперечисленных, но наиважнейшему, по нашему мнению, фактору, и отмечается взаимосвязь теоретических представлений и таких основополагающих свойств руд как дробимость и крупнокусовая обогатимость..

До последнего времени среди петрографов не существует общепризнанного определения понятия «горная порода», не говоря уже об основных классификационных понятиях «индивид» и «вид» горной породы. В соответствии с главными геологическими процессами, приводящими к образованию горных пород, выделяются три их генетических класса: осадочные, магматические и метаморфические, которые в свою очередь подразделяются по минеральному, химическому, гранулометрическому, структурно-текстурному и другим признакам. В горном деле широко распространены классификации по какому-либо параметру, служащие для производственных целей: по пористости, объёмному весу, буримости, модулю упругости, электропроводности и др. Общей же универсальной классификации горных пород до сих пор не существует [1,31,37,48].

Многими геологами разделяется концепция уровневой организации геологических объектов, согласно которой объекты любого из уровней состоят непосредственно из объектов предыдущего ранга. Нам представляется методологически более обоснованной развивающаяся в последнее время концепция, согласно которой “... естественные системы образуются не объектами предыдущего ранга иерархии, а совокупностью элементарных ячеек” [7,15,23]. Для горной породы при сопоставлении её с объектом предыдущего ранга (минерального) эта концепция также является более предпочтительной. Показать это, как нам кажется, довольно просто. Так, если для мономинеральной горной породы рассмотрение её как совокупности более или менее одинаковых минеральных зёрен в качестве её элементов выглядит на первый взгляд достаточно обоснованным (а нередко в литературе можно встретить предложение выделять элементарные ячейки горных пород по симметричному принципу расположения отдельных зерен в терминах плотнейшей шаровой укладки, формально заимствованному из минералогии) [3-6,9-10,14], то уже для любой, даже самой простой полиминеральной породы никакое одно минеральное зерно не сможет характеризовать всю породу. В этом случае подлинным элементом (компонентом) породы или подсистемой объект-системы “горная порода” будет некий минимальный по размерам агрегат зерен минералов - её “элементарная ячейка”, тот кирпичик, “размножение” которого при помощи симметричных (или гомологических) операций будет достаточным для воспроизведения всей породы целиком.

Одним из первых подобная идея была высказана В.И.Драгуновым [7,15]. Правда, им тогда не были намечены основные задачи, которые вытекают из данного утверждения, главной из которых нам представляется задача визуализации (или выявления) элементарных ячеек в самых разнообразных горных породах. В этом отношении работы С.М.Бескина, И.С.Делицина, В.И.Индутного, А.Г.Жабина приобретают именно смысл

частичной визуализации элементарных ячеек гранитов и других горных пород [2,14,16-17,20,24,41].

Интересно сопоставить, как эти выводы перекликаются с результатами, полученными академиком М.А.Садовским и его коллегами по изучению гранулометрических анализов частиц торфа, песчано-гравелистой почвы, дроблёной взрывом горной породы и наблюдению спектров акустических колебаний горной породы. Ими установлена *естественная кусковатость* (блочность) горной породы - существование «преимущественных» («фиксированных») размеров отдельностей, образующихся при её расчленении [32-35]. Для уровня горной породы эти фиксированные размеры составляли 3-5, 20-25 и 450-500 мм. Любопытно, что эта иерархическая шкала кусковатости во многом совпадает с той, что была известна индусским натурфилософам согласно ведической Энциклопедии Абхидхармы [8,22].

Проведенный анализ литературы и сопоставление наблюдений структурно-текстурных особенностей различных горных пород укрепил нашу уверенность в правильности вывода о сущностном значении макрофизиографии при определении понятия “горная порода” и дал некоторое представление о её “первичных элементах” - *элементарных ячейках* (или **фрустумах** – от латинского «фрустум» – кусок). В качестве задач при разработке этой проблематики нами были выделены следующие [26]: 1) визуализация (выявление) элементарных ячеек горных пород (фрустумов) с помощью различных методов (как альтернатива вышеуказанному дроблению взрывом, акустическому воздействию, растворению в кислоте, наблюдению в поляризованном свете, могут послужить такие методы как рентгеновская томография, генерация второй гармоники в нецентросимметричных минералах при лазерном облучении, люминесцентные методы, исследование ориентировки нематических жидких кристаллов на зёрнах ферромагнетиков с использованием компьютерных возможностей; 2) определение основных характеристик фрустумов (размеров, формы, взаиморасположения зёрен различных минеральных фаз с использованием анализаторов изображений; 3) выяснение физических причин их образования (кроме возможных для некоторых вышеупомянутых пород: трибоэлектрической для кварцевых зёрен в песках и магнитной для зёрен магнетита в карбонатах; 4) установление характеристик заполнения пространства горнопородного тела элементарными ячейками (криволинейная симметрия Наливкина или гомология Михеева).

Фрустурация горных пород (свойство кусковатости, агрегативности или образования элементарных ячеек) была нами впервые выявлена при воздействии коротковолнового ультрафиолетового излучения (длина волны $\lambda=254$ нанометра) на некоторые образцы Каррарского статуарного мрамора и ещё на ряд образцов горных пород различного генезиса [29,30].

Фрустумы были визуализированы в: 1) первично хемогенном, метаморфизованном мелко-среднезернистом равномернозернистом, просвечивающем, нетрещиноватом статуарном доломито-кальцитовом мраморе (Каррарское месторождение, Тоскана, Италия) (рис. 1) и среднезернистом равномернозернистом, полупросвечивающем, нетрещиноватом кальцитовом мраморе Кибик-Кордонского месторождения (Россия); 2) первично магматогенном среднезернистом неравномернозернистом слабо-просвечивающем, слабо-трещиноватом кальцитовом безрудном карбонатите (Большетагнинское ниобиевое месторождение, Восточный Саян, Россия); 3) первично магматогенном аутометасоматически изменённом мелко-среднезернистом, равномернозернистом, нетрещиноватом амазонит-альбитовом редкометалльном граните, а также в крупнозернистом до пегматоидного облика, равномернозернистом, нетрещиноватом альбит-амазонитовом редкометалльном граните (Этыкинское танталовое месторождение, Восточное Забайкалье, Россия) (рис. 2); 4) метасоматическом крупнозернистом, просвечивающем, трещиноватом датолитовом скарне Дальнегорского месторождения (Приморье, Россия); 5) первично магматогенном гидротермально изменённом крупнозернистом, полупрозрачном, сильнотрещиноватом силицитовом ядре пегматита (Калба, Казахстан); 6) первично магматогенном аутометасоматически изменённом средне-мелкозернистом, равномернозернистом, нетрещиноватом щелочном редкометалльном граните Зашихинского тантало-ниобиевого месторождения (Восточная Сибирь, Россия); 7) первично хемогенном крупнозернистом, просвечивающем, трещиноватом галите из Соликамского (Пермская область, Россия) и Прибалтийского (Калининградская область, Россия) месторождений; 8) первично магматогенном мелкозернистом, равномернозернистом, нетрещиноватом субэффузивном липарите Тырнаузского массива (Северный Кавказ, Россия).

Люминесцентные исследования были проведены с использованием ртутно-кварцевой лампы высокого давления СВД-120 ($\lambda = 365$ нм) как источника возбуждения. Фрустумы в Каррарском и Кибик-Кордонском мраморе, карбонатите из Большетагнинского месторождения и амазонит-альбитовом Этыкинском редкометалльном граните были визуализированы по ярко-голубому свечению люминесценции с полосой в районе 490 нм, которое может быть приписано (Gotze e.a., 1999) излучению дефектных кислородных комплексов. Интенсивность люминесценции в соседних фрустумах (тёмно-фиолетового цвета) в этих образцах горных пород была в 2-3 раза меньше, чем у фрустумов, визуализированных по ярко-голубому свечению. Фрустумы в датолитовом скарне Дальнегорского месторождения визуализированы по светло-жёлтому свечению люминесценции двухвалентного европия с полосой в районе 445 нм и трёхвалентного церия с двумя полосами в районе 350 и 370 нм.

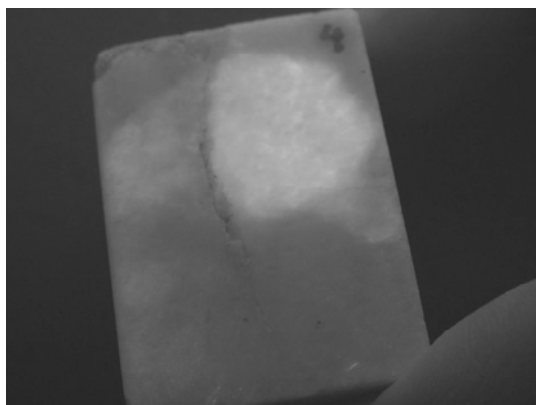


Рис.1. Фрустумация в каррарском статуарном мраморе. Два типа фрустумов, выявленных при УФ-облучении (длина волны 254 нм): светящийся голубым цветом люминесценции (светло-серое) и светящийся тёмно-фиолетовым цветом (серое) люминесценции. Длина короткой грани образца – 3 см.

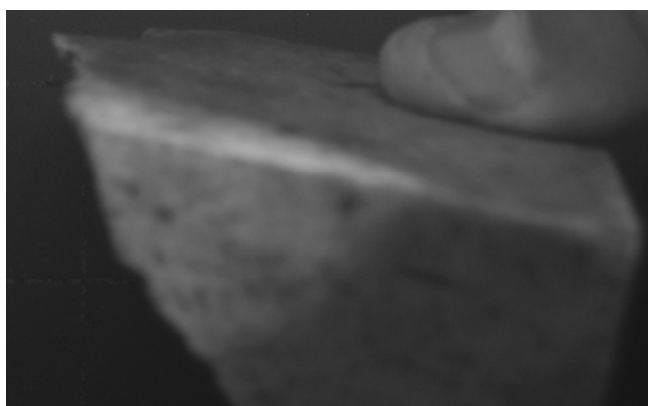


Рис. 2. Фрустумация в мелкозернистом амазонит-альбитовом редкометалльном граните (Этыка).

Таблица

Сравнение фракционного состава руд и преобладающего в них размера фрустумов

Гранулометрический состав <i>гранитов</i> Зашихинского месторождения после дробления в щековой дробилке до – 100 мм (преобладающий размер фрустумов 60 мм в диаметре)						
Класс крупности, мм	-100 +75	-75 +50	-50 +30	-30 +20	-20	Всего
Выход класса, %%	0	59.9	29.8	7.0	6.3	100.0
Гранулометрический состав <i>кальцитовых карбонатитов</i> Большетагнинского месторождения после дробления в щековой дробилке до – 50 мм (преобладающий размер фрустумов +35 мм в диаметре)						
Класс крупности, мм	+50		-50 +25	-25		Всего
Выход класса, %%	8.01		61.02	30.97		100.00

Характерные размеры и форма фрустумов в исследованных горных породах существенно различаются. Наименьшие по числу их составляющих минеральных зёрен – это фрустумы из мономинеральных горных пород - датолитового скарна, галита, силицитового кварцевого ядра пегматита и мраморов: около 25-50 зёрен в сечении ($1-2 \text{ см}^2$) и около 125-300 зёрен в объёме. Фрустумы в кальцитовом карбонатите содержат 50-70 зёрен кальцита в срезе ($2-3 \text{ см}^2$) и около 300-450 зёрен в объёме. Около 300-500 минеральных зёрен содержат фрустумы из щелочного гранита и липарита (в срезе $3-4 \text{ см}^2$ или около 1000-1500 зёрен в объёме). Самые крупные фрустумы также зафиксированы в полиминеральных горных породах - амазонит-альбитовом и пегматоидном альбит-амазонитовом гранитах, и содержат более 1500 минеральных зёрен калиевого полевого шпата, кварца, альбита, литиевой слюды и аксессуарных колумбит-танталита и циркона в срезе ($6-10 \text{ см}^2$) и более 5000-6000 зёрен в объёме.

Морфология фрустумов в исследованных образцах весьма прихотливая, и для её описания, возможно, придётся применять теорию фракталов. Подход к решению с неизбежностью возникающих при их описании симметричных задач выявления закономерностей их пространственного расположения (выполнения горнопородного тела) намечается через использование 11 возможных сеток Кеплера-Шубникова-Делоне и 28 разбиений пространства Андреини.

Отмечено, что наложенные процессы (амазонитизация, альбитизация и окварцевание в гранитах, развитие рудной минерализации – циркона, колумбит-танталита, пирохлора и торита - в щелочном граните Зашихинского месторождения) наследуют границы фрустумов в качестве ослабленных зон в горных породах (см. сопоставление результатов гранулометрического фракционного состава руд и преобладающего в них размера фрустумов в таблице) и в какой-то степени подчёркивают их своим преимущественным распространением. Эти проявленные закономерности дают возможность использовать фрустумационные характеристики горных пород и руд для целей крупнокускового обогащения.

Объединение усилий петрографов, вооружённых мощными современными техническими и аналитическими возможностями, и использование теоретико-системной синергетической концепции «элементарных ячеек» (фрустумов) непременно даст результат в создании теории и Естественной классификации горных пород, применимой и в горнопромышленной практике.

1. Белоусов А.Ф. К общей концепции горной породы. Препринт ИГИГ СО АН СССР. 1987. Вып. 4. СС. 1-52.

2. Бескин С.М., Ларин В.Н., Марин Ю.Б. Редкометальные гранитовые формации. Л.:Недра. 1979. 280 с.

3. Бродская Р.Л., Марин Ю.Б. Использование стереометрических методов в онтогенетическом анализе горных пород // ЗВМО. 1979. Вып.2. Ч.108. С. 141-153.
4. Бродская Р.Л. Формирование и эволюция структуры редкометальных гранитов // Изв. ВУЗов. Геол. и разведка. 1990. Вып.8. С. 45-51.
5. Бродская Р.Л., Е.А.Виноградов, В.И.Голованов, Н.А.Ирисова, В.А.Черепанов. Обнаружение пространственной периодичности в структуре горных пород методами дифракции и радиовидения // Препринт 19. Ин-т Общей физики АН СССР. М. 1991. 7 с.
6. Бродская Р.Л., Марин Ю.Б. Структурирование горных пород как механизм их адаптации к изменяющимся термодинамическим условиям // Юбилейная Фёдоровская сессия 2003 г. СПб. гос. горн. ин-т. – СПб. 2003. 97 с. - С. 61-63.
7. Васильев В.И., Драгунов В.И., Рундквист Д.В. “Парагенезис минералов” и “формация” в ряду образований различных уровней организации // Зап. ВМО. 1972. Часть СІ. Вып. 3.СС. 281-289.
8. Васубандху. Абхидхармокоша (Энциклопедия Абхидхармы). Учение о мире. – СПб.:Андреев и сыновья. – 1994. – С. 179.
9. Войтеховский Ю.Л. О принципах организации горных пород и инвариантах квадратичных форм// ДАН СССР.1994. Т. 338. Вып.3. С.355-357.
10. Войтеховский Ю.Л., Степенщиков Д.Г. К определению пространства горной породы // Юбилейная Фёдоровская сессия 2003 г. СПб. гос. горн. ин-т. – СПб. 2003. 97 с. - С. 73-75.
11. Гайдукова В.С., Данильченко А.Я., Сидоренко Г.А. Количественный минералогический анализ на современном этапе его развития // Сов. геол. 1989. Вып.2. С.74-83.
12. Гайдукова В.С., Шурига Т.Н., Голубничий В.В., Чекинова О.О. Пример использования автоматического оптико-геометрического метода при изучении редко-металльных метасоматитов / Сб. тез. докл.: Прикладные и экологические аспекты минералогии. 1991. Кн. 2. М.: МО ВМО. СС. 158-160.
13. Горбачевич Ф.Ф. Акустополарископия горных пород. – Апатиты:Изд-во КНЦ РАН. 1995. 204 с.
14. Делицин И.С. Структурообразование кварцевых пород. М.: Наука. 1985. 191 с.
15. Драгунов В.И. Онтологические аспекты геологии / В кн.: Проблемы развития советской геологии (Тр. ВСЕГЕИ. Нов. серия. Т.177). Л. 1971. СС. 48-69.
16. Жабин А.Г. Синнезис и дифференциация течения в магматических расплавах // ЗВМО. 1971. Ч. С. Вып. 5. С.578-589.
17. Иванкина Т.И., Никитин А.Н. и др. Влияние температуры и длительного механического напряжения на деформационные, тепловые и текстурные характеристики мрамора // Физика Земли. – 2001. № 1. – СС.50-64.
18. Индутный В.В. Планиметрический анализ структур минеральных агрегатов. – Киев:Наукова думка. – 1991. – 180 с.
19. Индутный В.В. Опыт количественной оценки текстур некоторых гранитов Украины. // Геологический журнал. №1. – 1991. С. 114-118.
20. Индутный В.В., Кулик Д.А. Пространственное строение минеральных фаз в горных породах // Доклады АН УССР. 1982. Вып.10. С.10-13.
21. Индутный Ф.В. Цифровая обработка 3d-структуры горной породы // Математические исследования в кристаллографии, минералогии и петрографии Материалы 1-й Всероссийской школы. – Апатиты. 2005. – С.203-211.
22. Кузьмин В.И., Галуша Н.А. Законы квантования. – М.:Изд-во Акад. Воен. Наук. – 2001. – 138 с.
23. Левинсон-Лессинг Ф.Ю. Введение в историю петрографии. Л.: ОНТИ. 1936.136 с.

24. Никитин А.Н., Иванкина Т.И. Нейтронография в науках о Земле // Физика элементарных частиц и атомного ядра. – 2004. Т. 35. Вып. 2 – СС. 349 – 407.
25. Поваренных М.Ю. Новые данные о некоторых редкометалльных минералов из карбонатитов Черниговской зоны // Новые данные о минералах. М.: Наука. 1985. N 32. СС. 82-90.
26. Поваренных М.Ю. О пространственной регулярности (“элементарной ячейке”) горных пород // Биохим. карбонаты антропоген. озер и источников. Пермь. 1989. С. 138-151.
27. Поваренных М.Ю. Минеральные ритмы и циклы // Система Планета Земля. М. МГУ. 2002. С. 282-289.
28. Поваренных М.Ю. Минералогия на грани смены парадигмы // Новые идеи и концепции в минералогии: Материалы III Международного минералогического семинара. Сыктывкар: Геопринт. 2002. 288 с. – С. 14-18.
29. Поваренных М.Ю. Переход от зёрненного к ансамблевому (агрегативному, фрустумационному) представлению горных пород / Сб. тез. докл. Межд. Научн. Конф. «Фёдоровская сессия – 2006». 2006. С. 35 – 37.
30. Поваренных М.Ю. Фрустумация (кусковатость, агрегативность или образование «элементарной ячейки») – впервые выявленное свойство горных пород / Сб. тез. . докл. IV Межд. Минералог. Семинара. Сыктывкар. 2006. С. 65 – 67.
31. Попов В.А. К морфологическому анализу структур минеральных агрегатов / Сб.: Проблемы онтогении минералов. Л.: Наука. 1985. СС. 46-60.
32. Садовский М.А. Естественная кусковатость горной породы // ДАН СССР. 1979. Т.247. Вып. 4. С. 829-831.
33. Садовский М.А., Болховитинов Л.Г., Писаренко В.Ф. О свойствах дискретности горных пород // Препринт ИФЗ АН СССР. 1981. Вып. 1. С. 15-28.
34. Садовский М.А. О распределении размеров твердых отдельностей // Докл. АН СССР. – 1983. – Т. 269. № 1. – С. 69-72.
35. Садовский М.А. Геофизика и физика взрыва. Избр. Труды. – М.: Наука. – 1999.
36. Сустанов О.А. Зарождение и рост индивидов в друзьях расщеплённого кварца (Восточная Якутия) // ЗРМО. – 2005. № 5. – СС. 94-103.
37. Федоров Е.С. О новой группе изверженных пород // Изв. Моск. сельско-хоз. ин-та. 1896. Т. II. Кн.1. С. 168-187.
38. Хозяинов М.С., Руб А.К., Козорезов Е.В. Неразрушающий анализ структуры минеральных образований с использованием рентгеновского компьютерного микротомографа. – М.: ВНИИГеосистем. – 1996. – 71 с.
39. Шумков С.И., Бунин И.Ж., Терехова С.Е., Зверев И.В., Долгова М.О. Фрактальная природа процесса дезинтеграции частиц угля при взаимодействии с метаногенной ассоциацией микроорганизмов // Докл. АН России. – 1998. Т. 360. № 5. – С. 652-654.
40. Barnsley M. Fractals everywhere. Academic Press. Inc. 1988. 51 p.
41. Beskin S.M., Larin V.N., Marin Yu.B. Physiographic types of granitic rocks of Kazakhstan and their metallogenic significance / Granite-related ore deposits of Central Kazakhstan and adjacent areas. INTAS-93-1783 Project. St.Petersburg. 1996. PP. 259-268.
42. Carlson W.D., Denison C., Ketcham R.A. Controls on the nucleation and growth of porphyroblasts: kinetics from natural textures and numerical models // Geol. Journal. 1995. V. 30. PP. 207-225.
43. W.Ebeling, A.Engel, R.Feistel. Physik der Evolutionsprozesse. Berlin: Akademie-Verlag. 1990.
44. Fowler A.D. Self-organized mineral textures of igneous rocks: the fractal approach // Earth Sci. Reviews. 1990. 29. PP. 47-55.

45. Friesen W.I., Mikula R.J. Fractal dimensions of coal particles // *J/ Colloid Interface Sci.* 1987. 120. PP. 263 -271.
46. E.Karpov, G.Ordonez, T.Petrosky, I.Prigogine. Microscopic Entropy and Nonlocality. Proc. Workshop on Quantum Physics and Communication (QPC 2002). Dubna, Russia. 2002.
47. Mandelbrot B.B. The fractal geometry of Nature. San-Francisco: Freeman. 1982. 461 p.
48. Naumann C.F. Elemente der Mineralogie. 15. Aufl. Leipzig: Verlag von W.Engelmann. 1907. 821 s.
49. G.Nicolis, I.Prigogine. Self-Organization in Non-Equilibrium Systems: From Dissipative Structures to Order Through Fluctuations. New York: J.Willey&Sons. 1977; A la recontre du complexe. Paris: PUF. 1992.
50. Thompson A.H. Fractals in rock physics // *Annu. Rev. Earth Planet. Sci.* 1991. 19. PP. 237-262.
51. Turcotte D.L. Fractals and chaos in geology and geophysics. Second edition. – Cambridge:University press. – 1997. – 373 p.
52. Wong Po-zen, Howard J. Surface roughening and fractal nature of rocks // *Physical Review Letters.* 1986. V. 57. N 5. PP. 637-640.

УРАЛЬСКИЕ МИНЕРАЛОГО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ТИПЫ ОСОБО ЧИСТОГО КВАРЦА

Поленов Ю.А., Огородников В.Н., Сазонов В.Н.

Уральское отделение. УГГУ
muzeum@usmga.ru, office@usmga.ru, sazonov@igg.uran.ru

THE URALS MINERAL-TECHNOLOGICAL TYPES OF THE PECULIARLY CLEAN QUARTZ

Polenov Yu.A., Ogorodnikov V.N., Sazonov V.N.

Urals branch. Ural State Mining University
muzeum@usmga.ru, office@usmga.ru, sazonov@igg.uran.ru

Под особо чистым кварцем понимается его природная разновидность, содержащая вредные примеси в геохимических формах и в количествах, позволяющих после обогащения получать кварцевые концентраты требуемой в микроэлектронике чистоты.

Концентрация свободного кремнезема реализуется в виде кварцевых тел при магматических, метаморфических, метасоматических и осадочных процессах в очень широком диапазоне термодинамических условий. Однако, известно, что образование минералов, в том числе и кварца, происходит путем самопроизвольного зарождения при кристаллизации магмы или лавы, перекристаллизации, метасоматического замещения, свободной кристаллизации и рекристаллизации. По онтогеническому признаку кварцево-жильные образования нами подразделяются на кварцевые жилы перекристаллизации, замещения, выполнения, рекристаллизации.

Территория России в значительной мере опоискована на пьезооптическое и жильное кварцевое сырье, а поэтому выявление новых обширных районов с особо чистым кварцем маловероятно. Реальную помощь в переоценке перспектив рудных районов на обнаружение объектов особо чистого кварца может оказать использование предлагаемой авторами классификации минералого-технологических типов кварцевого сырья, разработанной на базе онтогенической классификации кварцево-жильных образований, составленной с учетом современных представлений о формировании месторождений рудного и кварцевого минерального сырья (Поленов, 2003).

Важнейшими геологическими факторами, определяющими генетический тип месторождений и многие технологические свойства кварца, являются температура и давление процесса их образования.

Таблица

Технологическая классификация кварцевого сырья

Формационный тип	Онтогенический тип	Технологический тип	Промышленный тип
Первично-зернистый кварц кварцево-жильных образований	Кварц жил метаморфической дифференциации (метаморфогенный)	Грануломорфный, среднезернистый, светло-серый кварц	Кварц для разнородных целей (этерокварц)
	Кварц тел замещения (гидротермально-метасоматический)	Мелкозернистый, светло-серый кварц с зубчатыми границами зерен (Серебровский)	То же
	Кварц жил выполнения с молочно-белым кварцем (гидротермальный)	Шестоватый, крупно-гигантозернистый, молочно-белый кварц (Карояновский. Ж-21)	Кварц для варки многокомпонентных стекол (хонэ кварц)
	Кварц жил выполнения со стекловидным кварцем (гидротермальный)	Кварц шестоватый, крупно-гигантозернистый, стекловидный (Пугачевский. Ж-88)	Кварц для плавки прозрачного стекла (тикокварц)
	Кристаллы кварца минерализованных полостей (гидротермальный)	Кристаллы бесцветного и дымчатого кварца, раухтопаза, аметиста (Додовский)	Пьезокварц Кварц для плавки прозрачного стекла (тикокварц)
	Кристаллы кварца и окологнездовой перекристаллизованный кварц наложенных хрусталоносных гнезд и полостей (гидротермальный)	Кристаллы бесцветного и дымчатого кварца (Астафьевский)	То же
Вторично-зернистый кварц кварцево-жильных образований	Кварц жил перекристаллизации по жилам метаморфической дифференциации (метаморфогенный)	Кварц гетеробластовый, крупнозернистый, серый, дымчатый (Слюдяногорский. Ж-170)	Кварц для плавки прозрачного стекла (тикокварц)
	Кварц тел перекристаллизации по жилам замещения (метаморфогенно-метасоматический)	Кварц гетеробластовый, мелко-, среднезернистый, светло-серый (Уфалейский. Ж-175)	То же
	Кварц жил рекристаллизации (гранулированный) по жилам выполнения (метаморфогенно-метасоматический)	Кварц гранобластовый, средне-, крупнозернистый, светло-серый, слабо дымчатый (гранулированный) (Кыштымский. Ж-101)	То же
	Метасоматический кварц по телам перекристаллизации, рекристаллизации (гидротермально-метасоматический)	Кварц гранобластовый, тонкозернистый, светло дымчатый (льдиноподобный) (Егустинский. Ж-414)	То же

Повышение температуры кристаллизации способствует, а рост давления, наоборот, препятствует вхождению алюминия и щелочей как основных загрязняющих элементов-примесей в решетку кварца. Эффект влияния температуры кристаллизации на концентрацию структурных примесей в кварце на порядок превышает эффект влияния давления (Страшненко и др., 1989; Огородников, 1993).

Методологической основой типизации кварцевого сырья явились сравнительное изучение характеристик кварца из различных месторождений, кварцевых жил и зон в пределах конкретных жильных тел, поведение кварца в технологическом процессе.

Классификацию кварца по технологическим параметрам предлагается производить по определенным уровням: формация → жила → агрегат → индивид (Методы..., 1990).

Разнообразие кварцевого сырья кварцево-жильных образований Урала сведено в таблице. Многочисленные попытки получения высококачественного кварцевого промпродукта из низкокачественного кварцевого сырья не приводят к желаемым результатам.

Из предложенной классификации кварцевого сырья следует, что к категории особо чистого кварца могут быть отнесены технологические типы жильного кварца: Слюдяногорский, Уфалейский, Кыштымский, Егустинский, запасы которых в природных кварцево-жильных образованиях имеют промышленные масштабы.

1. Методы изучения и оценки месторождений кварцевого сырья. Мин-во геол. СССР; ВНИИСНМС – М.: Недра, 1990. – 168 с.

2. Огородников В.Н. Закономерности размещения и условия образования кварцево-жильных хрусталеносных и золоторудных месторождений Урала. Автореф. дис. д-ра геол.-минер. наук, 1993. 28 с.

3. Поленов Ю.А. Эволюция кварцево-жильных образований Уральского аккреционно-складчатого орогена (онтогенические типы кварцево-жильных образований) // Изв. УГГГА. Екатеринбург.: Изд. УГГГА, вып. 18, 2003. с.98-104.

4. Страшненко Г.И., Мельников Е.П. Метаморфогенные месторождения химически чистого жильного кварца. // Разведка и охрана недр. 1989, № 6. С. 11-12.

О ПРИРОДЕ ОКРАСКИ ХРИЗОПРАЗА БУРУКТАЛЬСКОГО И САХАРИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЙ ГИПЕРГЕННЫХ НИКЕЛЕВЫХ РУД

Рыжкова С.О., Таловина И.В., Лазаренков В.Г.

Санкт-Петербургское. Санкт-Петербургский государственный горный институт (ТУ)
ryzhkov2000@mail.ru, ital@mail.ru, lazarenkov@mail.ru

ABOUT NATURE OF COLORING OF CHRYSOPRASE IN BURUKTALSKOYE AND SAKHARINSKOYE LATERITE NICKEL ORE DEPOSITS

Ryzhkova S.O., Talovina I.V., Lazarenkov V.G.

Saint Petersburg branch. Saint Petersburg State Mining Institute (TU)
ryzhkov2000@mail.ru, ital@mail.ru, lazarenkov@mail.ru

В Буруктальском месторождении гипергенных никелевых руд хризопраз был описан И.И.Эдельштейном (1965) как празопал, в Сахаринском месторождении наличие хризопраза нами отмечается впервые.

Как в Буруктальском, так и в Сахаринском месторождениях хризопраз наблюдается в кварцевых жилах вместе с «гарниеритом» или в «силифицированных» породах. Главными минералами «гарниеритов» являются никеленосные лизардит 1Т, клинохлор 11В и сепиолит, все остальные минералы находятся в резко подчинённом количестве. Это тальк, минералы группы нонтронита-сапонит 15А, бейделлит, монтмориллонит 14А и гидрослюда – клинтонит 1М, а также кварц и опал. Обращаем внимание, что зелёные, голубоватые оттенки в окраске хризопразов Сахаринского месторождения соответствуют окраске «гарниерита».

По И.И.Эдельштейну (1965) хризопраз Буруктальского месторождения состоит из преимущественно опала с примесями β-кристобалита, α-тридимита и, возможно, небольшого количества кварца, а их окраска находится в прямой зависимости от содержания Ni.

В литературе существует две точки зрения о причинах возникновения окраски хризопраза. Первая говорит о том, что окраска хризопраза связана с включениями элемента хромофора Ni, вторая о том, что окраска появляется за счет посторонних включений в хризопразе.

Так, по М.Саханбинскому (1988) в месторождении Шкляры (Польша) окраска хризопраза связана с наличием в нём тонких чешуек пимелита и, возможно, хлорита и вермикулита.

Нами состав хризопраза Сахаринского месторождения определялся на рентгеновском порошковом дифрактометре Geigerflex-D/max (Rigaku) в лаборатории ЗАО «РАЦ Механобр Аналит», аналитик М.А.Яговкина. Расшировка рентгеновских политипов проводилась на основе классификации ICPDF-ICDD (International Centre for Diffraction Data). Названия и формулы минералов приведены по справочнику Е.И.Семенова (1991). Согласно рентгеновским данным, изученный нами образец С-10/10хр, макроскопически диагностированный как «хризопраз», представляет собой аннит-клинохлор-кварцевый метасоматит с опалом и могонитом (разновидность кварца). Изучение другого образца С-707/1 показало, что он является сапонит-пенантит-кварцевым метасоматитом и на 70 % состоит из кварца с примесью пенантита $(\text{MnFe})\text{AlSiO}(\text{OH})$ – марганцевого хлорита из группы шамозита (15 %), сапонита (10-15 %) – высокомагнезиального минерала группы нонтронита, гетита (5 %) и каолинита (2-3 %), т.е. также, как и предыдущий образец, имеет существенно хлорит-кварцевый состав.

Итак:

1. Окраска хризопразов Буруктальского и Сахаринского месторождений связана, с нашей точки зрения, с примесью частичек никелевых силикатов, состав которых аналогичен составу «гарниерита».

2. Состав частичек хризопраза Буруктальского и Сахаринского месторождений отличается от состава частичек месторождения Шкляры, что и обуславливает индивидуальную окраску хризопраза на каждом месторождении.

3. В целом, как видим, состав хризопраза, как и состав «гарниеритов» разных месторождений меняется от месторождения к месторождению и, по-видимому, сильно зависит от конкретных условий образования данного конкретного месторождения.

**ПРИМЕНЕНИЕ ПОЛИЭЛЕМЕНТНОГО ГЕОХИМИЧЕСКОГО
КАРТИРОВАНИЯ ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ ЛАТЕРАЛЬНОЙ
ЗОНАЛЬНОСТИ ЗОЛОТОРУДНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ
ОЛИМПИАДА (ЕНИСЕЙСКИЙ КРЯЖ, СИБИРЬ)**

Савичев А.А.

Санкт-Петербургское отделение.
Санкт-Петербургский государственный горный институт (ТУ)
a_savichev@mail.ru

**APPLICATION OF POLY-ELEMENT GEOCHEMICAL MAPPING TO
REVEAL THE LATERAL ZONING OF OLYMPIADA GOLD DEPOSIT
(ENISSEI RIDGE, SIBERIA)**

Savichev A.A.

Saint-Petersburg branch. Saint-Petersburg State Mining Institute (TU)
a_savichev@mail.ru

Месторождение Олимпиада размещается в северной части Енисейского кряжа, представляющего собой контрастно выраженную область протерозойской складчатости с золоторудной специализацией. Объект расположен среди слюдисто-кварц-карбонатных и углеродистых пород в зоне периклинального замыкания крупной антиклинали, осложненной серией разрывных нарушений, что определяет мощное развитие метасоматитов и наложенного на них золото-сульфидного оруденения (Ли, 2003; Генкин и др., 1994; Савичев, Гавриленко, 2003). В зонах разломов развиты золотоносные глинисто-алевритовые породы, рассматриваемые как продукты выветривания (Яблокова и др., 1986), либо как низкотемпературные гидротермально - метасоматические образования (Песков, 2000). На месторождении выделены Западный и Восточный участки. Последний представляет собой столбообразное рудное тело с вертикальным размахом оруденения, превышающим 900 м.

Геохимические особенности рудоносных образований месторождения Олимпиада рассмотрены на примере горизонта +600 м. При помощи метода главных компонент факторного анализа обработаны результаты 565 полуколичественных спектральных и пробирных анализов и выделены геохимические ассоциации, отражающие литогенный, рудогенный и гипергенный уровни концентрирования элементов (табл.).

Первый фактор отражает присутствие на горизонте первичных и окисленных образований и характеризует геохимическую направленность процесса окисления, при котором на фоне разрушения карбонатов и сульфидов происходит накопление большинства элементов, за исключением Mn и Ba (рис. 1, а).

Второй фактор иллюстрирует привнос-вынос элементов при рудно-метасоматических процессах. Значимые положительные нагрузки на фактор 2 имеют элементы, привнесенные в ходе формирования золоторудной минерализации и концентрирующиеся в контурах рудных тел: Au, Hg, Sb, Ag, W, отчасти Pb, Mn и As. Им противостоит группа сидеро- и литофильных элементов с отрицательными нагрузками (Cr, B, Ti, V, отчасти Sn, Mo), имеющих литогенный уровень концентраций во вмещающих породах и подвергающихся выносу при рудообразующих процессах. Геометризация значений фактора 2 в плоскости горизонта демонстрирует, что максимальные концентрации золота, сурьмы, вольфрама и ртути наблюдаются в окисленных рудах и формируют контрастный, вытянутый в северо-восточном направлении ореол, совпадающий с зоной Главного разлома (рис. 1, б).

Третий фактор иллюстрирует неоднородность литологического состава рудовмещающей карбонатно-сланцевой толщи. Полярные факторные нагрузки имеют ассоциации (Mn, Co, Fe) и (Sn, Nb, W). Первая распространена в существенно карбонатных, регионально обогащенных марганцем метасоматитах, где железо и кобальт входят в состав рассеянных там сульфидных минералов. Вторая ассоциация характерна для кварц-слюдистых пород, где олово и ниобий связаны со светлыми слюдами, а вольфрам образует собственный минерал (шеелит). Распределение значений фактора 3 в плоскости горизонта (рис. 1, в) указывает на то, что дифференциация литофильных и сидерофильных элементов прослеживается и в продуктах окисления по карбонатным и кварц-слюдистым породам.

Четвертый фактор несет в себе важную информацию, отражающую некоторые черты рудной геохимической зональности месторождения Олимпиада. Значимые положительные нагрузки на этот фактор имеют Pb, Ag, Ba, и V, отрицательные - As, Ge, Be и Au. Во вкрапленных рудах наличие парагенезиса золота 1 и арсенопирита 1 объясняет тесную геохимическую связь золота и мышьяка; состав второй группы (Pb, Ag, Ba, V) определяется ассоциацией серебросодержащего бертьерита, джемсонита и барита в кварцевых прожилках. На карте распределения значений фактора 4 (рис. 1, г) обособляется зона преимущественного распространения Au-As-(Ge-Be) ассоциации, имеющая седловидную форму, которая согласуется с общей складчатой структурой Главного рудного тела. В окисленных породах ореолы развития золото-мышьяковой и свинец-серебряной ассоциаций четко разграничиваются. Подобный факт объясняется зональностью первичных руд, подвергшихся окислению. Западный фланг окисленного рудного тела представлен породами, образовавшимися при окислении преимущественно развитых там вкрапленных золото-арсенопиритовых руд. Свинец и серебро концентрируются на восточном фланге рудного тела при окислении широко распространенной там полиметаллической минерализации.

**Факторные нагрузки на элементы-примеси руд и окислительных пород
горизонта +600 м месторождения Олимпиада**

Фактор	Fe	Ni	Co	Cr	V	Ti	Mn	Mo	Sn	Nb	Be	Y
1 (24 %)	-0.39	-0.74	-0.40	-0.38	-0.57	-0.42	0.20	-0.37	-0.68	-0.73	-0.55	-0.23
2 (19 %)	-0.30	-0.03	0.07	-0.78	-0.47	-0.70	0.36	-0.24	-0.32	0.04	-0.03	0.23
3 (9 %)	0.61	0.38	0.67	0.09	-0.12	0.05	0.71	0.03	-0.36	-0.32	-0.07	0.37
4 (6 %)	-0.10	0.15	-0.11	0.08	0.39	-0.10	-0.05	0.05	0.03	-0.09	-0.28	-0.03
5 (5 %)	0.12	0.08	-0.29	-0.24	-0.16	-0.22	-0.20	0.40	0.00	0.08	0.53	0.22
6 (5 %)	0.14	-0.07	-0.11	0.08	0.11	0.13	-0.21	0.02	-0.13	-0.09	-0.13	-0.03

Фактор	Ba	B	Ge	Pb	Cu	Zn	As	Sb	Ag	Hg	W	Au
1 (24 %)	0.14	-0.27	-0.2	-0.33	-0.76	-0.68	-0.62	-0.54	-0.4	-0.12	-0.67	-0.33
2 (19 %)	-0.26	-0.71	-0.25	0.38	0.09	-0.09	0.24	0.63	0.56	0.70	0.48	0.69
3 (9 %)	0.39	-0.12	-0.11	-0.11	0.10	0.03	0.09	-0.17	0.16	-0.13	-0.26	0.00
4 (6 %)	0.42	0.10	-0.40	0.57	0.01	0.01	-0.42	-0.01	0.40	0.17	0.02	-0.25
5 (5 %)	0.37	-0.15	-0.20	-0.20	-0.22	0.35	-0.12	0.03	-0.01	-0.07	-0.11	-0.06
6 (5 %)	-0.17	0.00	-0.68	-0.10	-0.03	-0.14	0.25	0.26	0.11	-0.48	-0.07	0.29

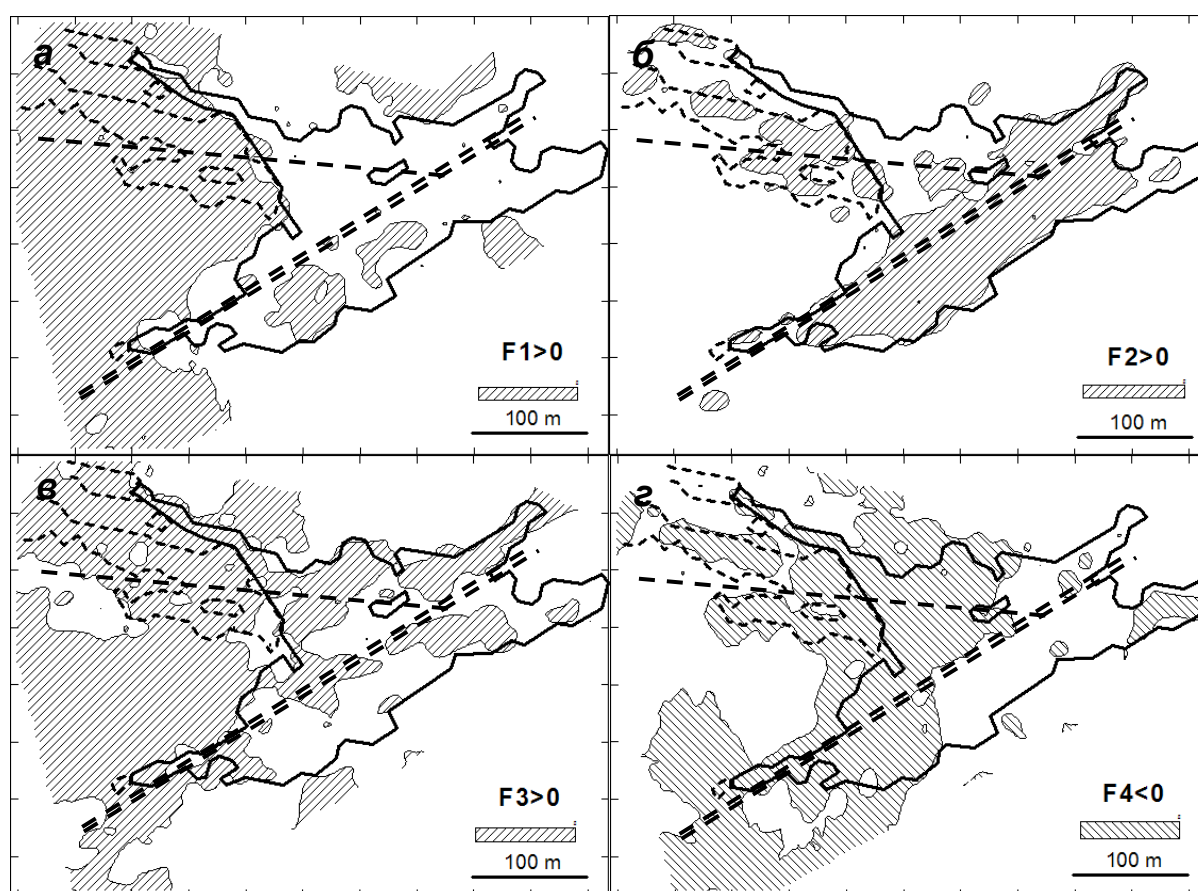


Рис. 1. Распределение значений факторов 1-4 в плоскости горизонта +600 м месторождения Олимпиада. Тонкой пунктирной линией показан контур рудного тела для первичных руд, сплошной - для окисленных; двойной жирной пунктирной линией - зона Главного разлома.

Шестой фактор демонстрирует неоднородность группы основных рудных элементов и их различное распределение в первичных и окисленных рудах. Положительные нагрузки на фактор 6 имеют золото и основные его элементы-спутники в первичных рудах: мышьяк и сурьма, а отрицательные - ртуть и германий. Крайне незначительные содержания Hg

и Ge в первичных рудах определяют полное совпадение их контуров с ореолами положительных значений фактора 6. В зоне окисления ртуть развита более широко и пространственно совпадает с участками повышенной золотоносности, но, скорее всего, является более поздней и связана с глубинными эманациями по зоне Главного разлома.

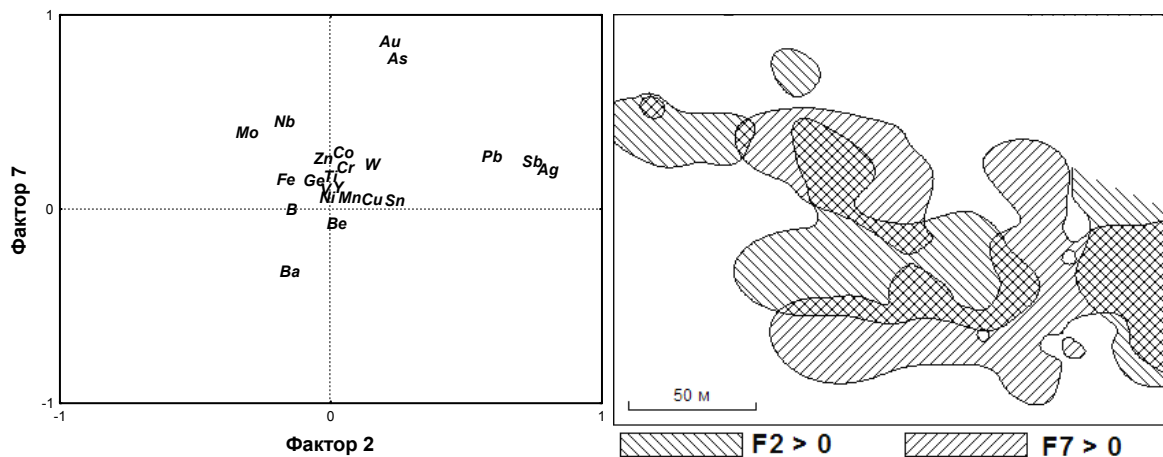


Рис. 2. Диаграмма факторных нагрузок на элементы-примеси первичных руд (а) и распределение значений факторов 2 и 7 для первичных руд по горизонту +600 м месторождения Олимпиада (б).

Для более детального рассмотрения геохимии оруденения факторный анализ проведен отдельно для выборки первичных руд с содержаниями золота >1 г/т. По факторам 2 и 7 отчетливо обособляются Au-As и Sb-Pb-Ag элементные ассоциации (рис. 2, а). Корректность интерпретации фактора 7 обуславливается изотропностью выборки, где этот фактор имеет достаточный вес и характеризует 8 % от общей дисперсии всех факторов. Взаимосвязь элементного и минерального состава первичных руд позволяет соотнести Au-As ассоциацию с ранней золото-арсенопиритовой минерализацией, а Sb-Pb-Ag – с поздней бертьерит-джемсонитовой (Савичев, Гавриленко, 2003). Геометризация значений факторов дает четкие ореолы развития той или иной ассоциации (рис. 2, б).

Метод полиэлементного геохимического картирования продуктивен при невозможности экспрессного визуального определения минерального состава опробованных пород и руд, в частности, при бурении на шлам, и может эффективно использоваться при эксплуатационно-разведочных работах.

Исследования выполнены при поддержке российско-американской программы «Фундаментальные исследования и высшее образование» (BRHE) Американского фонда гражданских исследований и разработок (АФГИР) и Министерства образования РФ (грант 2.2.2.3.4088)

1. *Ли Л.В.* Олимпиадинское месторождение вкрапленных золото-сульфидных руд. Красноярск. КНИИГиМС. 2003. 117 с.
2. *Генкин А.Д., Лопатин В.А., Савельев Р.А., Сафонов Ю.Г., Сергеев Н.Б., Керзин А.Л., Цепин А.И., Амиутц Х., Афанасьева З.Б., Вагнер Ф., Иванова Г.Ф.* Золотые руды месторождения Олимпиада (Енисейский край. Сибирь) // Геол. рудн. мест. 1994. Т. 3. № 2. С. 111-136.
3. *Савичев А.А., Гавриленко В.В.* Золото-сульфидное оруденение Северо-Енисейского района (Сибирь) и условия его образования // Записки Всероссийского Минералогического общества. 2003. № 2. С. 15-32.
4. *Яблокова С.В., Коновалова М.С., Сandomирская С.М.* Минералогия золотоносной коры выветривания на месторождениях прожилково-вкрапленных сульфидных руд в терригенно-карбонатных толщах докембрия. М.: Тр. ЦНИГРИ. 1986. Вып. 208. С. 10-19
5. *Песков Е.Г.* Геологические проявления холодной дегазации Земли. Магадан. 2000. 279 с.

**U-Pb И Sm-Nd ДАТИРОВКИ МИНЕРАЛОВ ЗОЛОТО-
СУЛЬФИДНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ОЛИМПИАДА
(ЕНИСЕЙСКИЙ КРЯЖ, СИБИРЬ)**

Савичев А.А.¹, Лохов К.И.²

Санкт-Петербургское отделение.

¹Санкт-Петербургский государственный горный институт (ТУ). a_savichev@mail.ru;

²Всероссийский научно-исследовательский геологический институт (ВСЕГЕИ).

**U-Pb AND Sm-Nd DATING OF MINERALS FROM
OLYMPIADA GOLD-SULFIDE DEPOSIT
(ENISEI RIDGE, SIBERIA)**

Savichev A.A.¹, Lokhov K.I.²

Saint-Petersburg branch.

¹ Saint-Petersburg State Mining Institute (TU). a_savichev@mail.ru;

² All-Russian Research Geological Institute (VSEGEI)

Месторождение Олимпиада расположено на территории Северо-Енисейского района и является на сегодня одним из крупнейших в России по запасам золота. Отличительной особенностью является пространственное совмещение упорных золото-сульфидных и легкообогатимых окисленных руд. В настоящее время основные перспективы золотодобычи региона в основном связаны с золото-сульфидными рудами месторождения Олимпиада и его сателлитов. Уникальность вещественного состава руд объекта определяется длительной историей его становления, приведшей к формированию полистадийного комплексного Au-Sb-W оруденения.

Месторождение размещается в северной части Енисейского кряжа, представляющего собой контрастно выраженную область протерозойской складчатости с золоторудной специализацией. В геологическом строении рудного поля месторождения участвуют терригенно-карбонатные образования рифея, метаморфизованные в условиях от зеленосланцевой до амфиболитовой фаций и прорванные телами гранитоидов татарско-аяхтинского комплекса (Генкин и др., 1994, Ли, 2003). В состав рудного поля входит ряд месторождений и проявлений золота, сурьмы и вольфрама. Выделяются объекты эндоконтакта гранитоидов (Высокое-2), ближнего (Олень, Иннокентьевское) и дальнего экзоконтакта (Олимпиада). Особенностью геологической позиции золоторудных объектов является их приуроченность к горизонту углеродисто-карбонатных пород и к узлам сочленения разломов широтного и северо-восточного простирания.

На основе детальных структурно-морфологических и минералогическо-геохимических исследований установлена последовательность гидротермально-метасоматической минерализации месторождения Олимпиада и его сателлитов. Она сформировалась в течение шести стадий: 1) дорудных метасоматических изменений, 2) ранней рудной (вольфрамит-кварцевой), 3) основной рудной (золото-шеелит-сульфидной), 4) второстепенной рудной (золото-сульфосольно-кварцевой), 5) поздней рудной (золото-антимонит-кварцевой), 6) пострудной. Основная часть высокопробного золота присутствует в ассоциации с арсенопиритом 1 во вкрапленных рудах основной рудной стадии. В прожилковых рудах второстепенной рудной стадии золото встречается гораздо реже, хотя и образует более крупные скопления. Такое золото имеет примеси (до 10 ат. %) ртути, и, иногда, меди; характеризуется “губчатым” обликом, красновато-коричневым цветом и устойчивой ассоциацией с бертьеритом (Савичев, Гавриленко, 2003).

U-Pb датирование кластогенных цирконов из золотоносных слюдисто-кварц-карбонатных метасоматитов месторождения Олимпиада проведено на ионном микрорентгеноспектральном анализаторе SHRIMP-II (ВСЕГЕИ). Установлено наличие двух типов цирконов: сильно окатанных с конкордантным возрастом 2042 ± 51 Ма и слабо окатанных - с возрастом 1685 ± 29 Ма. Не установлено видимых изменений изотопного состава цирконов при метасоматическом изменении пород на этапе рудообразования. Важным стратиграфическим следствием датирования цирконов является их нижнепротерозойский возраст, благодаря чему устанавливается, что рудовмещающая на месторождении Олимпиада карбонатная толща была сформирована в раннерифейское время, и относится не к раннепротерозойской печенгинской (Стороженко и др., 1997г), а к раннерифейской кординской свите (Генкин и др., 1994).

Sm-Nd изотопные характеристики изучены в минералах ранней рудной, основной рудной и пострудной стадий. Изохроны демонстрируют близкие возраста, составляющие соответственно 921 ± 8 , 919 ± 93 , 915 ± 49 млн. лет, но различаются по начальному $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ отношению. Возраст оруденения узла близок ко времени становления гранитоидов татарско-аяхтинского комплекса, для которых существуют датировки 950-936 млн. лет (Стороженко, 1997г) и 850 ± 50 млн. лет. (Волобуев и др., 1976). Все исследованные минералы имеют $\epsilon_{\text{Nd}} < 0$, что указывает на коровый источник их вещества. Наиболее близкие к CHUR значения ϵ_{Nd} имеют ранние вольфрамиты, пространственно связанные с гранитоидами татарско-аяхтинского комплекса. Максимально высокие отрицательные значения, и, соответственно, наибольшую степень контаминации коровым компонентом, - шеелиты, тесно ассоциирующие с золото-сульфидным оруденением.

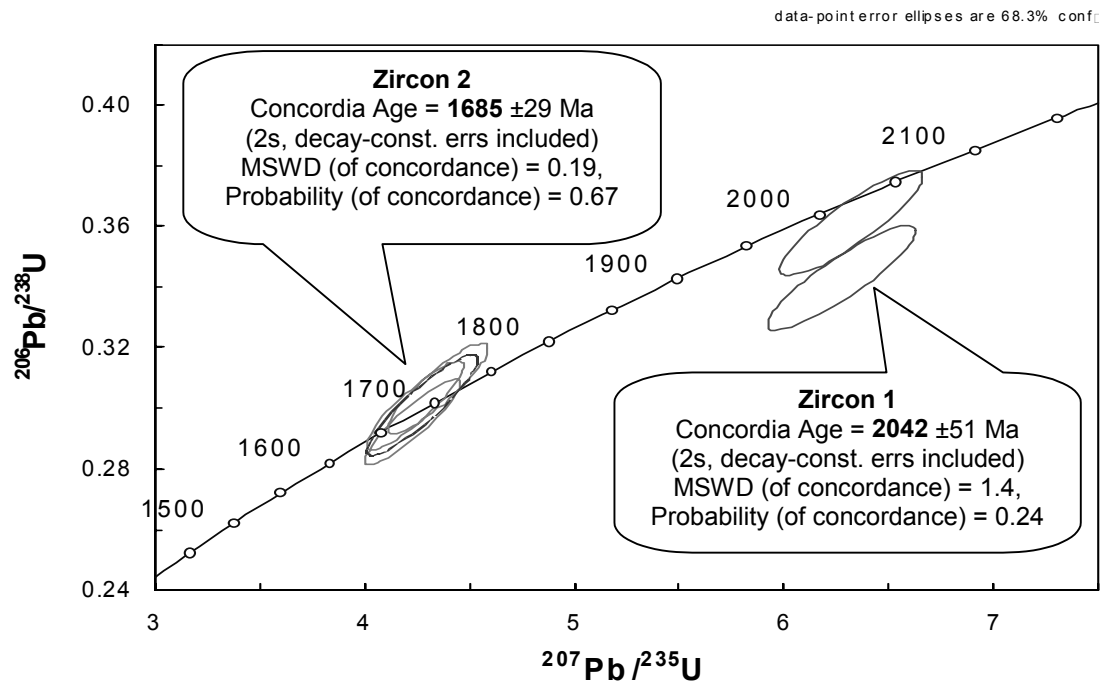


Рис. 1. Диаграмма изотопного состава цирконов в координатах $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ - $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$.

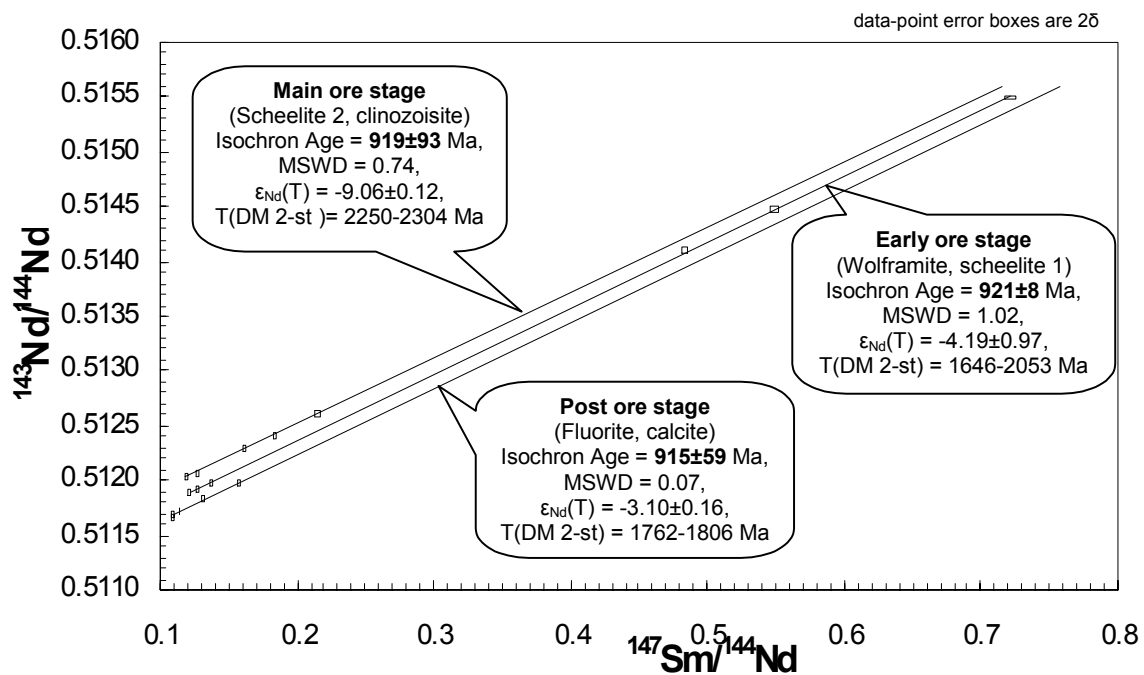


Рис. 2. Sm-Nd изохроны для минералов разных стадий оруденения.

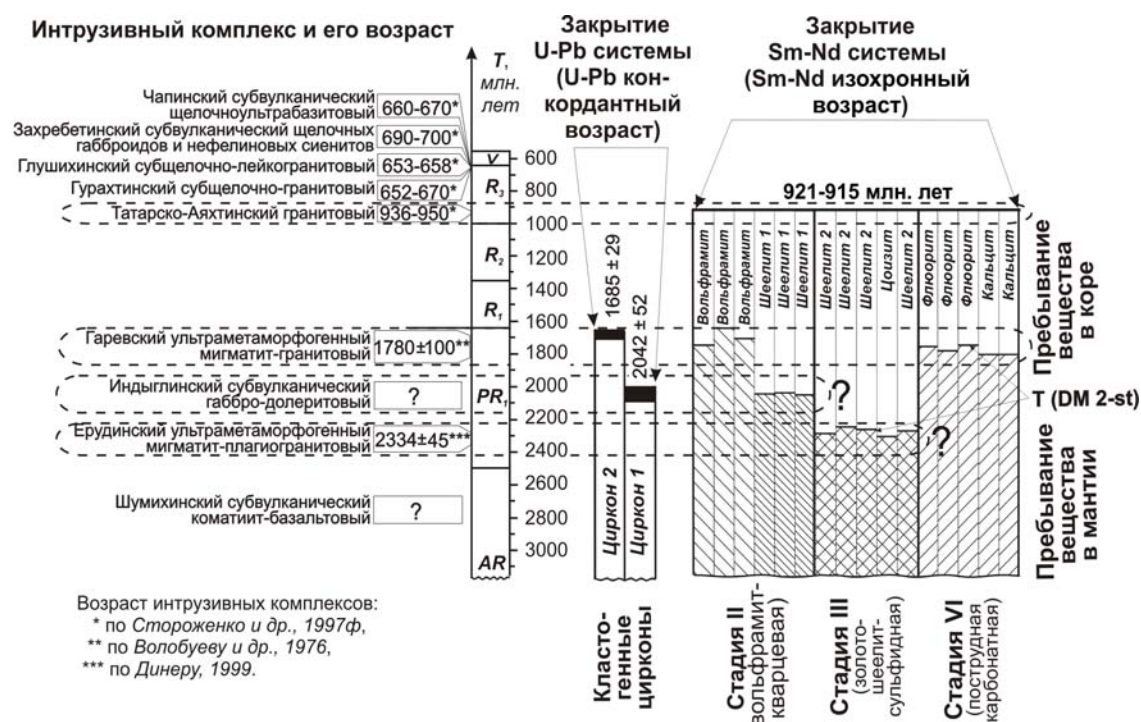


Рис. 3. Возрастные соотношения магматических событий в истории геологического развития северной части Енисейского кряжа с U-Pb и Sm-Nd датировками минералов месторождения Олимпиада и его сателлитов.

Сопоставление полученных изотопных датировок с историей геологического развития региона (рис. 3) показывает, что:

1) Модельные Nd-датировки T(DM 2-st) соотносятся со временем формирования гранито-гнейсовых куполов Ерудинского и Гаревского мигматит-гранитовых комплексов, что может свидетельствовать о возможности начала перераспределения рудных компонентов при мантийно-коровом взаимодействии уже в раннем протерозое.

2) Оруденелые породы месторождения Олимпиада содержат кластогенные цирконы, образовавшиеся 1685 ± 29 и 2042 ± 52 млн. лет и указывающие на проявление магматической активности на территории исследуемого региона в данные периоды времени

3) Формирование минералов ранней рудной, основной рудной и пострудной стадий, происходило в сближенных интервалах времени 921.2 ± 7.5 , 919 ± 93 , 915 ± 49 млн. лет соответственно, соотносящихся с возрастом становления гранитоидов татарско-аяхтинского комплекса.

Исследования выполнены при поддержке российско-американской программы «Фундаментальные исследования и высшее образование» (BRNE) Американского фонда гражданских исследований и разработок (АФГИР) и Министерства образования РФ (грант 2.2.2.3.4088)

1. Ли Л.В. Олимпиадинское месторождение вкрапленных золото-сульфидных руд. Красноярск. КНИИГиМС. 2003. 117 с.

2. Генкин А.Д., Лопатин В.А., Савельев Р.А., Сафонов Ю.Г., Сергеев Н.Б., Керзин А.Л., Цепин А.И., Амишутц Х., Афанасьева З.Б., Вагнер Ф., Иванова Г.Ф. Золотые руды месторождения Олимпиада (Енисейский кряж. Сибирь) // Геол. рудн. мест. 1994. Т. 3. № 2. С. 111-136.

3. Савичев А.А., Гавриленко В.В. Золото-сульфидное оруденение Северо-Енисейского района (Сибирь) и условия его образования // Записки Всероссийского Минералогического общества. 2003. № 2. С. 15-32.

4. Стороженко А.Г. и др. Отчет по составлению геологической карты, карты полезных ископаемых с элементами прогноза масштаба 1:50000 и комплекса геофизических карт на Олимпиадинскую площадь. Красноярск. 1997.

5. Волобуев М.И., Зыков С.И., Ступникова Н.И. Геохронология докембрийских формаций Саяно-Енисейского региона Сибири // Актуальные вопросы современной геохронологии. М.: Наука. 1976. С.96-123.

6. Динер А.Э. Новый мигматит-плагиогранитный комплекс Заангарской части Енисейского кряжа // Минералы и руды Красноярского края. Красноярск. Красн. отд. ВМО. 1999. С. 81-83.

ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ЗОЛОТОРУДНОГО ПРОЯВЛЕНИЯ ЯНИС (ЮЖНАЯ КАРЕЛИЯ)

Савичева О.А., Савичев А.А.

Санкт-Петербургское отделение.

Санкт-Петербургский государственный горный институт (ТУ)
praktika-bach1@yandex.ru, a_savichev@mail.ru

GEOCHEMICAL FEATURES OF YANIS GOLD OCCURRENCE (SOUTHERN KARELIA)

Savicheva O.A., Savichev A.A.

Saint-Petersburg branch. Saint-Petersburg State Mining Institute (TU)
praktika-bach1@yandex.ru, a_savichev@mail.ru

Рудопоявление золота Янис расположено в Южной Карелии и приурочено к одноименной тоналитовой интрузии, которая является самой крупной из свекофенских раннеорогенных гипабиссальных интрузий суйстамского габбро-плагиогранитного комплекса, расположенных в Северном Приладожье. Она представляет собой систему сближенных кулисообразных трещинных тел. Интрузия контролируется крупной зоной сдвиговых тектонических нарушений северо-западного простирания. Породы, слагающие интрузию, представлены диоритовыми порфиритами, тоналит-порфирами и плагиогранит-порфирами с преобладанием тоналитов. Северная часть интрузии преимущественно сложена амфибол-биотитовыми порфировидными диоритами, содержащими включения габброидов. На юге в основном развиты тоналит-порфиры, содержащие тела плагиогранит-порфиров. С зонами рассланцевания связаны зоны пропилитов и березитов, а северо-восточные и субширотные зоны тектонических нарушений контролируют поздние кварцевые жилы, широко развитые в южной части интрузии (Степанов и др., 2004). Жильные фации пород представлены дайками тоналит-порфиров, плагиогранит-порфиров, дацитовых и риолитовых порфиров и аплитов.

Вмещающими породами для интрузии служат слоистые терригенные толщи калевийского надгоризонта (1,95 млрд. лет), метаморфизованные в условиях амфиболитовой фации с образованием метапесчаников, слюдистых и андалузит-кордиеритовых сланцев. В приконтактной зоне терригенные породы ороговикованы.

Сотрудниками ФГУП СФ “Минерал” было выделено наличие двух перспективных типов золоторудной минерализации, связанных с березитами и более поздними кварцевыми жилами (Степанов и др., 2004). Наиболее ранняя рудная минерализация связана с пропилитами,

развивающимися по тоналит-порфирам. В пропилитах самородное золото ассоциирует с арсенопиритом, пирротином и халькопиритом. Основная доля рудной минерализации связана с березитами, где золото встречается в виде субмикронных выделений в арсенопирите. С более поздними рудными процессами связана золото-полисульфидная минеральная ассоциация, развитая в кварцевых жилах, которая представлена сфалеритом, галенитом, халькопиритом, самородным висмутом, серебром, жозеитом, хедлиитом и мальдонитом.

Обработаны результаты 255 полуколичественных спектральных и атомно-абсорбционных анализов на золото, любезно предоставленных ФГУП СФ “Минерал”. Сравнительно высокие кларки концентрации в оруденелых терригенных породах, по всей вероятности, связаны с наличием золото-мышьяк-висмут-серебряной минерализации (рис. 1). Для оруденелых магматических пород - тоналитов коэффициенты концентрации также выше для группы главных рудных элементов, при этом более контрастно проявлено уменьшение содержаний Zn, Cr, Li, Co, Sn, Ni, V, Mn, Ti.

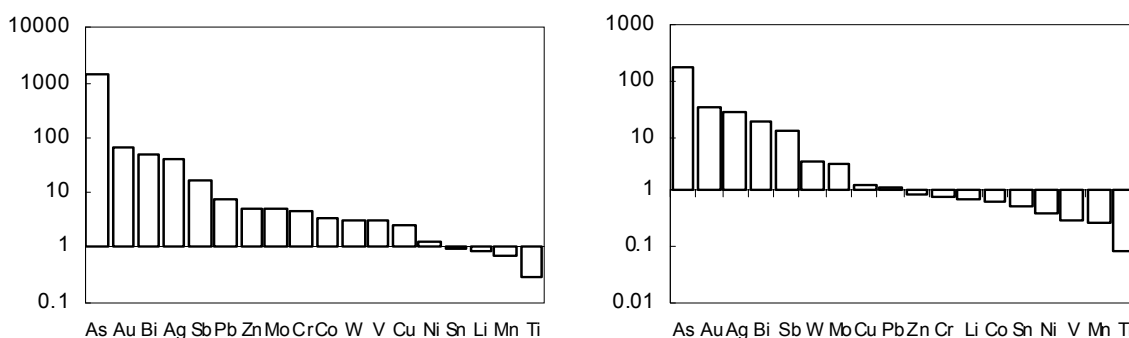


Рис. 1. Кларки концентрации элементов в терригенных породах (слева) и тоналитах (справа)

Проведена сравнительная характеристика средних содержаний элементов в различных типах минерализованных пород проявления Янис (рис. 2). Для значительной группы элементов, концентрации которых находятся на уровне кларковых для данных типов пород (Ni, Co, Ti, Cr, V), устанавливается повышение их содержаний от тоналитов, порфиров к гранитам, гранодиоритам, далее - к диоритам и габбро, а максимумы приходятся на терригенные породы. При рудно-метасоматических процессах наблюдается вынос таких элементов. Редкие литофильные металлы (W, Mo, Li) в магматических породах более концентрируются в тоналитах, но на уровнях ниже, чем в терригенных.

Вызывают интерес резко повышенные концентрации мышьяка, находящиеся на уровне 300-1100 г/т в магматических породах, и – 1600 г/т в терригенных, при этом в рудно-метасоматических образованиях As не накапливается. Такой факт может быть связан с широким развитием

ранней, не золотоносной арсенопиритовой минерализации на рудопроявлении. Иная тенденция прослеживается для золота, висмута, серебра и меди: наиболее низкие их содержания наблюдаются в гранитах и габбро, а максимальное накопление золота происходит в кварцевых жилах с сульфидной минерализацией.

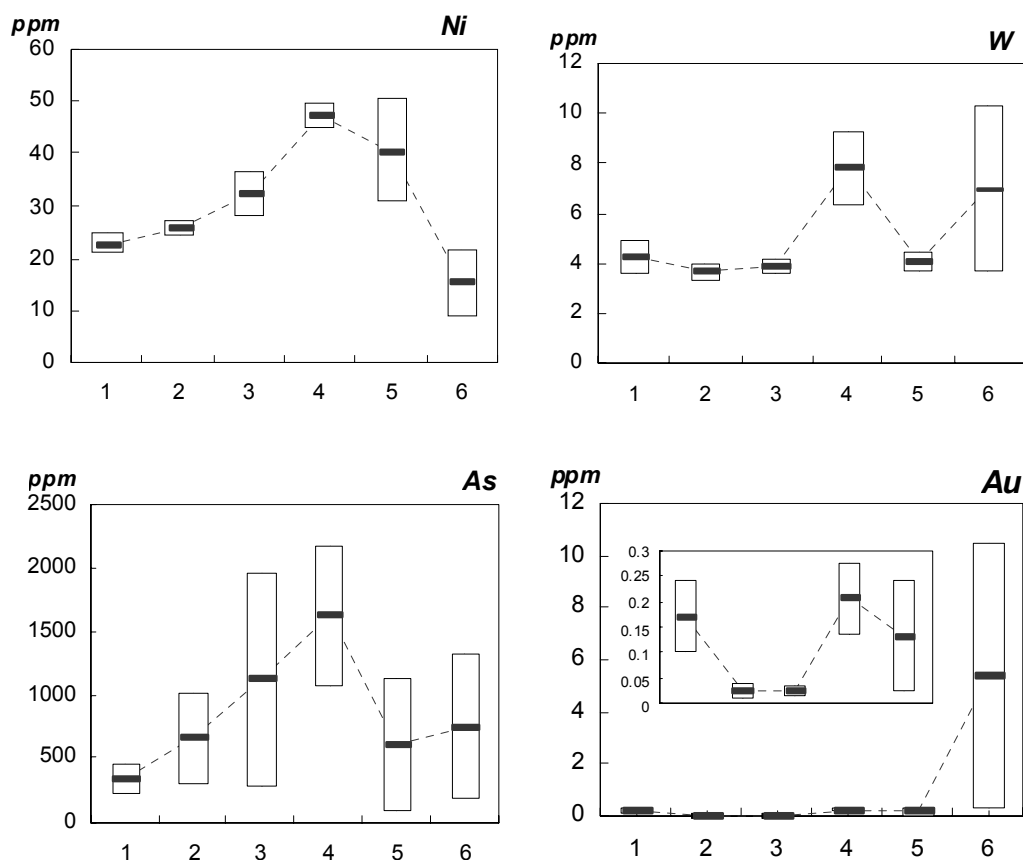


Рис. 2. Средние содержания элементов в различных типах пород проявления Янис. 1 – тоналиты, порфиристы, 2 – граниты, гранодиориты, 3 – диориты, габбро, 4 – терригенные породы, 5 – метасоматиты, 6 – кварцевые жилы с золоторудной минерализацией.

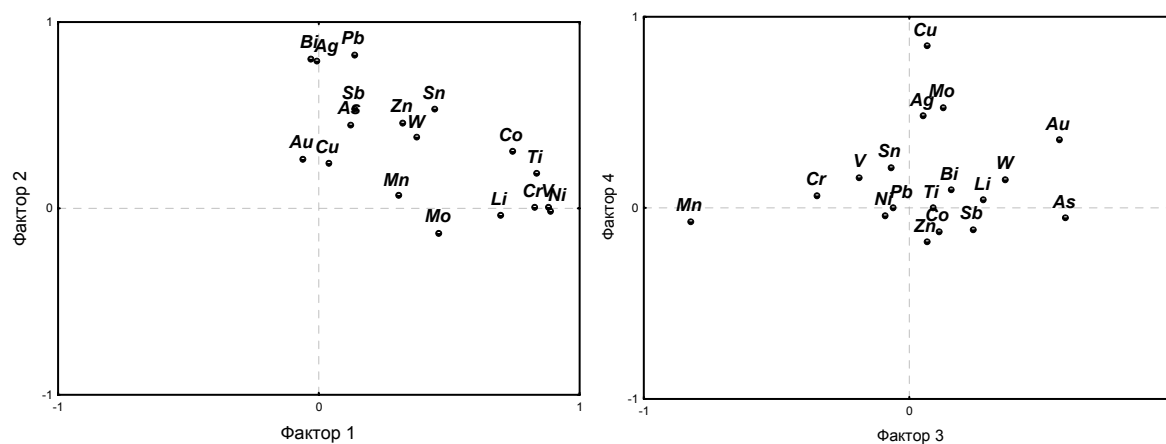


Рис. 3. Диаграммы факторных нагрузок на редкие элементы пород и руд проявления Янис

Факторный анализ методом главных компонент позволяет выделить две основных группы элементов, определяющих геохимическое поле проявления Янис: сидерофильную (Ni, V, Ti, Cr, Co), характерную для наименее измененных пород, и халькофильную (Pb, Bi, Ag, Sb, As, Au, Cu), характеризующую оруденелые породы (рис. 3). Высокими положительными нагрузками на второй фактору выделяется свинец-висмут-серебряная ассоциация, отвечающая присутствию в составе поздних кварцевых жил галенита, теллуридов висмута и самородного серебра. Характерно, что золото более коррелирует не с вышеуказанной группой элементов, а с мышьяком, определяя третий фактор, что, скорее всего, связано с более широким распространением на Янисе наиболее продуктивной золото-арсенопиритовой минерализации в березитах, отложение которой сопровождается выносом марганца. Четвертый фактор демонстрирует возможное присутствие слабо проявленной медно-молибденовой минерализации с золотом и серебром в тоналитах, что требует дальнейшего изучения.

Геохимические особенности рудопоявления Янис указывают на его сходство с расположенным в пределах единой геологической структуры рудопоявлением Алатту, где установлены две сходные главные элементные ассоциации: Au-As и Zn-Pb-Ag-Cu-Bi, отвечающие наличию в рудах двух разновозрастных парагенезисов: золото-арсенопиритового и сфалерит-галенит-фрайбергитового с теллуридами висмута (Савичева, 2006). Кроме того, минералого-геохимические особенности рудопоявления Янис ставят его в один ряд с известными в Финляндии месторождениями Осиконмяки, Пирилаи др. (Kontoniemi et al., 1991; Makkonen & Ekdahl, 1988) и позволяют рассматривать изученный объект как еще одного представителя золото-редкометального типа оруденения в свекофеннидах Балтийского щита.

Исследования выполнены при поддержке российско-американской программы «Фундаментальные исследования и высшее образование» (BRHE) Американского фонда гражданских исследований и разработок (АФГИР) и Министерства образования РФ (гранты 2.2.2.3.4088 и 2.2.2.3.1303)

1. Степанов К.И., Мурадымов Г.Ш., Бехтанова М.К., Путинцева Е.В., Богачев В.А., Руссу И.А., Петров С.В. Отчет по теме "Производство поисковых работ в пределах Сортавальской площади". ФГУП СФ «Минерал», 2004.

2. Савичева О.А. Геохимические и минеральные ассоциации золоторудных проявлений Янисъярвинского участка (Южная Карелия) // Записки Горного института, СПГИ (ТУ), 2006, т.167.ч.1, с.31-34.

3. Kontoniemi O., Johanson B., Kojonen K., Pakkanen L. Ore Mineralogy of the Osikonmaki Gold Deposit, Rantasalmi, Southeastern Finland. Bull. Geol. Surv. Finland. 1991. Special Paper 12. P. 81-86.

4. Makkonen H., Ekdahl E. Petrology and Structure of the Early Proterozoic Pirila Gold Deposit in Southeastern Finland. Bull. Geol. Surv. Finland. 1988. Vol. 60 Part 1. P. 55-66.

ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ МИНЕРАЛОВ И КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Сальников В.Н., Мананков А.В.

Томское отделение. ТПУ, ТГАСУ
mav.39@mail.ru

ELECTROPHYSICAL METHODS TO STUDY MINERALS AND COMPOSITE MATERIALS

Salnikov V.N., Manankov A.V.

Tomsk branch. TPU, TSABU
mav.39@mail.ru

Важная часть проблем по переработке горнодобывающей промышленности относится к технологической минералогии и петрургии. Электрические свойства стекол являются предметом постоянного внимания исследователей (Мазурин, 1971). Установлены основные закономерности электропроводности стекол, Описаны нестационарные электрические процессы, связанные с накоплением и релаксацией объемного заряда. Получены результаты регистрации электропроводности, термотоков, электромагнитных импульсов в радиодиапазоне частот и акустических сигналов в процессе нагревания и охлаждения силикатных стекол и стеклокристаллических материалов. Приведены данные наблюдений о движении и взаимодействии пор, возникающих в стеклах при воздействии тепла и механических напряжений (Мананков, Сальников, 1996).

Силикатные стекла и ситаллы, подверженные слабой механической нагрузке (до $1,26 \times 10^6$ дин/см²), под воздействием теплового поля с очень малым градиентом температур преимущественно разрушаются или ослабляют свою прочность вследствие возникновения различных физико-химических процессов в них. К таким процессам можно отнести: 1) испарение адсорбционной влаги при вакуумной обработке при температурах 40-70°C; 2) образование пара (испарение воды, более энергетически связанной, при температурах 90-120°C); 3) выделение энергии, запасенной в результате радиационной обработки, термической закалке при технологическом производстве стекол и ситаллов.; 4) размягчение, ликвация, образование новых фаз, , то есть изменение состава и структуры стекла выше 250 °C; 5) полиморфные превращения микрокристаллов кварца в аморфной матрице стекла (550-570-590 °C); 6) окислительно- восстановительные реакции при наличии активных примесей (выше 500 °C); 7) процессы укрупнения пор в тепловом поле

вследствие диффузионной коалисценции (во всем интервале температур нагревания и охлаждения образцов стекла). Во всех интервалах перечисленных физико-химических процессов нами зарегистрированы явления электромагнитного излучения, аномальные изменения электропроводности, наличие термотоков, которые несут информацию об интенсивности процессов, развивающихся при нагревании и отжиге стекол и ситаллов.

Для измерения электрофизических свойств природных и синтетических стекол и ситаллов разработаны и использованы специальные методики, получившие аппаратное оформление (Сальников, 1999). Результаты амплитудно-частотного анализа термостимулированного радиоизлучения образцов стекол показывают, что явления, происходящие в нагреваемых образцах вызывают появление как линейчатого, так и сплошного спектра в широком диапазоне частот (до 25 МГц) с амплитудами регистрируемых сигналов от 10 мВ до 2,5 В. Различие спектров амплитуд сигналов обусловлено, очевидно, разными ионизационными процессами, которые протекают в нагреваемом образце, например, отжигом дефектов или микротрещинообразованием. Эти ионизационные процессы вызывают кратковременное течение тока – токи высокой частоты или, как их называют, частичные разряды. Ионизационные процессы состоят из единичных частичных разрядов, каждый из которых сопровождается нейтрализацией определенного заряда ΔQ_x в толще диэлектрика. Последнее приводит к изменению напряжения на внешних электродах всего образца C_x на некоторую величину $\Delta Q_x = \Delta Q / C_x$. Величина ΔQ_x называется кажущейся интенсивностью ионизационного процесса. Соотношение между ΔQ и ΔQ_x определяется зависимостью между емкостью элемента диэлектрика, участвующего в частичном разряде C_v , и емкостью элемента диэлектрика C_d , включенного в электрическую схему последовательно с первым. Тогда $\Delta Q_x = \Delta Q C_d / (C_d + C_v)$. Нейтрализация заряда и связанное с ней изменение напряжения на образце приводит к появлению высокочастотных колебаний. Регистрация этих колебаний предложенными электрофизическими методиками позволяет исследовать ионизационные процессы в природных и синтетических стеклах и ситаллах.

Установлено, что линейчатые спектры представлены радиоимпульсами на частотах в интервале 0,02-30,00 МГц с преимущественным распределением в диапазоне 13,00-23,00 МГц. Амплитуды регистрируемых сигналов наблюдаются от 10 мВ до 2,5 В, по заряду, нейтрализуемому в толще диэлектрика в пределах $1,41 \times 10^{-10} \leq \Delta Q \leq 3,54 \times 10^{-8}$ К. Возникновение сплошного спектра связывается с разрядными явлениями, протекающими в результате микротрещинообразования или пробоя газовых включений.

Установленные максимумы и минимумы, как радиоизлучения, так и электропроводности или термоотоков, могут быть взяты за основу контроля качества стекла и позволяют предложить способ определения температур фазовых превращений в технических и ситаллизирующихся стеклах.

1. *Мазурин О.В.* Изучение электрических свойств как средство выявления особенностей строения стекла// Стеклообразное состояние. Л., 1971.- С. 350-353.

2. *Мананков А.В., Сальников В.Н.* Электропроводность и электромагнитная эмиссия пироксеновых стекол и ситаллов при высоких температурах//Физика и химия стекла. Том 22, № 4, 1996.- С. 528-535.

3. *Сальников В.Н.* Электропроводность и электромагнитное излучение при нагревании минералов и горных пород. Автореф. дисс....докт. геол.-мин. наук. М., 1999.-48 с.

СРАВНИТЕЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ ПОЛЕВОШПАТОВОГО СЫРЬЯ КАРЕЛИИ

Скамницкая Л.С., Щипцов В.В., Бубнова Т.П.

Карельское отделение. Институт геологии КарНЦ РАН
skamnitsk@krc.karelia.ru, shchipts@krc.karelia.ru, bubnova@krc.karelia.ru

COMPARATIVE CHARACTERISTICS OF FELDSPAR MINERALS FROM DIFFERENT SOURCES IN KARELIA

Skamnitskaya L.S., Schiptsov V.V., Bubnova T.P.

Karelian branch. Institute of Geology KarRC RAS
skamnitsk@krc.karelia.ru, shchipts@krc.karelia.ru, bubnova@krc.karelia.ru

В Карелии к традиционным полевошпатовым породам относятся пегматиты, сырьевая база которых широка и разнообразна. Часть из них разрабатывается, отдельные объекты с подсчитанными запасами являются резервной базой. Нетрадиционные источники полевошпатового сырья представлены, главным образом, гранитами рапакиви, кварцевыми порфирами, геллефлинтами, сиенитами и щелочными гранитами, анортозитами. Химический и минеральный состав различных объектов приведен в таблицах 1 и 2. Все породы относятся к нормальному ряду (калиевый модуль менее 3) и имеют в основном благоприятные для обогащения текстурно-структурные характеристики. При обогащении этих видов сырья, возникают трудности, связанные с присутствием минералов с близкими свойствами. Так, микроклин, плагиоклаз и кварц методами магнитной сепарации неразделимы. Флотационное обогащение усложняет процесс, т.к. разделение полевых шпатов и кварца требует использования токсичных реагентов.

Нетрадиционные породы отличаются постоянством состава в пределах площади опробования. Большинство из них характеризуется биминеральным составом основных породообразующих минералов. Структура тонкосреднезернистая. Данные петрографического, минералогического и химического составов показывают, что нетрадиционные источники полевошпатового сырья Карелии в зависимости от состава (калиевого модуля) пригодны в качестве флюсующего компонента для производства широкого круга изделий по керамической технологии, в качестве глиноземного компонента для стекольного производства и в других возможных направлениях.

Таблица 1

Химический состав полевошпатового сырья (содержание, вес.%)

Объекты		SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	H ₂ O	П.п.п.	Ba	Sr	Модуль K ₂ O/Na ₂ O
Пегматиты гранитные		73,94	0,01	15,21	0,51	0,12	0,13	0,21	3,53	5,92	0,19	0,04			1,68
Пегматиты	Плаггиомикроклиновый	74,30	0,1	15,24	0,56	-	0,17	0,57	3,97	4,95		0,15			1,25
	микроклиновый	72,40	Сл.	15,35	0,24	-	0,03	0,15	3,15	8,00		0,30			2,54
	плаггиоклазовый	75,60	Сл.	14,15	1,10	-	0,10	0,35	4,78	2,85		0,8			0,60
Анортозит		50,36	0,21	27,09	3,26	0,034	2,08	11,79	4,12	0,40	0,27	0,62	0,01	0,03	0,09
Апогранит		73,32	0,03	14,92	0,38	0,005	0,41	0,43	3,53	6,56	0,20	0,02			1,86
Сиениты	щелочные	57,72	0,68	17,92	6,21	0,186	0,73	2,87	6,2	6,16	0,28	1,12	0,20	0,03	0,99
	барий-стронциевые	63,04	0,03	20,81	0,15	0,007	0,142	1,00	5,67	7,07		0,38	1,25	1,02	1,25
Геллефлинта		76,52		14,02	0,10		0,10	2,44	5,75	0,20					0,03

Таблица 2

Минеральный состав полевошпатового сырья (содержание, %)

Объекты		Микроклин	Ортоклаз	Плаггиоклаз	Кварц	Биотит	Мусковит	Амфибол	Нефелин	Гранат	Рудные	Каолинит	Апатит	Пироксен	Титанит
Пегматиты гранитные			21,80	33,70	29,70	3,70	7,03			0,87	0,10	3,20			
Пегматиты	плаггиомикроклиновый	21,40		42,70		0,40	32,60		1,44						
	микроклиновый	65,83	3,58		26,88	1,14			1,44						
	плаггиоклазовый	1,71		59,89	32,00	1,40			4,50						
Анортозит				78,60	ед.	0,60		17,1		1,30	1,50				
Апогранит		49,34		18,95	31,30	0,39	0,01			0,01	ед.				
Сиениты	щелочные	54,50		22,06		6,71	5,1	1,45		0,21	1,43		0,43		0,89
	барий-стронциевые					6,85	4,48				2,38		4,38	12,40	1,88
Геллефлинта				65,00	25,00	7,50				0,30	0,30		0,50		0,50

В целом можно говорить о широком спектре источников полевошпатового сырья в Карелии, в том числе и нетрадиционных, концентраты которых могут иметь многоцелевое назначение (табл. 3).

Таблица 3.

Химический состав концентратов (содержание, вес.%)

Концентрат		SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	K ₂ O/Na ₂ O
Пегматиты гранитные				0,11			4,80	4,24	0,88
Пегматиты	Плагин- микроклиновый	69,00	17,35	0,09	0,07	0,35	4,15	9,00	2,15
	микроклиновый	71,83	15,48	0,10	0,10	0,35	2,30	9,40	4,10
	плагинклавовый	77,45	13,25	0,16	0,04	0,40	4,70	2,80	0,58
Анортозитовый		52,33	29,39	0,16	0,008	11,87	4,50	0,24	0,44
Апогранитовый				0,15			3,45	5,89	1,70
Сиениты	щелочные	64,36	20,43	0,17			6,77	6,93	1,02
	барий- стронциевые	60,38	21,26	0,13	0,09	1,38	5,67	6,20	1,1
Геллефлинта		73,65	15,33	0,22	0,52	2,92	6,56	0,35	0,05

Sm-Nd СИСТЕМАТИКА МЕТАМОРФИЧЕСКИХ ГРАНАТОВ*Скублов С.Г., Пушкарев Ю.Д.*

Санкт-Петербургское отделение. ИГГД РАН. skublov@mail333.com

Sm-Nd SYSTEMATIC OF METAMORPHIC GARNETS*Skublov S.G., Pushkarev Ju.D.*

Saint-Petersburg branch. IPGG RAS. skublov@mail333.com

К настоящему времени достаточно хорошо исследованы закономерности распределения РЗЭ в гранатах низкотемпературных фаций метаморфизма. Основным итогом этих исследований явилась систематизация типов зональности по РЗЭ в гранатах низко- и среднетемпературной амфиболитовой фации и ее связь с кристаллизацией акцессорных минералов. Однако особенности распределения РЗЭ в гранатах высокотемпературной амфиболитовой и гранулитовой фации метаморфизма изучены гораздо хуже (Скублов, 2005).

Ранее было высказано предположение, что гранаты гранулитовой фации обогащены не менее чем на порядок Nd и Sm и имеют четко выраженную отрицательную Eu-аномалию по сравнению с гранатами амфиболитовой фации (Bea, 1996). Такой характер распределения РЗЭ установлен нами только для низкокальциевых гранатов (менее 10 %grossularового минала) из кислых и средних по составу гранулитов (рис. 1, а). Гранаты этой группы отличаются четко выраженной отрицательной Eu-аномалией - Eu/Eu^* отношение варьирует от 0,03 до 0,15 (Другова и др., 2001). Появление Eu-аномалии в гранатах из гранулитов можно объяснить равновесием граната с расплавом с нормативным плагиоклазом (Jung, Hellebrand, 2006) или влиянием фактора давления (Bea et al., 1997). Низкокальциевые гранаты амфиболитовой фации характеризуются резко контрастным спектром распределения РЗЭ с обогащением от легких к тяжелым при незначительной отрицательной Eu-аномалии (рис. 1, б). Низкокальциевые гранаты гранулитовой и амфиболитовой фаций отличаются друг от друга Sm/Nd отношением и содержанием Nd и Sm по данным локальных методов (рис. 1, г). Для низкокальциевых гранатов гранулитовой фации Sm/Nd отношение составляет в среднем 3, а содержание Nd – 3 ppm, Sm – 9 ppm; для сходных по кальциевости гранатов амфиболитовой фации Sm/Nd отношение более высокое – около 6, а содержание Nd и Sm пониженное – 0,2 и 1,3 ppm, соответственно.

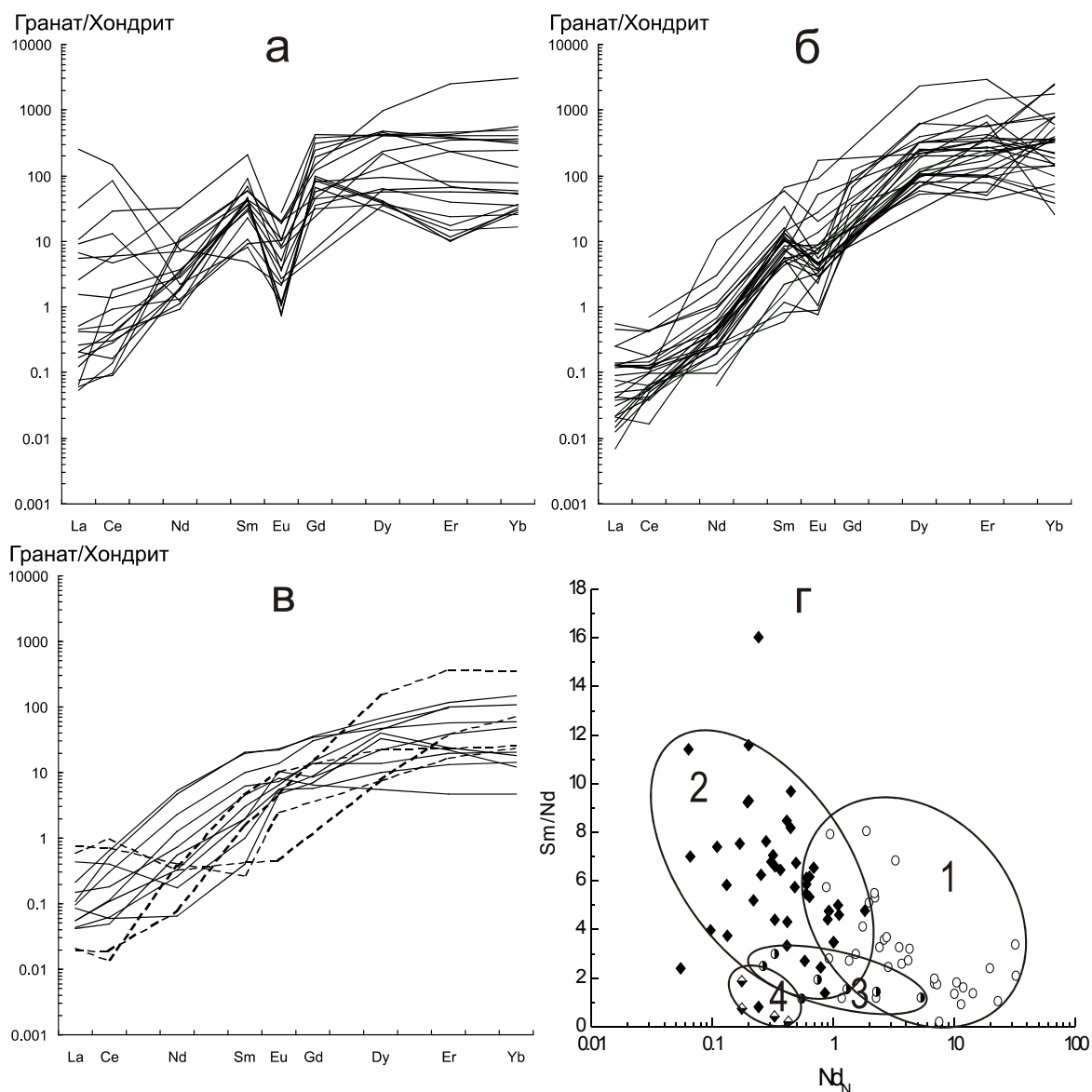


Рис. Распределение РЗЭ в гранатах из метаморфических пород по данным локальных методов: а – низкокальциевые гранаты гранулитовой фации; б – низкокальциевые гранаты амфиболитовой фации; в – высококальциевые гранаты гранулитовой (сплошные линии) и амфиболитовой (пунктирные линии) фаций. г – соотношение нормированного к хондриту содержания Nd_N в гранатах и Sm/Nd отношения. Показаны поля составов: 1 - низкокальциевых гранатов гранулитовой фации; 2 - низкокальциевых гранатов амфиболитовой фации; 3 - высококальциевых гранатов гранулитовой фации; 4 - высококальциевых гранатов амфиболитовой фации.

Возможным источником Nd и Sm для граната является реакция дегидратации слюдов и распад монацита, являющихся концентраторами этих элементов, в условиях гранулитовой фации (Jung, Hellebrand, 2006).

Высококальциевые гранаты гранулитовой и амфиболитовой фаций характеризуются отсутствием Eu-аномалии, пониженным Sm/Nd отношением и содержанием тяжелых РЗЭ (рис. 1в,г). Для высококальциевых гранатов гранулитовой и амфиболитовой фации сохраняются такие же различия по содержанию Nd, даже при

ограниченном количестве данных. Sm/Nd отношение для них минимально (1.5-2) по сравнению с низкокальциевыми гранатами (рис. 1г). Sm-Nd систематика гранатов может использоваться при датировании гранатов Sm-Nd методом, а также при оценке степени насыщенности граната включениями акцессорных минералов.

1. Другова Г.М., Скублов С.Г., Вревский А.Б., Козлов Н.Е. Распределение редкоземельных элементов в гранатах Лапландского гранулитового пояса и сопредельных территорий // Геохимия. 2001а. № 2. С. 232-237.

2. Скублов С.Г. Геохимия редкоземельных элементов в породообразующих метаморфических минералах. СПб.: Наука, 2005. 147 с.

3. Bea F. Residence of REE, Y, Th and U in granites and crustal protoliths; implications for the chemistry of crustal melts // J. Petrol. 1996b. Vol. 37. P. 521-552.

4. Bea F., Montero P., Garuti G., Zacharini F. Pressure-dependence of rare earth element distribution in amphibolite- and granulite- grade garnets. A LA-ICP-MS study // Geostandards Newsletter. 1997. Vol. 21. P. 253-270.

5. Jung S., Hellebrand E. Trace element fractionation during high-grade metamorphism and crustal melting—constraints from ion microprobe data of metapelitic, migmatitic and igneous garnets and implications for Sm–Nd garnet chronology // Lithos. 2006. Vol. 87. P. 193-213.

КОРОНЫ ВЕРШИН И ГРАНЕЙ ТЕТРАГОНАЛЬНЫХ КРИСТАЛЛОВ

Смирнова Н.Л.

Московское отделение. МГУ. snl194@mail.ru

CROWNS OF VERTICES AND FACES OF TETRAGONAL CRYSTALS

Smirnova N.L.

Moscow branch. MSU. snl194@mail.ru

Бесконечно разнообразен мир, но в основе всех его систем, даже хаоса лежат изначальные, жесткие универсальные законы, сводящие бесконечное многообразие к небольшому числу исходных, возможных вариантов. Одним из таких законов является образование последовательностей состоящих из упорядоченных модулей. Все объекты систем состоят из элементов разных иерархических уровней. Последовательности образованы из элементов и их комбинаций. Последовательности могут быть упорядоченными, частично упорядоченными или неупорядоченными. Понятие последовательность существуют во всех системах.

Как известно минералы могут иметь ограниченную внешнюю форму и не ограниченную. Внешние формы ограниченных кристаллов представляют собой полиэдры. Элементами полиэдров являются вершины, грани (n -гоны), ребра. Грани имеющие одинаковое значение n считаем идентичными, независимо от длины ребер и углов между ребрами. Ранее такие грани называли отличающимися деформацией, а теперь топологически идентичными. Классификация внешних форм ограниченных кристаллов осуществляется на основании их симметрии, символов граней, вершин, ребер. Выделяются простые формы, состоящие из идентичных граней, их комбинаций. У реальных кристаллов грани одной простой формы в зависимости от условий роста могут иметь форму разных многоугольников. Нами рассматривается система внешних форм органических и неорганических тетрагональных кристаллов приведенных в справочнике (Болдырев А.К., 1937), у которых грани простых форм идентичны. К каждой вершине кристалла примыкает последовательность граней (n -гонов) образующих корону Вг. Последовательность n -гонов может быть арифметической и алгебраической. Арифметическая корона состоит из последовательности чисел n (чп-формула, ns-formula), например, 33434. Алгебраическая корона состоит из последовательности букв соответствующих n (бп-формула, ls-formula), например, aabab. Одинаковым значениям n соответствуют одинаковые буквы, разным –

разные буквы. Чп-формула не что иное, как формула Шлефли, которая может быть написана в виде последовательности $3_2 4_1 3_1 4_1$ или $3434 <2111>$. По аналогии записываем бп-формулу $a_2 b_1 a_1 b_1$ или $abab <2111>$. Последовательность из символов без индексов - коэффициентов называем чпс-формулой (3434) и бпс-формулой ($abab$). В угловых скобках приведены последовательности индексов - коэффициентов (пи-формулы). Сумма всех коэффициентов соответствует общему числу граней, примыкающих к вершине (ОВ – общая валентность). Число идентичных граней примыкающих к вершине называем ИВ (идентичная валентность). Совокупность ИВ называем РИВ. Совокупность разных граней примыкающих к вершине называем качественной формулой (к-формулой), число разных граней называем РВ (разная валентность). Например, короне 33434 соответствует к-формула с числами от меньшей к большей $|34|$, РВ 2, ОВ $2+1+1+1=5$, ИВ 3-гона 3, 4-гона – 2, РИВ $<32>$. К-формула и РИВ составляют кк-формулу (качественно-количественную формулу), например $|34| <32>$ или $3_3 4_2$. Отличие формулы Шлефли от кк-формулы обусловлено тем, что в последней не учитывается последовательность n-гонов в короне $3_2 4_1 3_1 4_1$ и $3_3 4_2$, $a_2 b_1 a_1 b_1$ и $a_3 b_2$, $|3434| <2111>$ и $|34| <32>$.

Каждый n-гон имеет корону Гв - последовательность из n вершин с одинаковыми и разными формулами Шлефли. Каждый n-гон имеет корону Гр - последовательность из n-ребер, к которым примыкают одинаковые и разные n-гоны. Короны Гв и Гр могут быть представлены вышеуказанными формулами. Нами для 193 топологически различных тетрагональных внешних форм ранее определены бп-формулы корон Вг, Гв, Гр. (Смирнова 2005, 2006). Грани представляют собой элементы n-гоны со значением $n = 3-12, 14, 16$ (точки поставлены перед двузначными числами). Цель данной работы провести сравнение бпс-формул и пи-формул составляющих бп-формулы корон Вг, Гв, Гр.

Установлено 9 разных бпс-формул корон Вг: a , $[ab]$, $[ab]ab$, $[ab]abab$ (гекс), $[ab]ababab$ (куб), $[ab]c$, $[ab]cd$, $[abac]$, $[abac]bc$. От одной формулы к другой сохраняются модули $[ab]$ и $[abac]$. Они дополняются модулями c , bc , cd .

Установлено 20 бпс-формул корон Гв: a , $[ab]$, $[ab]ab$, $[ab]abab$, $[ab]ababab$, $[ab]c$, $/[ab]cd/$, $/[ab]cd/e$, $/[ab]cd/ef$, $/[ab]cd/efg$, $[abac]$, $[abac]abac$, $[ab][abac]$, $[abac][ab]$, $([abac][bc])$, $[abac]d$, $/[abac]dc/$, $/[abac]dc/[abac]dc/$, $/[abac]de/c$, $/[abac]de/f$, $/[abac]de/dc$. Более сложные комбинированные модули выделены прямыми и косыми скобками. При переходе от Вг-корон к Гв-коронам число бпс-формул увеличилось почти в два раза до 20, включающих восемь бпс-формул из девяти. Бпс-формула взятая в круглые скобки не обнаружена. Установлены дополнительные модули – c , cd , dc , $dedc$, dec , def , cde , $cdef$, $cdefg$ (или c , d , e , f , dc , ef , efg).

Выделено 34 бпс-формулы корон Гр: a , $[ab]$, $[ab]_2$, $[ab]_3$, $[ab]_4$, $[ab]_6$, $[ab]c$, $[ab]_2 c$, $/[ab]cd/$, $[ab]/[ab]cd/$, $/[ab]cd/e$, $/[ab]cd/ef$, $/[ab]cade/$, $[ab]/[ab]cade/$, $[abac]$, $[abac]_2$, $[abac]_4$, $/[ab][abac]/$, $[ab]/[ab][abac]/$,

$/[ab][abac]/_2$, $[abac]d$, $[abac]bc$, $[abac]ad$, $[abac]bd$, $/[abac]dc/$, $/[abac]dc/_2$, $[ab]/[abac]dc/$, $/[abac]dadc/$, $[ab]/[abac]dadc/$, $(ab)_3/[abac]dadc/$, $[abac]dbdc$, $/[abac][ab]/d$, $/[abac][ab]/ad/$, $/[abac][ab]/ad|ed$. Коронам граней Гр соответствует почти в два раза больше бпс-формул, чем коронам Гв. Основные модули бпс-формул все те же: $[ab]$, $[abac]$, но появились их устойчивые комбинации, например $/[ab][abac]/$, $/[abac][ab]/$, которые повторяются в разных бпс-формулах. как целые новые комбинированные элементы. В результате все бпс-формулы состоят из 1-3 составных частей. Такое явление установлено нами ранее как общий принцип для модулярного состава кристаллических структур (Смирнова, 1967) и в других природных системах. Дополнительные модули: c , d , bc , bd , ad , cd , dc , $dadc$, $dbdc$, cde , $cade$, $aded$, $cdef$ (или c , d , e , bc , ad , bd , ed , ef , $dbdc$). Они включают все дополнительные модули бпс-формул корон Вг и Гв за исключением $dedc$, dec , def , $cdefg$ (или f , efg). Бпс-формулы корон Гр включают все бпс-формулы корон Вг и Гв за исключением пяти. Эти бпс-формулы (обозначены знаком плюс) закономерно вписываются в сводный список из 39 бпс-формул: a , $[ab]$, $[ab]_2$, $[ab]_3$, $[ab]_4$, $[ab]_6$, $[ab]c$, $[ab]_2c$, $/[ab]cd/$, $[ab]/[ab]cd/$, $/[ab]cd/e$, $/[ab]cd/ef$, $+/[ab]cd/efg$, $/[ab]cade/$, $[ab]/[ab]cade/$, $[abac]$, $[abac]_2$, $[abac]_4$, $/[ab][abac]/$, $[ab]/[ab][abac]/$, $/[ab][abac]/_2$, $[abac]d$, $[abac]bc$, $[abac]ad$, $[abac]bd$, $/[abac]dc/$, $/[abac]dc/_2$, $[ab]/[abac]dc/$, $+/[abac]de/dc$, $+/[abac]de/c$, $+/[abac]de/f$, $/[abac]dadc/$, $[ab]/[abac]dadc/$, $(ab)_3/[abac]dadc/$, $[abac]dbdc$, $+/[abac][ab]/$, $/[abac][ab]/d$, $/[abac][ab]/ad/$, $/[abac][ab]/ad|ed$.

Приводим последовательности пи-формул корон Вг, Гв, Гр. Для краткости представляем их в свою очередь в виде символов и индексов. Выделено 22 разные пи-формулы корон Вг (символы следуют в формуле от большего к меньшему): 1_3 (111), 1_4 , 1_6 , 1_8 , 21 , 21_2 , 21_3 , 21_5 , 2_2 , 2_21_2 , 2_4 (куб.), 3 , 31 , 31_3 , 32 (гекс), 4 , 41 , 42 , 43 (куб), 5 , 6 , 8 . Установлено 47 разных пи-формул корон Гв: 1_3 , 1_4 , 1_5 , 1_6 , 1_7 , 1_8 , 21 , 21_2 , 21_3 , 21_4 , 21_5 , 21_6 , 21_7 , 2_2 , 2_21_2 , 2_21_3 , 2_21_4 , 2_21_6 , 2_21_{10} , 2_31 , 2_31_3 , 2_31_5 , 2_4 , 2_41_2 , 2_41_4 , 2_8 , 3 , 31 , 31_2 , 31_3 , 32 , 321_2 , 3_221_3 , 4 , 41 , 41_5 , 41_7 , 42 , 421_4 , 4_21_2 , 5 , 6 , 6_2 , 8 , 82_3 , $.10$, $.12$. Найдено 59 разных пи-формул корон Гр: 1_3 , 1_4 , 1_5 , 1_6 , 1_7 , 1_8 , 1_{10} , 1_{12} , 1_{14} , 1_{16} , 21 , 21_2 , 21_3 , 21_4 , 21_5 , 21_9 , 2_2 , 2_21 , 2_21_2 , 2_21_3 , 2_21_4 , 2_21_6 , 2_21_{10} , 2_31 , 2_31_5 , 2_41_4 , 3 , 31 , 31_2 , 31_3 , 31_4 , 31_6 , 32 , 321_2 , 321_3 , 3_2 , 3_21_2 , 3_221 , 3_22_2 , 3_4 , 3_41_4 , 4 , 41 , 41_3 , 42 , 421_2 , 4_21_2 , 4_221 , 5 , 51 , 51_3 , 51_5 , 521_2 , 6 , 61 , 8 , 9 , $.10$, $.12$. Все пи-формулы корон Вг полностью входят в состав пи-формул корон Гр, но пи-формулы корон Гв входят в состав корон Гр без пи-формул 21_6 , 21_7 , 2_31_3 , 2_4 , 2_41_2 , 2_8 , 3_221_3 , 41_5 , 41_7 , 421_4 , 43 , 6_2 , 82_3 . Однако, эти пи-формулы закономерно дополняют систему пи-формул корон Гр до 72. В полном сводном списке они выделены знаком плюс: 1_3 , 1_4 , 1_5 , 1_6 , 1_7 , 1_8 , 1_{10} , 1_{12} , 1_{14} , 1_{16} , 21 , 21_2 , 21_3 , 21_4 , 21_5 , $+21_6$, $+21_7$, 21_9 , 2_2 , 2_21 , 2_21_2 , 2_21_3 , 2_21_4 , 2_21_6 , 2_21_{10} , 2_31 , $+2_31_3$, 2_31_5 , $+2_4$, $+2_41_2$, 2_41_4 , $+2_8$, 3 , 31 , 31_2 , 31_3 , 31_4 , 31_6 , 32 , 321_2 , 321_3 , 3_2 , 3_21_2 , 3_221 , $+3_221_3$, 3_22_2 , 3_4 , 3_41_4 , 4 , 41 , 41_3 , $+41_5$, $+41_7$, 42 , 421_2 , $+421_4$, $+43$, 4_21_2 , 4_221 , 5 , 51 , 51_3 , 51_5 , 521_2 , 6 , 61 , $+6_2$, 8 , $+82_3$, 9 , $.10$, $.12$.

В состав пи-формулы граней входят символы 1, 2, 3, 4, 5, 6 и более. Первые наибольшие символы пи-формулы 1, 2, 3, 4, 5, 6 и более. Их встречаемость в коронах: Вг 4, 7, 4, 4, 1, 2, Гв 6, 20, 7, 7, 1, 6, Гр 10, 16, 15, 7, 5, 6. Приводим встречаемость наибольших символов пи-формулы корон Вг-Гв-Гр: 1 (4-6-10), 2 (7-20-16), 3 (4-7-15), 4(4-7-7), 5(1-1-5), 6 и более (2-6-6). Наибольшая встречаемость у наибольших символов 2 (20) Гв, 2 (16) Гр, 3 (15) Гр, 1 (10) Гр. Выявлено 25 наборов из символов больших единицы в пи-формулах корон Вг, Гв, Гр: 2, 2₂, 2₃, 2₄, 2₈, 3, 3₂, 3₂2, 3₂2₂, 3₂, 3₄, 4, 4₂, 4₃, 4₂, 4₂2, 5, 5₂, 6, 6₂, 8, 8₂, 9, 10, 12.

Организация систем единообразна. Новые данные закономерно впишутся в приведенные системы формул. Аналогично организуются последовательности в других системах пород, минералов, их составов, их структур и т.д.

1. Болдырев А.К., Доливо-Добровольский В.В., Шафрановский И.И., Флинт Е.Е., Преображенский Ю.П., Аншелес В.А., Лямина А.Н. Михеев В.И., Рунке Э.Ф., Доливо-Добровольская Г.М. Определитель кристаллов. ОНТИ-НКТП Л.-М. 1937. Т. 1. ч. 1. с. 438.

2. Смирнова Н.Л. Идентификация внешних форм кристаллов. // II российское совещание по органической минералогии. Труды конференции. Петрозаводск. 2005 С. 31-33.

3. Смирнова Н.Л. Сходство внешних форм кристаллов. // Минералогические музеи. Санкт Петербург. 2005. Материалы V международного симпозиума. СПбГУ. С 260-261.

4. Смирнова Н.Л. Короны граней тетрагональных кристаллов. // Федоровская сессия 2006. Труды сессии. РИЦ СПГГИ СПб, С. 44-46

5. Смирнова Н.Л. Аналитический и графический метод представления кристаллических структур. // Вестн. Моск. Универ., сер. геол. 1967. в. 2. С. 100 – 111.

СОВРЕМЕННЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ ИЗУЧЕНИЯ «ГАРНИЕРИТА» КАК КЛЮЧ К ПРИРОСТУ ЗАПАСОВ НИКЕЛЯ В МЕСТОРОЖДЕНИЯХ УРАЛЬСКОЙ ПРОВИНЦИИ

Таловина И.В., Лазаренков В.Г., Уголков В.Л.

Санкт-Петербургское. Санкт-Петербургский государственный горный институт (ТУ)
ital@mail.ru, lazarenkov@mail.ru

MODERN EXPERIMENTAL TECHNIQUES TO STUDY «GARNIERITE» AS A KEY SIGN FOR ENCREASING RESERVES OF NICKEL IN THE URALIAN LATERITIC PROVINCE

Talovina I.V., Lazarenkov V.G., Ugolkov V.L.

Saint Petersburg branch. Saint Petersburg State Mining Institute (TU)
ital@mail.ru, lazarenkov@mail.ru

Оксидно-силикатные руды никеля составляют более 70 % мировых запасов этого металла. В России месторождения оксидно-силикатных руд практически все находятся на Урале в Свердловской, Челябинской и Оренбургской областях, где на их основе работают два металлургических комбината («Южуралникель» и «Уфалейникель») и два завода (Режский и Буруктальский). Однако ресурсная база никеля на Урале из-за низкого качества разведанных руд и истощения запасов месторождений оказалась неконкурентноспособной по сравнению с зарубежными. Тем не менее, благодаря успехам современных методов исследования «гарниерита», позволяющих совершенно по-новому взглянуть на состав и генезис этого ведущего никелевого агрегата, можно определенно говорить об перспективах прироста запасов уральских оксидно-силикатных никелевых руд.

В настоящее время название «гарниерит» исключено из минералогических справочников, поскольку по рентгеновским и другим данным он состоит из нескольких минеральных фаз. Нами этот минерал изучался в метасоматитах и рудах Черемшанского, Синарского, Еловского и Сахаринского месторождений на основе данных химического, термического и рентгенофазового анализов. По результатам этих исследований можно сделать следующие выводы.

1. «Гарниериты» уральской провинции оксидно-силикатных никелевых руд представляют собой многофазные образования и состоят из **серпентинов** (пекораита $2Mc_I$, хризотила $2Mc_I$, хризотила $2Orc_I$, лизардита $6T$, лизардита $1T$, непуита - никелевого лизардита $1T$), **хлоритов** (клинохлора $1B$, сепиолита и палыгорскита), **глинистых минералов** (нонтронит, сапонит, монтмориллонит, вермикулит), минералов надгруппы **слюд** (**талька**, вилемсита, клинтонита, флогопита) и **кварца**.

2. «Гарниериты» уральской провинции слагают две парагенетические ассоциации минералов: *гидротермальную* (пекораит $2Mc_I$, + хризотил $2Mc_I$ и $2Orc_I$ + клинохлор IV + тальк + вилемсит + флогопит + кварц) и *экзогенную* (непуит + лизардит IT + сепиолит + палыгорскит + нонтронит + сапонит + монтмориллонит + вермикулит + кварц).

3. Состав «гарниеритов» уральских месторождений сильно отличается от составов «гарниеритов» никелевых месторождений тропического пояса Земли - Новой Каледонии, Индонезии, Бразилии, Колумбии и т.д.. В месторождениях этих стран главными минералами «гарниеритов» являются минералы экзогенной ассоциации – пимелит (никелевый сапонит), непуит, сепиолит, монтмориллонит, тогда как в составе «гарниеритов» Урала к числу важнейших принадлежат минералы гидротермальной ассоциации – хризотилы, пекораит, клинохлор и тальк.

4. Широкое развитие минералов гидротермальной ассоциации в уральских «гарниеритах» свидетельствует о значительной гидротермальной проработке ультрамафитового субстрата уральских месторождений, вследствие чего экзогенный процесс наложился не на «свежий» дунит-гарцбургитовый субстрат, а на серпентинизированные ультраосновные породы, серпентиниты, хлорититы, талькаты, флогопититы и т.д., т.е. на весьма дифференцированный субстрат с неоднородным содержанием никеля, кобальта и элементов-примесей.

5. Гидротермальная никелевая минерализация уральских месторождений в своем пространственном расположении не ограничивается поверхностной зоной, а предполагает глубинное или боковое продолжение. Можно предполагать, что гипергенные никелевые месторождения Уральской провинции характеризуются двухярусным строением, в котором гипергенный верхний ярус имеет «корни» в виде нижнего гидротермального яруса. Не исключено, что под Сахаринским, Еловским, Буруктальским и другими месторождениями существует гидротермальное продолжение, требующее заложения более глубоких скважин чем те, которые были пробурены исходя из гипотезы гипергенного генезиса.

В целом, установление гидротермального генезиса части уральских «гарниеритов» поддерживает «гидротермально-вадозовую» гипотезу В.Н. Разумовой (1977) и «термально-гипогенную» гипотезу Б.М. Михайлова (2002) с позиций вещественного анализа никелевых руд. Сейчас перспективность гидротермальных гипотез для никелевых месторождений Урала исключительно актуальна, поскольку она значительно расширяет область поисков новых месторождений и открывает в уральском рудном районе большие возможности для участия в «никелевом буме», который сейчас переживает мировое производство этого металла.

**ГЛУБОКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПЕРЕРАБОТКИ ЦЕОЛИТОВОГО
МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ НА БАЗЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ
СОВРЕМЕННЫХ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ
ИССЛЕДОВАНИЯ**

Хатькова А.Н.

Читинское отделение. ЧитГУ. khatkova@chitgu.ru

**TECHNOLOGY OF DEEP PROCESSING OF ZEOLITE MINERALS
WITH APPLICATION OF UP-TO-DATE PHYSICO-CHEMICAL
METHODS OF INVESTIGATION**

Khatkova A.N.

Chita branch. Chita State University. khatkova@chitgu.ru

В задачи минералогического обеспечения при создании высокоэффективных схем технологического передела цеолитсодержащих пород входит: определение фазового (минерального) состава исходного сырья, его структурных характеристик (размеров минералов и характера их сростаний с другими минеральными фазами); описание текстурных особенностей руды (взаимной ориентировки минералов в агрегатах); изучение особенностей распределения извлекаемых элементов породы; определение свойств минералов, влияющих на процессы обогащения; осуществление минералогического контроля за ходом обогатительных процессов путем экспрессного фазового анализа различных продуктов обогащения.

Исследование сложных минеральных объектов, к числу которых относятся цеолитсодержащие породы, требует сочетания современных минералогических методов. Поэтому при разработке технологий обогащения низкокачественных цеолитсодержащих пород был применен комплекс минералого-аналитических методов, позволяющий выявлять все минеральные фазы, включая высокодисперсные, проводить их диагностику, устанавливать характер их распределения и взаимоотношения, определять технологические свойства минералов (Хатькова, 2003).

На первом этапе работ по изучению цеолитсодержащих пород используется оптическая микроскопия, для определения текстурно-структурных характеристик. Дальнейшие минералогические исследования, направленные на определение всех минеральных компонентов и особенностей фазового состава породы, изучение состава и свойств порообразующих минералов, выявление характера раскрытия минералов, форм вхождения в них минеральных примесей проводятся на

предварительно измельченном, усредненном, классифицированном и фракционированном по плотности и магнитным свойствам материале.

Как показал опыт, традиционные минералогические методы исследования (оптико-минералогический и оптико-петрографический) обычно не обеспечивают необходимой полноты определения минерального состава пород с диагностикой всех минеральных фаз и количественной оценкой их содержаний. Это обусловлено сложным полиминеральным составом пород, наличием в них тонкодисперсных агрегатов. Поэтому оптимальным в данной ситуации является комплексирование оптико-минералогических методов с рентгенографическим, химическими, физико-химическими, инструментальными методами определения фазового состава, что позволяет надежно идентифицировать минеральные фазы, а впоследствии изучать динамику изменения их количественного соотношения в продуктах технологического передела.

Изучение цеолитсодержащих пород практически невозможно без применения электронно-микроскопического анализа, позволяющего выявлять тонкие особенности поверхности, посредством прямого наблюдения микрорельефа, определять элементный состав минералов, получать информацию о поверхностном распределении элементов.

Для экспрессной технологической оценки сырья, изучения характера распределения минералов в породе и продуктах ее обогащения, а также изучения морфометрии основных минеральных фаз, впервые применена методика оптико-геометрического анализа изображений с использованием компьютерной системы «Видео-Мастер».

Морфометрические характеристики цеолитсодержащих пород просчитывались через геометрические параметры их зерен: площадь A (мкм^2); длину L (мкм); ширину B (мкм); периметр P (мкм); удлиненность $U = L/D$; фактор формы $C = 4\pi A/P^2$.

На основании полученной оптико-геометрическими методами информации проведена предварительная оценка обогатимости цеолитсодержащего сырья, определены: оптимальный режим рудоподготовки, обеспечивающий достаточное раскрытие минеральных фаз; рациональная технологическая схема; неизбежные технологические потери, что позволило сократить объемы технологических исследований, повысив при этом их эффективность (Хатькова, 2004).

В связи с тем, что цеолитсодержащие породы содержат железо либо в виде изоморфной примеси, либо в виде механических микровключений, возникла потребность привлечения мессбауэровской спектроскопии (ЯГРС), которая впервые использовалась для выяснения особенностей состава цеолитсодержащих пород и, как следствие, объяснение их магнитных свойств.

Для понимания особенностей процессов глубокого обогащения цеолитсодержащих пород важное значение имеет знание физических, физико-химических, физико-механических, термических, сорбционных (технологических) свойств, большую часть из которых можно определить минералогическими методами согласно нормативным документам НСОММИ. В частности, нами определялись такие физические характеристики как: плотность, микротвердость, удельная магнитная восприимчивость, ионная проводимость, насыпная плотность, влагоемкость, механическая прочность.

В рамках исследования сорбционных свойств цеолитсодержащих пород измерены текстурно-геометрические параметры (распределение объемов пор и поверхности по размерам).

Для оценки качества цеолитсодержащих пород по основным направлениям использования изучены токсиколого-, радиационно-гигиенические и термические свойства. Эффективность комплексирования минералого-аналитических методов продемонстрирована на примере изучения цеолитсодержащих пород месторождений Восточного Забайкалья (Шивыртуйского, Холинского, Бадинского, Талан-Гозагорского).

1. *Хатькова А.Н.* Комплекс минералого-аналитических методов исследований для оценки качества цеолитсодержащих пород и разработки технологий их обогащения // Первая Всероссийская конф. «Сырьевая база неметаллических полезных ископаемых и современное состояние научных исследований в России» (Москва, 2003): материалы. – М.: ИГЕМ, 2003. – С. 30, 31.

2. *Хатькова А.Н.* Основные минералогические факторы, определяющие обогатимость и технологические свойства цеолитсодержащих пород // Горный информационно-аналитический бюллетень. – М.: МГТУ, 2004 – С. 326 – 333.

3. *Хатькова А.Н.* Роль технологической минералогии при разработке оптимальных схем обогащения цеолитсодержащих туфов // Международн. совещание «Направленное изменение физико-химических свойств минералов в процессах обогащения полезных ископаемых». Плаксинские чтения (Петрозаводск, 2003): материалы. – М.: Альтекс, 2003. – С. 127, 128.

**МЕХАНОАКТИВАЦИОННАЯ ГОМОГЕНИЗАЦИЯ
ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОБ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ
АНАЛИЗА ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫМИ ЯДЕРНО-ФИЗИЧЕСКИМИ
МЕТОДАМИ**

*Юсупов Т.С.¹, Жмодик С.М.¹, Аношин Г.Н.¹, Кириллова Е.А.,
Бондаренко В.П., Колмогоров Ю.П., Спиридонов А.М.², Немеров В.К.*

¹ Западно-Сибирское отделение. ИГМ СО РАН.

yusupov@uiggm.nsc.ru, zhmodik@uiggm.nsc.ru;

² Восточно-Сибирское отделение. ИГХ СО РАН. sam@igc.irk.ru

**MECHANIC-ACTIVATED HOMOGENIZATION OF GEOLOGICAL
SAMPLES TO IMPROVE THE ACCURACY OF ANALYSIS BY
NUCLEAR-PHYSICAL METHODS**

*Yusupov T.S.¹, Zhmodik S.M.¹, Anoshin G.N.¹, Kirillova E.A., Bondarenko V.P.,
Kolmogorov Yu.P., Spiridonov A.M.², Nemerov V.K.*

¹ West Siberian branch. IGM SB RAS. yusupov@uiggm.nsc.ru, zhmodik@uiggm.nsc.ru;

² East Siberian branch. Vinogradov Institute SB RAS. sam@igc.irk.ru

Одним из главных факторов нестабильности и большого разброса количественной оценки содержания металлов платиновой группы, рения, золота и серебра в горных породах и рудах является неравномерность их нахождения и разнообразие форм присутствия в геологических объектах.

Наиболее сложными формами нахождения благородных металлов характеризуются сульфидные минералы (пирит, пирротин, арсенопирит) и углеродсодержащие вещества, в частности черносланцевые породы. Металлы могут находиться в субмикроскопическом, пылевидном состоянии или в виде твердых растворов в состоянии химических соединений с другими элементами, а в углеродистых веществах даже в атомарных и кластерных формах, но большая часть благородных металлов находится в сорбированном, элементном и минеральном видах. Кроме того широко распространенной формой нахождения благородных металлов в породах и рудах являются наночастицы, представляющие собой упорядоченные образования атомов от первых до сотен нанометров. Благородные металлы в таких частицах могут быть окружены атомами, например, углерода (в металлофуллеренах) и практически недоступны для определения стандартными методами.

Неравномерное распределение благородных металлов в различных геологических объектах усложняет задачу получения достоверных аналитических данных. В данном свете исследования гомогенизации

геологических проб выступает как актуальный и важный процесс перед анализами.

В СО РАН создана инструментальная база для изучения процессов механоактивационной гомогенизации минеральных веществ и разработаны центробежно-планетарные мельницы различного конструктивного исполнения, отличающиеся наибольшей энергонапряженностью (до 80 100 g) из известной измельчительно-активационной техники.

В экспериментах использовался нетрадиционный метод подготовки проб для анализа, а, именно, активационное сверхтонкое измельчение золотосодержащей руды. Объектом исследования служили углистые сланцы с сульфидной минеральной составляющей месторождения Сухой Лог.

Измельчение проб осуществлялось в центробежно-планетарной мельнице М-3 в течение 7 и 15 минут в сухом режиме. Образцы исходной и гомогенизированных проб анализировались РФА-СИ- и атомно-адсорбционным методами. Исходная проба готовилась измельчением в виброистирателе конструкции «Механобр» при 3 g (ускорение силы тяжести) в течение 5 мин.

В таблице даны результаты определения Au методом РФА-СИ при 2-5-кратном повторении каждого образца из навески массой 0,1 г. Данные анализа свидетельствуют о значительных колебаниях в содержании Au в исходных навесках (табл.)

Таблица

Результаты определения содержания золота в параллельных навесках

Образец	Условия измельчения, время (мин.)	Содержание Au, г/т
Исходный	Виброизмельчитель, 3	34,2
-/-	-/-	74,0
-/-	-/-	27,0
-/-	-/-	1,71
-/-	-/-	н/обн,
Измельченный в М-3	Сухое измельчение, 7	27,7
-/-	-/-	43,3
Измельченный в М-3	Сухое измельчение, 15	34,1
-/-	-/-	32,5
-/-	-/-	30,4
-/-	-/-	33,2

Пробы, измельченные в М-3 незначительно отличаются по содержанию Au при повторных определениях. Так, при 15-минутном измельчении среднее содержание Au составляет 32,5 г/т. При использовании атомно-абсорбционного метода анализа проб данного месторождения активированная гомогенизация мало влияет на результаты ввиду достаточно полного растворения благородных металлов в

агрессивных средах. Ее роль возрастает при анализе труднорастворимых угольных минеральных веществ как метода эффективного их вскрытия.

По данным атомной абсорбции (определение проводилось при разложении образцов массой 5-10 г в царской водке) среднее содержание Au данной пробы составило 30,5 г/т, причем различие в определениях не превышает 1-3 г/т от исходного значения.

Таким образом, можно утверждать, что при использовании ядерно-физических методов определения содержания благородных металлов из относительно небольших навесок, в частности, метода РФА-СИ возникает необходимость в качественной гомогенизации анализируемого материала, для осуществления которой целесообразно использовать механоактивационное измельчение в центробежно-планетарных аппаратах, позволяющих снизить аналитические погрешности и улучшить точность анализа.

АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ

Анкушева Н.Н.	107	Колмогоров Ю.П.	214
Аношин Г.Н.	214	Колоскова С.М.	30
Ахмедов Х.	93	Конеев Р.И.	143
Аюпова Н.Р.	7	Копейкин В.А.	96
Бадалов С.Т.	111	Корытов Ф.Я.	145
Бахтин А.И.	114	Кочетков О.С.	96
Бершов Л.В.	153	Краснов А.Н.	33
Бобков А.И.	10, 12	Кукуй А.Л.	146
Богданова Л.А.	155	Кульков А.М.	149
Богуш И.А.	14, 132	Купцова А.В.	37
Бойцов В.Е.	17	Лазаренков В.Г.	180, 209
Бондаренко В.П.	214	Лебедева Г.А.	22
Бубнова Т.П.	117, 199	Лопатин О.Н.	114
Букина Т.Ф.	120	Лохов К.И.	187
Бурцев А.А.	132	Магазина Л.О.	145
Василевский Б.Б.	63	Макарова Ю.В.	42
Васильева И.Е.	155	Мананков А.В.	99, 102, 196
Викентьев И.В.	145	Марченко А.Г.	42
Викентьева О.В.	123	Матвеева О.П.	146
Винниченко С.В.	137	Мелекесцева И.Ю.	46
Гаранжа А.В.	117	Минеева Р.М.	153
Гиль В.А.	143	Миронов А.Г.	61
Говорова Л.К.	89	Мирусманов М.А.	49
Головина Т.А.	20	Михайлов М.А.	155
Григорьева А.В.	125	Моисеенко В.Г.	51
Данилевская Л.А.	128	Мухамеджанова Д.В.	93
Демина Т.В.	155	Немеров В.К.	214
Джангиров М.Ю.	132	Непомнящих А.И.	155
Додин Д.А.	89	Низамова А.Т.	63, 105
Дорожкина Л.А.	17	Николаев А.Г.	114
Дубровская И.В.	125	Новоселов К.А.	165
Дунин-Барковская Э.А.	93	Огородников В.Н.	177
Елисеева В.А.	20	Петров С.В.	37, 69, 73
Ерёмин О.В.	137	Пилипенко Г.Н.	17
Ермакова Е.С.	153	Пирогов Б.И.	158
Жмодик С.М.	214	Пискунов Ю.Г.	51
Зайков В.В.	107	Плотинская О.Ю.	165
Зелтман Р.	165	Поваренных М.Ю.	168
Землянский В.Н.	96	Подшивалов И.И.	99
Зорина Л.Д.	33	Поленов Ю.А.	177
Изоитко В.М.	89	Попкова Н.В.	73
Изотов В.Г.	140	Попов Е.Л.	93
Илясов В.Н.	120	Потылицына Е.С.	102
Каменева Е.Е.	22, 25	Пройдакова О.А.	155
Кириллова Е.А.	214	Прокофьев В.Ю.	33
Коваленкер В.А.	33, 165	Пушкарев Ю.Д.	202
Коваленко Л.Н.	89	Родкин М.В.	55

Розенталь А.П.	155	Таловина И.В.	180, 209
Романов В.С.	155	Татаринов А.В.	61
Рундквист Д.В.	3	Титков С.В.	153
Рыжкова С.О.	180	Трубкин Н.В.	33
Сабиров А.М.	114	Туресебеков А.Х.	63, 105
Савва Н.Е.	58	Уголков В.Л.	209
Савичев А.А.	182, 187, 192	Умаров А.З.	93
Савичева О.А.	192	Фролов П.В.	22
Сазонов В.Н.	177	Халматов Р.А.	143
Сальников В.Н.	102, 196	Хантемиров Р.М.	63
Самосоров Г.Г.	153	Хатькова А.Н.	211
Седова Е.А.	153	Чайковский И.И.	65
Скамницкая Л.С.	25, 199	Чернышов Н.М.	69, 73
Скублов С.Г.	202	Чернышова М.Н.	76
Смирнова Н.Л.	205	Шабанова Е.В.	155
Соколов В.И.	22	Шалаев А.А.	155
Соколов С.В.	42	Щипцов В.В.	25, 80, 199
Сокольников Ю.В.	155	Юргенсон Г.А.	33, 84, 137
Солодова Ю.П.	153	Юсупов Т.С.	214
Сперанский А.В.	153	Яловик Л.И.	61
Спиридонов А.М.	155, 214	Яночкина З.А.	120