

возникли в позднекарельское время в результате проявления процессов гранитизации, кремне-щелочного метасоматоза и пегматитообразования.

2. Уран-сульфидные и уран-фосфорные объекты имеют полихронный генезис. Они сформировались в результате проявления ТМА, индикатором которых явились интрузии основного состава на рубеже раннего-среднего рифея и в позднем рифее в пределах геохимически специализированных гранито-гнейсовых поднятий и их обрамлений. Гранито-гнейсовые поднятия с момента своего образования и по настоящее время представляли собой тектонически активные блоки земной коры, претерпевшие неоднократное воздымание, что способствовало развитию эрозионно-денудационных процессов, уничтожению отложенных рифейского чехла, позднекарельских гранит-метаморфических образований и соответственно месторождений урана.

3. Месторождения и проявления Pb, Zn, Cu, Ni, Mn и Fe формировались близко по времени с рифейским базитовым магматизмом, локализуясь в пределах рифейских депрессионных структур, заложенных на метаморфическом основании. Рифейские прогибы на протяжении всей своей геологической истории являлись относительно тектонически спокойными участками и соответственно не были существенно затронуты процессами эрозии и денудации.

4. Уран-сульфидно-битумные проявления были образованы в позднем рифее в пределах рифейских прогибов в тесной пространственно-временной связи с процессами осадконакопления верхнерифейских отложений и проявлением базитового магматизма. По минералого-геохимическим особенностям эти проявления имеют общие черты как с полиметаллическими, так и с уран-сульфидными объектами.

В связи с тектонически напряженным характером развития Южно-Сибирской мегазоны объектами будущих поисков на уран должны являться месторождения скрытого типа, располагающиеся в пределах радиогеохимически специализированных гранито-гнейсовых поднятий или их обрамлений, перекрытых отложениями нижнего рифея и с проявлением здесь рифейского базитового магматизма. Не исключено выявление скрытых месторождений Fe, Mn, Pb, Zn, Cu, Co, Ni в пределах рифейских депрессионных структур, а именно на границе ранне и среднерифейских отложений или вблизи нее, а также в средней-верхней части верхнерифейских образований.

Поиски рудных месторождений скрытого и слабопроявленного типов в пределах Южно-Сибирской мегазоны представляют собой весьма сложную задачу, решение которой требует создания эволюционно-геологических и глубинных геолого-геофизических моделей, а также применения комплекса рациональных и высокоэффективных прогнозно-поисковых методов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Бабкин, Н.Я. Эволюционно-геологическая модель формирования «слепых» и слабопроявленных месторождений урана типа «несогласия» в Восточном Присяянье / Н.Я. Бабкин, Н.А. Гребенкин, А.П. Дол-

гушин, С.У. Зайцев, А.И. Корякко, В.М. Куличенко, С.И. Мельников // Разведка и охрана недр. — 2015. — № 3. — С. 3–8.

2. Бибикина, Е.В. Возраст зеленокаменных поясов Присяянья / Е.В. Бибикина, В.Я. Хильтова // ДАН СССР. — 1982. — Т. 267. — № 5. — С. 1171–1174.

3. Гребенкин, Н.А. Эволюция гидротермально-метасоматических ураноносных процессов в истории геологического развития Чарского района / Н.А. Гребенкин // Современные проблемы науки и образования. — 2013. — № 1 (Электронный журнал) — URL: www.science-education.ru/107-8145.

4. Галимова, Г.Ф. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1:1 000 000. Изд. 3-е. Серия Ангаро-Енисейская. Лист N-47 (Нижнеудинск) / Г.Ф. Галимова, А.Г. Пашкова, С.А. Поваринцева, В.В. Перфильев и др. — 2010.

5. Домышев, В.Г. О возрасте древних базитов Присяянья / В.Г. Домышев, В.С. Лепин / Геология, тектоника и рудоносность докембрия Сибирской платформы и ее обрамления. Геохронология. — Иркутск, 1987. — С. 227–228.

6. Иванов, А.И. Докембрий Патомского нагорья / А.И. Иванов, В.И. Лифшиц, О.В. Первалов и др. — М.: Недра, 1995. — 352 с.

7. Коноплев, А.Д. Геолого-генетический тип уранового оруденения в рифейских известняках Березовского прогиба (Чарский потенциально урановорудный район) / А.Д. Коноплев, О.В. Авилова, Г.А. Тарханова, В.А. Кусов, И.М. Ткаченко, С.Г. Стародубцев / Уран: геология, ресурсы, производство: Тезисы Третьего междунар. симпозиума. — М.: ВИМС, 2013. — С. 68.

8. Корнаков, В.В. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1:200 000. Изд. 2-е. Серия Восточно-Саянская. Лист N-47-XXIX (Алаг-Шугун) / В.В. Корнаков, А.А. Матвейчук, С.В. Кнутова. — 2010.

9. Розен, О.М. Сибирский кратон: тектоническое районирование, вопросы эволюции / О.М. Розен // Геотектоника. — 2003. — № 3. — С. 1–19.

10. Скляр, Е.В. Геологические комплексы южной краевой части Сибирского кратона — индикаторы эволюции неопротероэозного суперконтинента / Е.В. Скляр, Д.П. Гладкохуб, А.М. Мазукабзов, Т.В. Донская, А.М. Станевич. — С. 23. Интернет ресурс: elpub.wdcb.ru/journals/rjes/v05/tje03125/text-end.doc. (20.12.2014).

11. Ernst, R.E., Long lived connection between southern Siberia and northern Laurentian the Proterozoic / R.E. Ernst, M.A. Hamilton, U. Soderlund, J.A. Hanes, D.P. Gladkochub, A.V. Okrugin, T.B. Kolotilina, A.S. Mekhonoshin, W. Bleeker, A.N. LeCheminant, K.L. Buchan, K.R. Chamberlain, A.N. Didenko // Nature Geoscience. — 2016. — Vol. 9. — № 6. — P. 464–469.

12. Gladkochub, D.P. Mafic intrusions in south-western Siberia and implications for a Neoproterozoic connection with Laurentia / D.P. Gladkochub, M.T.D. Wingate, S.A. Pisarevsky, T.V. Donskaya, A.M. Mazukabzov, V.A. Ponomarhuk, A.M. Stanevich // Precam. Res. 2006. — Vol. 147. — P. 260–278.

© Гребенкин Н.А., Мельников С.И., 2018

Гребенкин Николай Анатольевич // grebenkin2@mail.ru  
Мельников Сергей Иванович // melnikov@vims-geo.ru

УДК 553.493.45(571.54)

**Томашев А.В.<sup>1</sup>, Леденева Н.В.<sup>1</sup>, Рудаков Р.Е.<sup>1</sup>,  
Зайцев С.У.<sup>2</sup>, Косенко В.В.<sup>2</sup> (1 — ФГБУ «ВИМС»,  
2 — АО «Сосновгео»)**

### **РУДОПРЯВЛЕНИЕ БЕРИЛЛИЯ СНЕЖНОЕ (ВОС-ТОЧНЫЙ САЯН). ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ, ИСТОРИЯ ФОРМИРОВАНИЯ, ТИПЫ И ВЕЩЕСТВЕННЫЙ СОСТАВ БЕРИЛЛИЕВЫХ РУД**

*Бериллиевые руды проявления образованы в процессе единой флюидно-гидротермальной стадии в условиях открытых полостей. Геохимическая характеристика рудных зон косвенно указывает на связь рудообразующих процессов с субщелочными гранитами или лейкогранитами*

ми. Бурением установлено, что наибольшей продуктивностью отличаются приповерхностные части рудных зон. Предполагаемый крупный гранитный массив бурением не выявлен. Мелкие выходы и дайкоподобные линзовидные тела гранитов, относимые к огнитскому комплексу, очевидно, являются истощенными палингено-анатектоидными образованиями, в отличие от не вскрытых гранитов комплекса, имеющих рудную специализацию. **Ключевые слова:** Восточный Саян, бериллиевые руды, мигматиты, рудопроявление Снежное, огнитский гранитный комплекс.

Tomashev A.V.<sup>1</sup>, Ledeneva N.V.<sup>1</sup>, Rudakov R.E.<sup>1</sup>, Zaytcev S.U.<sup>2</sup>, Kosenko V.V.<sup>2</sup> (1 — VIMS, 2 — Sosnovgeol)

ORE-OCCURRENCE OF BERYLLIUM SNEZHNOYE (EASTERN SAYAN). GEOLOGICAL STRUCTURE, HISTORY OF FORMATION, TYPES AND COMPOSITION OF BERYLLIUM ORES

*The authors noted that beryllium ore occurrences are formed during unified fluid-hydrothermal stage in conditions of open cavities. Geochemical characteristics of ore zones indirectly indicate the correlation of ore-forming processes with subalkaline granites or leucogranites. Drilling found that the most productive are the near-surface parts of ore zones. Drilling did not detect probable large granite massif. Small outcrops and dyke-like lense-like granite bodies related to ognitski complex are obviously depleted palingenic-anatectoid formations, unlike to virgin granite complex with ore specialization. **Keywords:** Eastern Sayan, beryllium ores, migmatites, ore occurrence Snezhnoye, granite complex ognitski.*

**Введение**

Рудное поле Снежное административно расположено в Окинском районе Республики Бурятия, вблизи границы с Иркутской областью и Республикой Тыва. В орографическом отношении район является частью горной системы Восточного Саяна. Рудные зоны проявления вскрыты рельефом по склонам г. Снежная на водоразделе рек Хойто-Ока и Тэргэтэй. Абсолютные отметки участка 2200–2700 м.

Рудопроявление Снежное было открыто в 1970 г. Утхумской партией Нижнеудинской экспедиции Иркутского геологического управления (В.Г. Огороков, В.И. Серебренников, А.Ф. Нечкин) при проведении поисково-съёмочных работ масштаба 1:50 000. В 1971–1972 гг. силами Снежной и Хойто-Окинской партий (В.И. Серебренников, Е.Л. Емельянов, В.А. Беляев, А.Ф. Нечкин, 1973) на участке были проведены поисково-оценочные работы, в ходе которых выделены три рудные зоны с бериллиевой и две с тантал-ниобиевой минерализацией. Рудные зоны опробовались с поверхности по коренным выходам и расчисткам. Прогнозные запасы окиси бериллия и пятиоксида тантала и ниобия были подсчитаны на глубину, превышающую изученную часть разреза (более 100 м), что значительно завысило прогнозные запасы. По результатам работ авторами была предложена пространственно-временная модель формирования структур рудного

поля Снежное. Редкометалльное оруденение, проявленное в блоке, сложенном тектоническими и эруптивными брекчиями, связывалось с гранитоидами повышенной щелочности поздних фаз огнитского комплекса.

В 1972–1974 гг. ВИМС проводил работы по изучению минералого-геохимических особенностей, условий формирования и технологических свойств руд проявления Снежное (А.И. Гинзбург, З.Г. Караева, Т.Н. Шурига, Э.И. Иовчева, И.Т. Левиуш, З.А. Журкова, Н.И. Сахарова, 1974). В результате было установлено, что особенности геологического строения рудного поля обусловлены расположением его в зоне активизации Главного Саянского и сопряженных с ним субширотных разломов. Значительная проницаемость тектонических зон привела к формированию крупных полей мигматитов. На основании проведенных минералого-петрографических и геохимических исследований, выделение этих образований в огнитский комплекс (для района рудного поля Снежное) авторы сочли неправомерным. Связь редкометалльного оруденения с какими-либо магматическими породами отрицалась. Формирование рудопроявления обосновывалось воздействием глубинных растворов, наиболее проницаемым для которых оказался блок сильно дробленных пород с широким развитием полимигматитов. Наиболее благоприятными обстановками для рудоотложения служили зоны мелкообломочных брекчий, развитые вдоль притертых тектонических нарушений и в зальбандах дорудных даек. Детально были изучены вещественный состав руд, особенности развития рудной минерализации, составлена схема последовательности минералообразования рудообразующего процесса. Установлена вертикальная зональность рудопроявления, выраженная в смене с увеличением глубины бериллиевой оруденения тантал-ниобиевой минерализации, проявленной в альбитовых метасоматитах зонального строения.

Технологические исследования в ВИМСе впервые проводились на бериллиевых рудах, в которых берилл и фенакит находились совместно в промышленном количестве. Для предварительного обогащения руд было обосновано применение метода фотонейтронной сепарации; разработаны несколько флотационных схем и режимов. Исследования показали, что все типы руд обогащаются по единой схеме, при этом во всех случаях получают высокосортные флюоритовые концентраты (марки Ф-95). Было установлено, что вещественный состав фенакит-берилловых концентратов благоприятен для их переработки как по действующей сульфатной схеме, так и для вновь проектируемой фторидной.

Результаты определений абсолютного возраста пород рудного поля Снежное, проводимые в 1970-х годах, варьируют в широких пределах (А.И. Гинзбург, З.Г. Караева, Т.Н. Шурига, Э.И. Иовчева, И.Т. Левиуш, З.А. Журкова, Н.И. Сахарова, 1974; В.И. Серебренников, Е.Л. Емельянов, В.А. Беляев, А.Ф. Нечкин, 1973). В 2011 г. по полученным Rb-Sr-изотопным

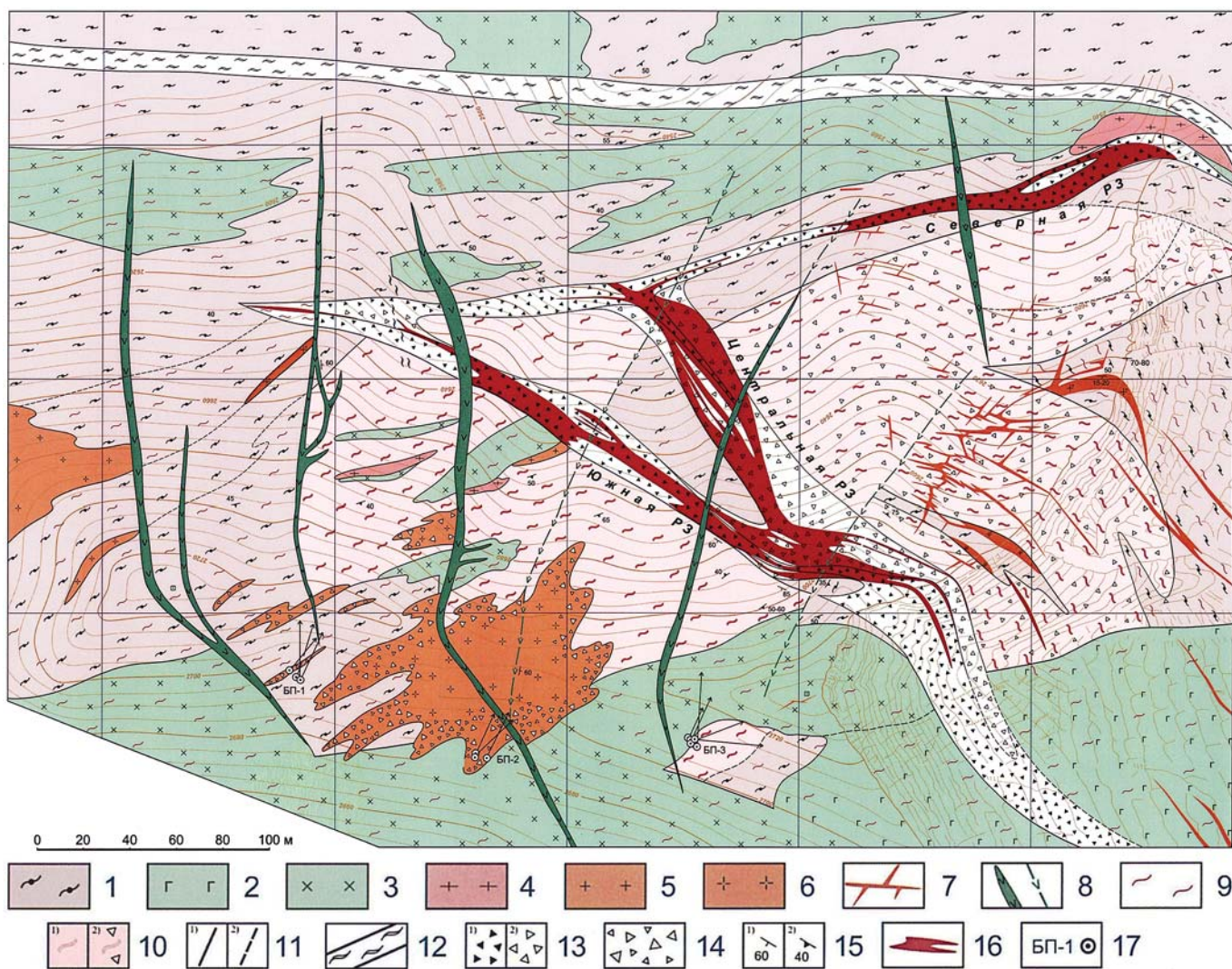


характеристикам возраст бериллиевого оруденения проявления Снежное определен в 305 млн лет [5], что согласуется со временем образования массивов редкометалльных щелочных гранитоидов в Восточном Саяне и Восточной Тыве. Область распространения этих гранитоидов выделена как позднепалеозойская Восточно-Саянская редкометалльная щелочно-гранитная металлогеническая зона, специализированная на Nb, Ta, Be, Li, Zr, Th, REE оруденение.

Условия формирования бериллиевых руд были изучены в Геологическом институте СО РАН [2]. На основании геологических, минералогических, петрографических и термобарогеохимических исследований установлено, что процесс рудообразования происхо-

дил при движении щелочных и околонеитральных растворов по трещинам и пустотам. При попадании растворов в приповерхностную зону дробления и резком изменении РТ-условий происходило уменьшение растворимости фторокомплексов бериллия, их распад и интенсивное отложение бериллиевых минералов. Температурный интервал процесса определен от  $\geq 340^\circ$  до  $230^\circ \text{C}$ .

Геологоразведочные работы 2014–2016 гг. на рудопроявлении проводились силами АО «Сосновгео» при участии ФГБУ «ВИМС». Комплексом горно-буровых работ рудные зоны локализованы с поверхности и на глубину. Оценены прогнозные ресурсы BeO кат. P<sub>1</sub>. В пределах рудного поля пешеходными маршрутами



**Рис. 1. Схематический геологический план поверхности рудопроявления Снежное** (по данным АО «Сосновгео, 2016 г.): 1 — Утхумская толща (RF<sub>3</sub>ut). Кварц-биотит-амфиболовые кристаллические сланцы; 2–3 — Хойтоокинский комплекс (vE<sub>2</sub>h) пироксенит-габбровый: 2 — габбро роговообманковое, биотит-роговообманковое, 3 — диориты роговообманковые, биотит-роговообманковые; 4 — Таннуольский комплекс (γδ E<sub>2</sub>t) гранодиорит-плагиигранитовый. Биотитовые гнейсовидные плагииграниты; 5–7 — Огнитский комплекс (γ<sub>2</sub>D<sub>1</sub>:Oo) сиенит-граносиенит-гранитовый. Вторая фаза: 5 — биотитовые, биотит-амфиболовые граниты, участками окварцованные и альбитизированные, 6 — светло-серые тонко-мелкозернистые аплитовидные лейкограниты, альбитизированные, 7 — жильные тела микроклиновых крупнозернистых пегматоидных гранитов; 8 — Дарликий комплекс (χ,βPZ<sub>3</sub>d) долерит-лампрофировый. Дайки диабазов, диабазовых порфириров, андезитов; 9 — мигматизированные породы; 10 — мигматиты: линзовидно-полосчатые (1), брекчиевидные (2); 11 — разрывные нарушения: установленные (1), предполагаемые (2); 12 — зоны милонитов, бластомилонитов, катаклазитов; 13 — зоны брекчирования. Брекчии мелкообломочные (1), средне-крупнообломочные (2); 14 — эруптивные брекчии, наблюдаемые в краевых частях интрузивных тел; 15 — элементы залегания: геологических контактов (1), полосчатости и сланцеватости пород (2); 16 — флюорит-берилл-фенакитовые рудные тела; 17 — буровые площадки и их номера

заверены точки проявления рудной минерализации и геохимические аномалии, выделенные предыдущими исследователями. Проведены исследования двух лабораторных технологических проб. Выполнено минералого-петрографическое изучение руд и вмещающих пород. Краткий обзор результатов проведенных работ приводится в данной статье.

### Геологическое строение рудного поля

В структурном плане проявление приурочено к Утхумской структурно-формационной зоне в составе Алтае-Саянской складчатой области. Региональной структурой района является субширотная Хойто-Окинская тектоническая зона, играющая контролирующую роль в размещении магматических комплексов и локализации редкометалльного, редкоземельного и полиметаллического оруденения. Широкое развитие на площади разрывных нарушений северо-западного, северо-восточного и меридионального простирания обусловило блоковое строение района. К одному из тектонических блоков приурочена бериллиевая и тантал-ниобиевая минерализация проявления Снежное (рис. 1).

В строении рудного поля Снежное принимают участие метаморфические породы верхнепротерозойской утхумской толщи, представленные сланцами, амфиболитами, известняками и доломитами.

Среди интрузивных пород выделяются четыре интрузивных комплекса. С венда до среднего кембрия формировались габбро, пироксениты, диориты хойто-окинского комплекса и диориты, гранодиориты, плагиограниты, граниты таннуольского комплекса.

В период среднепалеозойской тектономагматической активизации центральной части Восточного Саяна проходило формирование огнитского комплекса щелочных гранитоидов. Генетическая связь огнитских гранитоидов с редкометалльным оруденением в регионе считается общепризнанной (В.И. Серебренников, Е.Л. Емельянов, В.А. Беляев, А.Ф. Нечкин, 1973). [1, 3, 5]. В пределах рудного поля Снежное граниты огнитского комплекса представлены сериями сближенных жил мощностью от десятых долей метра до 10–15 м, согласных по простиранию со сланцеватостью вмещающих пород, а также небольшими по размеру массивами, образующими ряд локальных выходов. Их контакты четкие, неровные; в редких случаях сопровождаются маломощными зонами ороговикования. Бурением, проведенным до горизонта 2240 м, предполагаемый крупный гранитный массив не выявлен.

Мелкие выходы и дайкоподобные линзовидные тела гранитов, относимые к огнитскому комплексу, специализированы только на As. Они, очевидно, являются истощенными палингенно-анатектоидными образованиями в отличие от нескрытых гранитов комплекса, имеющих рудную специализацию.

Последовавшими процессами гранитизации в породах субстрата было сформировано поле мигматитов сложного строения. Временная последовательность становления образований рудного поля Снежное показана на серии разрезов (рис. 2 а-в).

Формирование мигматитов происходило на фоне тектонических подвижек, что обусловило их текстурно-структурное разнообразие. Мигматиты проявлены в разных стадиях своего формирования — от почти незатронутых процессом биотит-амфиболовых сланцев, габбро, через плейчатые, полосчатые, флюидальные, глыбовые, брекчиевые, пятнистые мигматиты, до небуллитовых мигматитов и мигматит-гранитов с теньевыми текстурами. Светло-серая, серая, часто мелкопятнистая неосома (лейкосома) за пределами рудовмещающего блока состоит в основном из деанортизированного плагиоклаза (олигоклаза, олигоклаз-альбита, альбита) с редкими зернами кварца. В рудовмещающей блоке для нее характерен кварц-микроклин-плагиоклазовый состав, часто с преобладанием плагиоклаза. Кварц и микроклин отчетливо корродируют зерна плагиоклаза. Лейкосома содержит переменные количества темноцветных минералов, а также сфена и магнетита.

Палеосома, представленная амфибол-биотитовыми и биотит-амфиболовыми (амфиболиты) сланцами, как правило, обогащена (до 60–80 %) новообразованным, более крупночешуйчатым биотитом. Сланцы локально преобразованы в гнейсы с разрастанием сфена, магнетита, плагиоклаза, и с деанортизацией последнего.

Дальнейшие изменения в поле мигматитов связаны с началом гидротермально-метасоматической деятельности, завершившейся процессом гидротермального бериллиевого рудообразования. По-видимому, метасоматические растворы изначально имели повышенную щелочность с большим преобладанием натрия над калием. В результате эволюции растворов на разных гипсометрических уровнях были сформированы различные по щелочной и рудной специализации метасоматиты. В начале щелочного процесса на больших глубинах образовались натриевые метасоматиты (альбититы). Альбитизация сопровождалась отложением литиевой слюды (циннвальдита), циркона, торита, касситерита и тантал-ниобиевой минерализации. В альбититах встречаются гнезда и прожилки белого и дымчатого кварца с сульфидной минерализацией (пирит, пентландит, галенит и сфалерит), прожилки и брекчии темно-фиолетового флюорита.

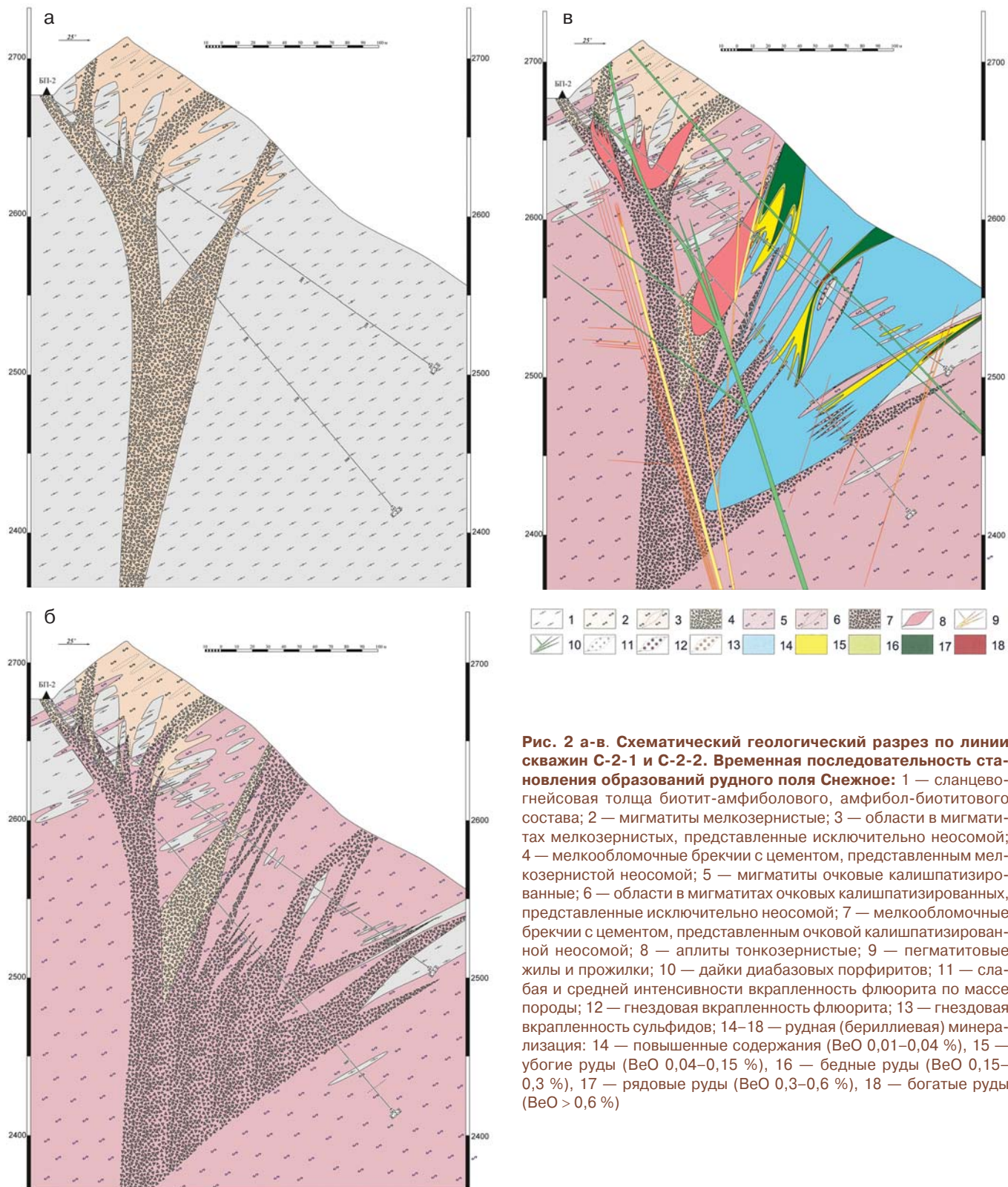
Рентгеноспектральный анализ (РСА) альбититов выполнен по 6 пробам (ФГБУ «ВИМС»), отобранным с поверхности. Средние содержания элементов, нормированные на кислые породы, свидетельствуют о рудной специализации альбититов на Hf, Sn, As, Ta, Pb, Nb, содержания которых превышают значения кларков в 3–4 и более раз. Повышенные концентрации имеют Th, U, Zr, Cr, Mo, Ga, Zn, Ni, Y.

В гипсометрически выше расположенных породах, несущих флюорит-бериллиевое оруденение, щелочной метасоматоз развивался преимущественно по неосоме мигматитов с образованием отчетливых порфиробластов розовато-кремового, коричневатокрасного калишпат-пертита округлой или овальной формы размером до 1,0–1,5 см, заключенных в мелкозернистой массе таблитчатого альбита с небольшим количеством слюд. Визуально такие породы становятся



похожими на очковые гнейсы (очковые мигматиты) (рис. 3). На восточном фланге рудопроявления в скважине С-3-7 на гипсометрических отметках ниже 2450 м они тесно перемежаются с коричневатато-красными порфиридовидными гранитами, а также насыщены многочисленными пегматитовыми прожилково-жильными телами. Для неосом с проявлениями щелочного

метасоматоза характерна гнездово-вкрапленная минерализация и мелкие занорыши с флюоритом, бериллом и крупнокристаллическим микроклин-пертитом. По данным опробования очковые гнейсы характеризуются повышенными содержаниями Pb, Mo, Sn, Y (в 3–8 раз выше кларковых значений) и Zn, Li, Sc, Be, Rb, Ti, Ce, La (в 1,2–2,4 раза).



**Рис. 2 а-в. Схематический геологический разрез по линии скважин С-2-1 и С-2-2. Временная последовательность становления образований рудного поля Снежное: 1 — сланцево-гнейсовая толща биотит-амфиболового, амфибол-биотитового состава; 2 — мигматиты мелкозернистые; 3 — области в мигматитах мелкозернистых, представленные исключительно неосомой; 4 — мелкообломочные брекчии с цементом, представленным мелкозернистой неосомой; 5 — мигматиты очковые калишпатизированные; 6 — области в мигматитах очковых калишпатизированных, представленные исключительно неосомой; 7 — мелкообломочные брекчии с цементом, представленным очковой калишпатизированной неосомой; 8 — аплиты тонкозернистые; 9 — пегматитовые жилы и прожилки; 10 — дайки диабазовых порфириров; 11 — слабая и средней интенсивности вкрапленность флюорита по массе породы; 12 — гнездовая вкрапленность флюорита; 13 — гнездовая вкрапленность сульфидов; 14–18 — рудная (бериллиевая) минерализация: 14 — повышенные содержания (ВеО 0,01–0,04 %), 15 — убогие руды (ВеО 0,04–0,15 %), 16 — бедные руды (ВеО 0,15–0,3 %), 17 — рядовые руды (ВеО 0,3–0,6 %), 18 — богатые руды (ВеО > 0,6 %)**



**Рис. 3. Проявление порфиробластового калишпатового метасоматоза в субстрате неосом мигматитов**

После образования щелочных (натрий-калиевых) метасоматитов с обликом очковых гнейсов, специализированных на бериллий и фтор, в ореоле их развития произошло основное отложение бериллиевого оруденения.

Крайне неравномерное соотношение минералов рудных зон создает иллюзию существования различных типов бериллиевых руд. Однако характер развития бериллиевого оруденения и новые данные по изучению условий его формирования [2] показывают, что бериллиевые руды проявления образованы в процессе единой флюидно-гидротермальной стадии. Их образованию предшествовала мощная трещинно-брекчиевая тектоника, в результате которой рудоотложение проходило в условиях открытых полостей. В пределах рудного поля распространены разнообразные по составу и структуре дайки и инъекционные образования. По отношению к серым мигматитам и очковым гнейсам они являются более поздними (секущими). К таким образованиям относятся аплиты, пегматиты и дайки основного состава.

Вблизи рудовмещающего блока в поле развития послонных мигматитов откартированы брекчиевые мигматиты с разноразмерными обломками сланцев в аплитовом цементе. Окраска аплита светло-серая до белой, с характерным сахаровидным обликом, структура тонко-мелкозернистая. Его состав в целом такой же, как в послонных светло-серых неосомах рудного блока (кварц-микроклин-плагиоклазовый), но отличается отсутствием темноцветных и тем, что весь плагиоклаз аплита изначально кислый (альбит). В аплите отмечена редкая вкрапленность идиоморфных зональных кристаллов ортита и флюорита, количество которого увеличивается у границ с обломками сланцев. По керну скважин брекчиевые мигматиты прослеживаются с поверхности до глубин около 145 м (С-2-3), 170 м (С-2-2), 95 м (С-2-1).

Судя по характеру развития, аплиты имеют инъекционную природу. Их внедрение происходило, очевидно, под давлением и сопровождалось интенсивной трещинно-брекчиевой тектоникой, проявившейся в одном из структурных узлов рудного поля.

По данным рентгеноспектрального анализа (8 проб, ФГБУ «ВИМС») аплиты содержат повышенные кон-

центрации Th, Y, S, Ga, Zr, Rb, Na (КК от 2 до 3) и anomalно высокие концентрации As, Mo, Nb, Cr, U, F, Ni (КК  $\geq 3$ ), характеризующие их специализацию.

Пегматиты наиболее развиты на северном и восточном флангах рудовмещающего блока. Они проявлены как в виде маломощных (5–15 см) жил, так и в виде частой серии даек мощностью по керну от 0,5 до 10 м. По петрографическим характеристикам пегматиты соответствуют огнитским гранитам — решетчатый микроклин отчетливо корродирует и замещает зерна олигоклаза. Слюды представлены биотитом и мусковитом. Кварц нередко содержит вкрапленность сульфидов (галенит, пирит, молибденит). В отличие от гранитов, пегматиты характеризуются грубо-крупнозернистой структурой, нередки участки с письменной структурой. Пегматиты специализированы только на Mo и Pb, содержания которых больше, чем в нормативных гранитах в 29 и 7,5 раз соответственно. Незначительные повышения содержаний (в 1,3–1,2 раза) отмечены для Be и Sn.

Дайки основного состава позднепалеозойского дарликовского комплекса являются наиболее поздними из магматических образований в пределах рудного поля. Они прорывают все перечисленные выше метаморфические и магматические породы. Их секущее положение по отношению к рудным зонам позволяет считать их пострудными, однако в ряде случаев бериллиевые руды локализованы непосредственно в зоне нижнего экзоконтакта даек (скв. 3-3 и др.). Последнее позволяет предположить, что часть проявленных на месторождении даек являются дорудными.

Опробованием отчетливо выделяются две разновидности даек, отличающиеся по содержанию Ba (при равном Sr) — 0,08–0,25 % (среднее 0,16 %) в дайках-1 и 0,16–0,42 % (среднее 0,33 %) в дайках-2. Дайки-1 характеризуются большими количествами Mo (в 2,5 раза), Cu и Li (в 1,5 раза), Sn, V, Rb, F и Yb (в 1,4–1,2 раза). Дайки с высоким Ba (дайки-2) содержат больше K (в 1,4 раза) и незначительно повышенные содержания Ce и La.

Обе разновидности даек характеризуются повышенной титанистостью (КК Ti = 1,7–1,8) и щелочностью с калиевой специализацией (КК калия равен 2,2 в дайках-1 и 3,1 в дайках-2). По сравнению с нормативными содержаниями в основных породах обе разновидности даек специализированы на Ce, Be, Ba, Mo, Li, Sr, Rb, La.

Микроскопически дайки-1 имеют как афанитовую структуру с мелкими и микровкрапленниками кислого плагиоклаза, так и полнокристаллическую. В последнем случае порода состоит из разноориентированных лейст кислого плагиоклаза и замещающих его ксеноморфных выделений калиевого полевого шпата, вкрапленников субидiomорфных зерен авгита, реже эгирин-авгита, и большого количества тонковкрапленных биотита и магнетита. Для даек-2 характерна порфировая структура, а буроватые вкрапленники представлены калиевым полевым шпатом.

Приведенные данные позволяют отнести дайки к ряду субщелочных титанистых лампрофиров.



### Рудопроявление Снежное

Бериллиевая и тантал-ниобиевая минерализация проявления Снежное приурочена к тектоническому блоку 550 x 220 м, в пределах которого рудная минерализация развита почти повсеместно, но крайне неравномерно.

Отдельные прожилки, линзы и гнезда бериллиевых руд имеют четкие контакты, однако их скопления, образующие рудные зоны, как правило, не имеют резких геологических границ и оконтуриваются только по результатам опробования.

В пределах блока выделены три рудные зоны с бериллиевым и две рудные зоны с тантал-ниобиевым оруденением. Северная и Южная бериллиевые зоны тяготеют к ограничивающим рудный блок структурам пластических деформаций. Контуры Центральной рудной зоны определяются, по-видимому, линейной тектонически ослабленной зоной, по направлению близкой к мощной зоне дробления, ограничивающей рудовмещающий блок с северо-востока. Кроме этого, структурный контроль оруденения иногда выражается в его приуроченности к контактам даек основного состава (Северная рудная зона).

Главными бериллиевыми минералами проявления Снежное являются фенакит и берилл, микроскопически отмечены редкие бертрандит и даналит. Совместно с флюоритом, калишпатом (микроклином, микроклипертитом), средне-крупночешуйчатыми слюдами, а также с альбитом, кальцитом, кварцем, сульфидами, магнетитом, апатитом они слагают цемент брекчий, жилы, прожилки и гнезда. Для минералов ассоциации характерно близодновременное отложение, часто с образованием идиоморфных кристаллических агрегатов со структурами свободного роста, присущими отложению в открытых полостях, и отсутствие признаков метасоматического замещения вмещающих пород.

**Фенакит** преимущественно распространен в рудных брекчиях и прожилках при незначительном развитии в гнездово-вкрапленном типе руд. Он часто находится в зальбандах прожилков и цемента брекчий, нарастая на стенки обломков. Спорадическая вкрапленность фенакита наблюдается в альбититах верхней части танталовой зоны. Крупные единичные кристаллы светло-желтого фенакита были встречены за пределами рудовмещающего блока среди флюоритизированных теневого мигматитов.

Для фенакита характерны выделения в виде идиоморфных ромбоэдрических короткостолбчатых кристаллов (иногда прозрачных) или ксеноморфных зерен желтовато-белого, белого цвета. Фенакит нередко бывает корродирован бериллом, что указывает на более раннее его отложение.

По результатам химического анализа (А.И. Гинзбург и др., 1974) фенакит состоит из 47,66–47,72 %  $\text{BeO}$  и 50,14–50,5 %  $\text{SiO}_2$ . Содержит небольшие примеси Fe, Ca, Zn и незначительные Na, K.

**Берилл** рудопроявления наиболее характерен в виде идиоморфных длиннопризматических кристаллов гексагонального габитуса и агрегатов ксеноморфных

зерен в сростании со всеми минералами рудной ассоциации. Иногда он образует цепочки кристаллов по микротрещинкам во вмещающих слюдисто-плагиоклазовых породах, иногда — вкрапленность вдоль контактов очковых гнейсов и слюдизированных пород, развиваясь в тех и других породах. Окраска бериллов от бледно— до ярко-голубой, иногда зеленовато-голубая; отмечены единичные находки желтого гелиодора. В рудных брекчиях содержания берилла и фенакита сопоставимы, в прожилково-штокверковых рудах берилл преобладает, образуя скопления и гнезда.

По данным химического анализа (А.И. Гинзбург и др., 1974) берилл состоит из 12,05–12,73 %  $\text{BeO}$ , 63,33–64,99 %  $\text{SiO}_2$  и 15,12–16,21 %  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Содержит примеси оксидов Fe, Mg, Na (1–2 %), а также в незначительных количествах Ti, Mn, Ca, K, Rb, Cs, Li, F. Берилл проявления Снежное охарактеризован как натриево-железистый водосодержащий.

**Флюорит** является характерным минералом руд и вмещающих пород проявления. Его отложение в рудном процессе было довольно продолжительным. Он появляется в начале рудообразования, ассоциирует с бериллиевой и танталовой рудной минерализацией и завершает этот процесс, часто совместно с кальцитом.

Флюорит бериллиевой зоны входит в состав цемента рудной брекчии, образует вкрапленность, гнезда и прожилкоподобные выделения. Мономинеральные скопления блокового флюорита достигают размера 10–15 см и более; вблизи внешнего контакта Северной рудной зоны отмечено линзоподобное выделение флюорита видимой мощностью до 1 м.

Характерно изменение окраски флюорита в различных частях рудопроявления. Флюорит альбититов и брекчий танталовой зоны имеет густо-фиолетовую, черно-фиолетовую окраску; флюорит бериллиевых рудных зон окрашен в светло-фиолетовые и зеленоватые тона различной интенсивности.

Микрорентгеноспектральный анализ флюорита из разных образований показал, что он состоит только из Ca и F и никаких примесей в значимых количествах не содержит. По результатам более чувствительного масс-спектрометрического анализа, содержания редких земель во флюоритах танталовой зоны в несколько раз выше, чем во флюоритах, отобранных из бериллиевых руд. Кроме того, во флюоритах обнаружены микропримеси почти всех элементов, характеризующих не только рудную специализацию месторождения, но и вмещающих пород: Li, Be, Co, Cu, Zn, Se, Rb, Sn, Ba, U и Ni, Sr, Y, Zr, Pb, Th, Ta, Hf, Nb. Последние 9 элементов, начиная с Ni, существенно преобладают во флюоритах танталовой зоны. Отложение флюорита в рудном процессе было довольно продолжительным. Он начинает выделяться в начале рудообразования и завершает этот процесс, часто совместно с кальцитом.

**Калиевый полевой шпат** в образованиях бериллиевых рудных зон распределен крайне неравномерно. В значимых количествах он отмечен в краевых частях брекчиевых руд, где составляет до 70 % рудной массы, образуя крупно-грубокристаллические (блоковые)

скопления. В прожилках встречается в таком же виде, но спорадически, в виде гнезд. Цвет калишпата кораллово-розовый, он представлен микроклин-пертитом, т.е. идентичен калишпату, развитому в очковых гнейсах в виде порфиробластов.

С калиевым полевым шпатом ассоциируют флюорит, кальцит и бериллиевые минералы, а также таблитчатый альбит и крупночешуйчатая голубовато- и зеленовато-серая литиевая слюда. И альбит, и слюда, как и другие минералы рудной ассоциации, развиты неравномерно, образуя разрозненные скопления.

**Слюды** в небольших количествах повсеместно наблюдаются в бериллиевых рудах в сростании с минералами рудной ассоциации. Преобладают слюды биотитового ряда, нередко встречаются и бесцветные разновидности — мусковит и циннвальдит. С ними связаны повышенные содержания Li и Rb, характерные для рудных зон. Совместно со слюдами нередко наблюдается мелкая вкрапленность сфена, апатита и касситерита. Последний образует тонкую вкрапленность (менее 0,1 мм) зерен округлой формы.

Характерной особенностью бериллиевых зон проявления Снежное является широкая вариативность количественных соотношений слагающих их минералов. По результатам последних работ нами выбрана следующая схема типизации бериллиевых руд, согласуемая с методическими рекомендациями ГКЗ [4] (рис. 4 а-в):

- богатые флюорит-берилл-фенакитовые руды:  $\text{BeO} > 0,6 \%$  (55 % прогнозных ресурсов);
- рядовые флюорит-берилловые руды  $\text{BeO}: 0,3\text{--}0,6 \%$  (45 % прогнозных ресурсов);
- убогие и бедные вкрапленные и прожилковые руды,  $\text{BeO} < 0,3 \%$ , встречаемые как внутри рудных зон, так и за их пределами, спорадически в пределах всего рудовмещающего блока.

В целом для всех рудных зон характерно частое чередование выделенных типов руд и крайне неравномерное распределение бериллиевой минерализации.

В строении рудных тел просматривается зональность, обусловленная тектоническим и вещественным факторами. Внутренние зоны образованы, как правило, средне-мелкообломочными брекчиями с рудным цементом и обломками мигматитов с очковыми гнейсами. Эти брекчии являются наиболее богатыми рудами, в цементе которых, наряду с жильными минералами (флюоритом, альбитом, калишпатом и др.) локализованы гнезда со скоплениями бериллиевых минералов — фенакита и берилла. В краевых частях брекчиевых руд цемент слагают преобладающий крупнозернистый, блоковый кораллово-розовый калишпат, а также флюорит и кальцит, с которыми ассоциирует берилл. По направлению от центра рудных зон количество калишпата уменьшается, и по их периферии преобладает флюорит. Вмещающие породы в пространстве между рудными телами тектонизированы гораздо слабее, к ним приурочены убогие и бедные вкрапленные и прожилковые руды.

Бурением установлено, что все бериллиевые рудные зоны имеют крутопадающее на юг залегание. Устояв-

шаяся до проведения настоящих работ точка зрения о развитии бериллиевого оруденения на глубину не подтвердилась. Наибольшей продуктивностью отличаются приповерхностные части рудных зон (20–40 м, реже до 60 м). С глубиной мощности их уменьшаются, они сменяются одиночными или сближенными маломощными (1–2 м) рудными интервалами, выделяемыми по данным опробования среди неравномерно минерализованных вмещающих пород.

Анализ геохимических данных по скважинам показал, что вскрытые рудные зоны по сравнению с околорудным пространством характеризуются существенно повышенными содержаниями Be, F, Li, Rb, Sn, имеющими между собой прямые корреляционные связи. В пределах локальных рудных тел эти связи зачастую нарушены в силу крайне неравномерного развития минералов бериллия и флюорита, но сохраняются для Li, Rb, Sn, минералы которых присутствуют в околорудных метасоматитах.

Эти особенности косвенно указывают на геохимическую связь рудообразующих процессов с субщелоч-

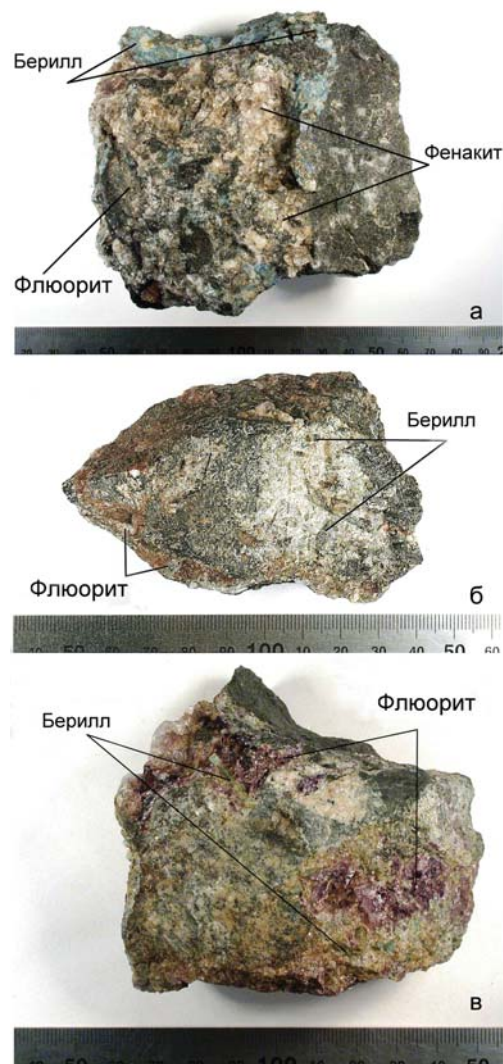


Рис. 4. а — богатые флюорит-берилл-фенакитовые руды, б — рядовые флюорит-берилловые руды, в — убогие и бедные вкрапленные и прожилковые руды



ными гранитами или лейкогранитами. На генетическое родство с ними указывают также типоморфные свойства флюорита, являющегося одним из основных компонентов бериллиевых руд.

На восточном фланге проявления, гипсометрически ниже на 300–350 м, выделены зона альбитизированных и флюоритизированных брекчий и тело альбитов с тантал-ниобиевой минерализацией, представленной мелко-тонковрапленными (0,01–0,1 мм) колумбит-танталитом и пироклор-микролитом. Альбититы скважинами не вскрыты. Считается, что данные зоны представляют апикальную часть массива субщелочных (огнитских) гранитов (В.И. Серебренников, Е.Л. Емельянов, В.А. Беляев, А.Ф. Нечкин, 1973).

#### **Заключение**

По результатам поисковых работ, выполненных АО «Сосновгео» и ФГБУ «ВИМС», рудопроявление Снежное определено как средний по масштабам объект с рядовым и богатым качеством флюорит-бериллиевых руд.

Оруденение на рудопроявлении приурочено к тектоническому блоку в разной мере мигматизированных и брекчированных пород. Рудные (бериллиевые) зоны тяготеют к ограничивающим рудный блок структурам пластических деформаций. Наиболее высокой продуктивностью отличаются приповерхностные части рудных зон.

Рудные зоны отчетливо выделяются существенно повышенными содержаниями бериллия, фтора, лития, рубидия и олова, для которых характерны прямые корреляционные отношения.

Таким образом, оруденение проявления Снежное связано с лейкогранитовой (и субщелочной) литий-фтористой магматической формацией и является фенакит-бериллиевой рудной формацией со слюдисто-фенакит-берилл-флюоритовым минеральным типом руд. На основании этого проявление возможно отнести по систематике месторождений бериллия [4] к четвертому геолого-промышленному типу (с некоторым уточнением) — «слюдисто-фенакит-берилловый в минерализованных зонах дробления».

Рудопроявление отвечает фенакит-бериллиевой рудной формации с Li-слюдисто-фенакит-берилл-флюоритовым минеральным типом руд, отложение которых происходило в условиях открытых полостей. Руды, в состав которых, наряду с бериллиевой минерализацией, входят флюорит, калишпат, альбит, карбонат, кварц и слюда, сформировались в процессе единой флюидно-гидротермальной стадии и отвечают одному минеральному типу при крайне неравномерном соотношении их минерального выполнения.

В технологическом отношении бериллиевые руды могут перерабатываться по единой селективно-флотационной схеме с получением флюоритового и бериллиевого концентратов. В технологической пробе, представляющей рядовые и богатые бериллиевые руды, преобладающие среди выделенных типов руд, в выделенном флюоритовом концентрате (марка ФК-75) содержание флюорита составляет 89,2 % при его

извлечении 62,9 %; в берилловом концентрате (марка ФФ-90) содержание окиси бериллия составляет 12,2 % при извлечении — 62,47 %.

Перспективы прироста прогнозных ресурсов бериллиевых руд проявления следует связывать с прослеживанием на глубину участков богатых руд в узле сопряжения Южной и Центральной рудных зон, а также на восточном фланге Северной зоны. Вместе с тем, рекомендуется уделить внимание оценке ресурсов тантала и ниобия на восточном фланге рудопроявления. Комплекс минералогических, геохимических и структурных предпосылок и признаков позволяет предполагать наличие в этом месте не вскрытого процессами эрозии массива субщелочных гранитов, в апикальной (альбитизированной) части которого развита рудная тантал-ниобиевая минерализация с соотношениями Ta:Nb до 1:1. Учитывая повсеместное проявление флюоритовой минерализации в пределах Снежного рудного поля, в т.ч. прожилков, линз и гнезд блокового флюорита мощностью до 0,7–1,0 м, представляется целесообразным постановка опережающих поисковых работ на плавиковый шпат (флюорит) масштаба 1:50 000 на флангах Снежного рудного поля и в пределах рудоперспективных структур.

#### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1 000 000 (третье поколение). Серия Ангаро-Енисейская. Лист N-47 Нижнеудинск. Объяснительная записка / Т.Ф. Галимова, А.Г. Пашкова, С.А. Поваринцева, В.В. Перфильев и др. — СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2012. — 652 с.
2. Дамдинова, Л.Б. Условия формирования богатых бериллиевых руд месторождения Снежное (Восточный Саян) / Л.Б. Дамдинова, С.З. Смирнов, Б.Б. Дамдинов // Геология рудных месторождений. — 2015. — Т. 57. — № 6. — С. 501–512.
3. Куприянова, И.И. Бериллиевые месторождения России / И.И. Куприянова, Е.П. Шпанов. — М.: ГЕОС, 2011. — 353 с.
4. Методические рекомендации по применению Классификации запасов месторождений и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых. Бериллиевые руды. — М., 2007. — 37 с.
5. Ярмолюк, В.В. Возраст, состав пород, руд и геологическое положение бериллиевых месторождения Снежное: к обоснованию позднепалеозойской Восточно-Саянской редкометалльной зоны (Россия) / В.В. Ярмолюк, Д.А. Лыхин, Т.Н. Шурига, А.А. Воронцов, А.М. Сугорокова // Геология рудных месторождений. — 2011. — Т. 53. — № 5. — С. 438–449.

© Коллектив авторов, 2018

Томашев Александр Вячеславович // a.tomashev@mail.ru  
Леденева Надежда Викторовна // naled@rambler.ru  
Рудаков Роман Евгеньевич // rerudakov@gmail.com  
Зайцев Сергей Устинович // zaytcev-sosnovgeo@mail.ru  
Косенко Владимир Викторович // kosoff2504@mail.ru

УДК 552.1+550.83:553.495(571.1/.5)

**Ржевская А.К., Гребенкин Н.А. (ФГБУ «ВИМС»)**

### **ОЦЕНКА ПЕТРОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГОРНЫХ ПОРОД И РУД МЕСТОРОЖДЕНИЯ УРАНА СТОЛБОВОЕ (ВОСТОЧНОЕ ПРИСАЯНЬЕ)**

*Результаты петрофизических исследований, проведенные на урановом месторождении Столбовое, показали возможности решения ряда геологических задач, способ-*