

УДК 552.11: 552:551:550.42

ТИПЫ БЕРИЛЛИЕВОГО ОРУДЕНЕНИЯ АЛТАЯ

Гусев А.И.

*Алтайская государственная академия образования им. В.М. Шукшина,
Бийск, e-mail: anzerg@mail.ru*

Бериллиевое оруденение в Алтайском регионе образует 4 промышленных типа: комплексные (Be, W, Mo) кварцево-жильные, комплексные кварцево-грейзеновые (Be, W, Mo, Cu), комплексные скарновые (Be, W, Mo) и редкометалльные пегматиты. Месторождения бериллия связаны с постколлизийными гранитоидами, сформировавшимися в результате мантийно-корового взаимодействия. Для рудогенерирующих гранитоидов и пегматитов характерны аномальные параметры флюидного режима и особенно высокие концентрации HF в магматогенных флюидах. В регионе оруденение бериллия локализуется в пределах Тигирекско-Белокурихинской позднепалеозойско-раннемезозойской металлогенической области. Оруденение представлено преимущественно бериллом, редко – гельвином. Оценены запасы оксида бериллия по категориям B, C₁, C₂ и прогнозные ресурсы категории P₁.

Ключевые слова: граниты, жилы, грейзены, скарны, пегматиты, флюидный режим, берилл, гельвин, молибденит, вольфрамит, висмутин, запасы, прогнозные ресурсы

TYPES OF BERYLLIUM ORE MINERALIZATION OF ALTAJ

Gusev A.I.

The Shukshin Altai State Academy of Education, Biisk, e-mail: anzerg@mail.ru

Beryllium ore mineralization in Altaj region form 4 minable types: complex (Be, W, Mo) quartz lodes, complex quartz-greisen (Be, W, Mo, Cu), complex skarns (Be, W, Mo) and rare metals pegmatites. Deposits of beryllium related with postcollisional granitoids, forming in result mantle-crust interaction. The anomalous parameters of fluid regime and specially high contents of HF in magmatic fluids characterised for ore generating granitoids and pegmatites. Ore mineralization of beryllium in region localized in limit of Tigireksko-Belokurikhinskaja early Paleozoic- low Mesozoic metallogenic area. Ore mineralization presented predominantly by beryl, rare – gelvite. Assay values of oxide beryllium on categories B, C₁, C₂, and extension ores of category P₁.

Keywords: granites, lodes, greisens, skarns, pegmatites, fluid regime, beryl, gelvite, molybdenite, wolframite, bismuthite, assay values, and extension ores

Литофильность бериллия определяет связь его месторождений с областями развития гранитоидного магматизма двух формационных типов:

1) известково-щелочных гранитных серий нормального ряда, завершающихся фазами лейкократовых и литий-фтористых гранитов;

2) гранитоидных серий щелочного ряда, завершающихся фазами рибекитовых и эгириновых гранитов.

В таблице приведены запасы бериллия по промышленным типам месторождений Мира, России и Алтая.

Распределение запасов бериллия по промышленным типам месторождений, %
(составлена с учётом данных [1])

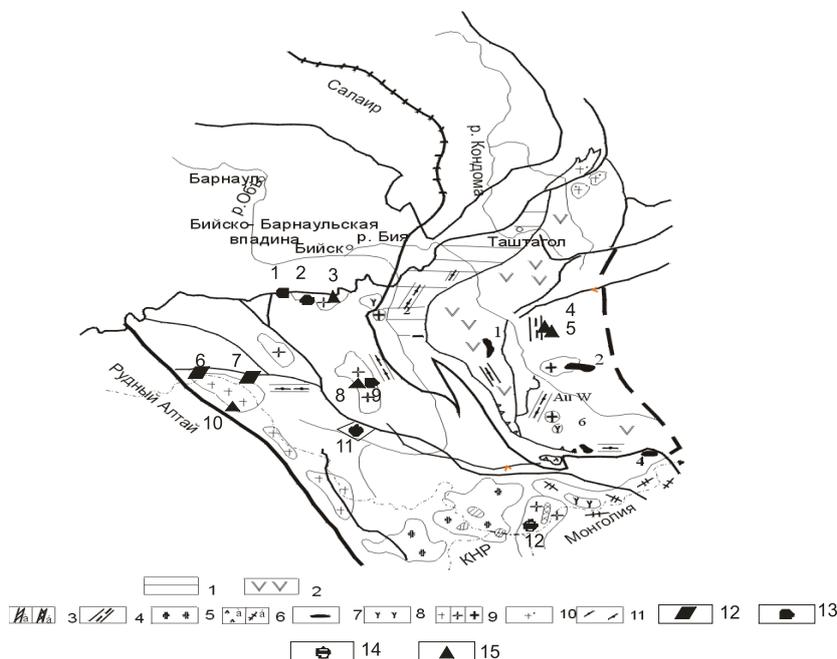
| Промышленный тип | В мире | В России | Содержание BeO, % | Основные месторождения |
|---|--------|----------|-------------------|--|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 1. Берtrandит-аргиллизитовые метасоматиты | 27,0 | – | 0,6–1,5 | Спор-Маунтин (США) |
| 2. Берtrandит-фенакит-флюоритовые метасоматиты | – | 8,8 | 0,2–1,2 | Ермаковское, Ауникское (Россия) |
| 3. Бериллиеносные полевошпатовые метасоматиты | 14,0 | – | 0,4–1,4 | Тор-Лейк (Канада), Пержанское (Украина) |
| 4. Берилл-слюдяные метасоматиты | 5,0 | 21,8 | 0,12–0,75 | Боевское, Малышевское (Россия) |
| 5. Апокарбонатные редкометалльно-флюоритовые метасоматиты | – | 9,9 | 0,1–0,3 | Вознесенское, Пограничное (Россия) |
| 6. Комплексные (Be, W, Mo), кварцево-жильные | 4,0 | 1,7 | 0,05–0,3 | Каракольское, Казандинское (Россия, Алтай) |
| 7. Редкометалльные пегматиты | 48,0 | 56,4 | 0,03–0,3 | Завитинское, Колмозерское (Россия) Тигирекское (Алтай) |
| 8. Комплексные кварцево-грейзеновые (Be, W, Mo, Cu) | 1,0 | 1,3 | 0,05–0,5 | Калгутинское (Россия, Алтай) |
| 9. Комплексные скарновые (Be, W, Mo) | 1,0 | 2,0 | 0,02–0,05 | Белорецкий Рудник (Россия, Алтай) |

Цель исследования – провести типизацию геолого-промышленных типов бериллиевого оруденения Алтая.

Результаты исследований

На территории Горного Алтая, Рудного Алтая и Салаира встречаются гранитоиды нормального ряда и гранитоиды щелочно-го ряда, с которыми связано бериллиевое оруденение. Для поздних фаз становления рудогенерирующих гранитоидов и пегматитов характерны повышенные значения многих параметров флюидного режима и особенно высокие концентрации плавиковой кислоты во флюидах [5, 6]. В регионе имеются мелкие месторождения и проявления четырёх геолого-промышленных типов – комплексные (Be, W, Mo) кварцево-жильные, комплексные кварцево-грейзеновые

(Be, W, Mo, Cu) и редкометалльные пегматиты (соответственно номера 6, 7, 8 и 9 таблица). Как видно из таблицы, ведущую роль в Мире и России имеют редкометалльные пегматиты, которые отличаются от других геолого-промышленных типов самыми низкими концентрациями оксида бериллия. Бериллиевое оруденение Алтайского региона формировалось в позднепалеозойско-раннемезозойский этап, и связано с эволюцией становления сложных интрузивных комплексов обязанных функционированию плюмтектоники, среди которых важнейшее значение имеют заключительные кремнекислые гранитоиды шошонитового типа (белокурихинский комплекс) и распространено в пределах Тигирекско-Белокурихинской металлогенической области [4]. Основные месторождения и проявления бериллия региона показаны на рисунке.



Структурно-вещественные комплексы Горного Алтая и Горной Шории на постколлизционный этап и этап функционирования мантийной горячей точки (P₅-J):
 1 – венд-кембрийские островодужные комплексы, благоприятные для локализации золото-редкометалльного скарнового оруденения; 2 – терригенно-вулканогенные рифтогенные комплексы, благоприятные для локализации жильного и скарнового золото-редкометалльного оруденения;
 3 – юрские комплексы редкометалльных гранитоидов: а – алахинский редкометалльных сподуменовых гранитов, б – восточно-калгутинский литий-фтористых лейкогранитов;
 4 – Прителецкий пояс редкометалльных пегматитов (MZ); 5 – чиндагатуйский гранит-лейкогранитовый мезоабиссальный комплекс; 6 – юрские автономные щелочно-базитовые комплексы: а – сиенит-габбровый с карбонатами «Эдельвейс» (Северо-Чуйский ареал); б – чуйский лампрофировый, с которым связано жильное золото-сульфидно-кварцевое оруденение; 7 – мезозойские приразломные впадины: 1 – Пыжинская; 2 – Яхансоринская; 3 – Аржанская; 4 – Янтаусская; 8 – гипабиссальные шошонитовые комплексы;
 9 – мезоабиссальные гранитоидные комплексы (P-T): а – синюшинский гранодиорит-гранит-лейкогранитовый; б – белокурихинский гранит-лейкогранитовый; в – атуркольский гранитовый, с которыми связано скарновое золото-редкометалльное и жильное золото-сульфидно-кварцевое оруденение; 10 – мезоабиссальный порожинский гранит-лейкогранитовый комплекс;
 11 – автономный дайковый терехтинский габбро-долеритовый комплекс (P-T); геолого-промышленные типы оруденения бериллия: 12 – комплексные скарны; 13 – комплексные кварцево-жильные; 14 – комплексные грейзеновые; 15 – пегматитовые; месторождения и проявления бериллия: 1 – Красный городок; 2 – Курановское; 3 – Ручей Крутенький; 4 – Тузукта; 5 – Дырях; 6 – Белорецкий Рудник; 7 – Ново-Колыванское; 8 – Пегматитовое; 9 – Казандинское; 10 – Тигирекское; 11 – Каракольское; 12 – Калгутинское

Комплексные (*Be, W, Mo*) кварцево-жильные месторождения Алтая. К этому геолого-промышленному типу на Алтае относятся месторождения Каракольское (Республика Алтай), Казандинское, Курановское (Алтайский край) и ряд проявлений (Красный Городок). *Каракольское месторождение* находится на водоразделе рек Усть-Куча, Колбала и Солоновка. Приурочено к Каракольскому интрузивному массиву. Наиболее высокие содержания берилла присущи кварцевым жилам СЗ простираения, которые приурочены к трещинам скола и сопровождаются процессом грейзенизации гранитов. Жилы сближены до интервала в 2–4 м, расположены кулисообразно, местами лестничные. Берилл развит в виде скоплений неправильной формы, друз и отдельных кристаллов. С ним ассоциируют молибденит, халькопирит, шеелит, колумбит и танталит (редки), висмутин, ковеллин, торбернит, метаторбернит, отенит, флюорит, турмалин. Распределение бериллия, молибдена и висмута в рудах неравномерное. Среднее содержание $Be - 0,5\%$, $Mo - 0,3\%$, $W - 0,12\%$. Суммарные запасы и прогнозные ресурсы ($C_1 + C_2 + P_1$) $Be -$ несколько тысяч тонн, причём, берилла рудоразборного ($C_1 + C_2$) – 1942 т, $Mo - 543,6$ т, $W - 141,2$ т. *Казандинское месторождение* находится в верховьях ключа Феоктистова, правого притока р. Щепеты. Бериллоносные кварцевые жилы впервые были выявлены в 1947 г. Оруденение приурочено к кварцевым жилам, выполняющим трещины отрыва, возникшие в связи с установленной здесь тектонической зоной северо-восточного простираения. Горными выработками предшествующих исследователей вскрыта 91 кварцевая жила. Жилы имеют кулисообразное строение, причём сравнительно часто встречаются «слепые жилы». Простираение жил от 250 до 300° , падение на юго-запад и юго-восток под углами $65-85^\circ$, протяженность от десятков до нескольких сотен метров, мощность от $0,15$ до $1,2$ м (средняя $0,39$ м). Основным полезным компонентом является берилл, который отмечается двух типов – мелкокристаллический и крупнокристаллический. Крупнокристаллический берилл наблюдается в виде кристаллов хорошей огранки размером до 10×2 см или в виде гнезд размером до 10×10 см. Другими жильными минералами являются молибденит, турмалин, пирит, висмутин, мусковит, флюорит, вольфрамит. Мощность изучавшихся зон с неравномерно-вкрапленной берилловой

минерализацией составляет 2–3 м, содержание BeO до $0,126\%$. Среднее содержание по одной из зон, вскрытых штольней 2 (на участке $70,5-72,5$ м) составляет $0,03\%$ BeO . В связи с низкими содержаниями запасы бериллия в бериллоносных гранитах не подсчитывались (Пентельков, 1964). Запасы оксида бериллия по категориям $B + C_1 + C_2$ по результатам разведки составляют $1218,806$ тонн при среднем ее содержании $0,194\%$. Прогнозные ресурсы окиси бериллия категории P_1 до глубины 300 м составляют 1828 т. Суммарные запасы и ресурсы Казандинского бериллиевого месторождения составляют 3047 т. В сводном балансе запасов по месторождению по состоянию на $01.01.2002$ г числятся запасы оксида бериллия категории $B - 42$ т, категории $C_1 - 449$ т, категории $C_2 - 491$ т при среднем содержании $BeO 0,198\%$.

Пегматитовые месторождения. Самая многочисленная группа бериллиевых месторождений и проявлений представлена в регионе пегматитами. Месторождение бериллия Тигирекское находится в водораздельной части одноименного хребта и локализуется в районе г. Иркутки или Разработной. Месторождение приурочено к пегматитам, связанным с одноименным массивом гранитоидов, относящимся к Белокурихинскому комплексу [2, 4]. На месторождении проявлены пегматиты полно дифференцированные, крупноблоковые, образующие 3 жилы. Наибольший интерес представляет самое крупное тело пегматита – тело № 1. На поверхности оно имеет штокообразную форму, вытянутую в северо-западном направлении. Длина выхода имеет 15 м. Месторождение не доизучено. Штольня пройденная в 1933 году по телу пегматита до $18,3$ м, не вышла из него. Мощность тела колеблется от 4 до 9 м. Строение пегматита симметрично-зональное с обособлением 5 зон.

1 – ядерная часть пегматита сложена трещиноватым полупрозрачным розовым кварцем с неравномерной интенсивностью окраски от почти бесцветного до ярко розового, образуя неправильные участки и гнезда размером до $1-2$ м.

2 – следующая зона сложена серовато-белым и белым кварцем, иногда полупрозрачным.

3 – третья зона состоит из крупно- и гигантозернистого микроклин-пертита с крупными пластинками мусковита, редко биотита, дымчатого кварца и берилла. Кристаллы берилла грязно-зелёного, изредка

чистого голубовато-зелёного прозрачного аквамарина, правильной «карандашной» огранки, но трещиноватые, размерами в первые сантиметры. Мощность зоны до 1,5 м. В этой зоне обнаруживались кристаллы аквамарина до 1 м длиной и 15 см шириной (Кокорин, 1934).

4 – четвёртая зона представлена средне- и крупнозернистым пегматитом с монацитом, аквамарином и редким ксенотимом. Мощность зоны до 50 см.

5 – внешняя, пятая зона мощностью от 5 до 15 см сложена красноватым среднезернистым мусковит-плагиоклазовым лейкогранитом и имеет постепенные переходы к вмещающим светло-серым и розоватым среднезернистым гранитам Тигирекского массива.

Основной объём берилла приурочен к границе 2 и 3 зон. В составе пегматитов отмечено 28 минералов, из которых основные – микроклин, кварц, берилл, мусковит. Акцессорные минералы: монацит, ильменорутит, флюорит, апатит, турмалин, танталит, колумбит, ксенотим.

Аквамарин локализуется в пегматитах в виде гнёзд в переходной части от кварцевого ядра к альбитовой зоне. Размеры гнёзд до 20–30 см в поперечнике. Отдельные кристаллы прозрачного аквамарина небесно-голубого и голубого цвета достигают 8–6 см в длину. Ассоциирует со слюдой зелёного цвета, иногда монацитом, ксенотимом, танталитом и колумбитом. По данным Н.Д. Довгаля (1934 год) запасы берилла по категории Б составляют 5,18 т при среднем содержании по телу пегматита 0,28% и по отвалу – до 0,045%. Аквамарин Тигирекского месторождения хорошего качества. Из него получают прекрасные кабошоны и поделки [3].

Комплексные кварцево-грейзеновые (*Be, W, Mo, Cu*) месторождения. К этому типу относится Калгутинское месторождение, при разведке которого бериллиевому оруденению не было уделено серьёзного внимания. Калгутинское кварцево-грейзеновое месторождение находится в верховьях одноименного ручья. В рудном поле отчётливо различимы 3 типа главных руд: кварц-вольфрамитовый, прожилково-вкрапленный «молибденового штока» и прожилково-вкрапленный медно-молибден-порфиновый. *Кварц-вольфрамитовый* тип оруденения представлен 589 жилами кварца протяжённостью по простиранию от 20 до 330 м (средняя 106 м) и от 16 до 210 м (средняя 47 м) по падению. Рудные жилы

имеют доминирующее С-В простирание с крутыми падениями на С-З и Ю-В. Текстуры руд: гнездово-вкрапленная и вкрапленная. Главные рудные минералы: вольфрамит, молибденит, пирит. Реже встречаются висмутин, берилл, халькозин, халькопирит, блеклые руды. Второстепенные: шеелит, гематит, магнетит, пиролюзит. Из жильных минералов преобладает кварц нескольких генераций. Эпизодически отмечаются мусковит, турмалин, флюорит, лепидолит. Рудные жилы сопровождаются оторочками грейзенов мощностью от нескольких сантиметров до одного и более метра. Грейзены содержат прожилково-вкрапленную шеелит-вольфрамитовую минерализацию с бериллом, где отмечаются редкие находки изумрудов. Изумруды характеризуются слабо зелёной до изумрудно-зелёной окраской. Размеры кристаллов по длинной оси достигают 1,5 см. *Кварц-вольфрамитовый* тип оруденения относится к четвёртому этапу и представлен 589 наиболее мощными (0,5–2 м) жилами кварца протяжённостью по простиранию от 20 до 330 м (средняя 106 м) и от 16 до 210 м (средняя 47 м) по падению. Рудные жилы имеют доминирующее С-В простирание с крутыми падениями на С-З и Ю-В. Текстуры руд: гнездово-вкрапленная и вкрапленная. Главные рудные минералы: вольфрамит, молибденит, пирит. Реже встречаются висмутин, берилл, халькозин, халькопирит, блеклые руды. Второстепенные: шеелит, гематит, магнетит, пиролюзит. Из жильных минералов преобладает кварц нескольких генераций. Эпизодически отмечаются мусковит, турмалин, флюорит, лепидолит. Рудные жилы сопровождаются оторочками грейзенов мощностью от нескольких сантиметров до одного и более метра. Грейзены содержат прожилково-вкрапленную шеелит-вольфрамитовую минерализацию с бериллом, где отмечаются редкие находки изумрудов. Изумруды характеризуются слабо зелёной до изумрудно-зелёной окраской. Размеры кристаллов по длинной оси достигают 1,5 см. Прогнозные ресурсы оксида бериллия по категории P_1 составляют 1300 т при среднем содержании оксида бериллия 0,3%.

В Рудном Алтае расположено Алейское бериллиевое проявление, пространственно и парагенетически связанное с аляскитовыми гранитами Устьянского массива. Рудная зона локализуется в пределах крупного ксенолита габбро-долеритов. Она прослежена горными выработками от р. Устьянки в С-С-З направлении на 400 м. Внутренне

строение зоны сложное. В целом она фиксируется интенсивным дроблением габбро-долеритов с образованием штокверков и грейзенизацией. Наиболее интенсивной грейзенизации подверглись фельзит-порфиры, образующие 2 дайки (в Ю-В части рудной зоны) меридионального направления. Под воздействием пневматолито-гидротермального метасоматоза фельзит-порфир превращены в мелко-тонкозернистые грейзены (лишь изредка устанавливаются реликты вкрапленников кварца и плагиоклаза). Минеральный состав грейзенов: кварц, мусковит, (иногда замещающийся литиевыми слюдами), хлорит, флюорит, реже встречаются топаз, берилл, серицит, в единичных случаях – турмалин. Из второстепенных минералов присутствуют циркон, апатит, кальцит, биотит, пироксен, амфибол. Более широко в зоне развиты штокверки, слагающие основную часть рудной зоны. Они представляют собой интенсивно раздробленные габбро-долериты, пронизанные густой сетью жилок мощностью до 1 см. В составе штокверков участвуют кварц (30-60%), мусковит и лепидолит (3-4%), флюорит (3-5%), берилл (3-4%), топаз, апатит, циркон, вольфрамит и пирит (не более 2-3%), иногда встречаются кальцит и шеелит.

Берилл в количественном отношении преобладает в штокверках. В грейзенах берилл обычно образует голубые длинностолбчатые кристаллы длиной до 1 мм, в штокверках – игольчатые и длинностолбчатые кристаллы длиной до 2 мм, реже образует секториальные сферолито-лучистые агрегаты синей до густо-синей окраски, редко – голубовато-зеленоватые скопления кристаллов, приближающиеся к аквамарину. По результатам 136 химических анализов в рудной зоне содержания бериллия варьируют от 0,005 до 0,18%. Запасы оксида бериллия ориентировочно определены в 15 т (на метр углубки).

Комплексные скарновые месторождения (*Be, W, Mo*). Среди комплексных скарновых месторождений следует отметить месторождения Белорецкий Рудник и Ново-Кольванское. *Месторождение Белорецкий рудник* расположено в правом борту р. Белой, против устья р. Веселяиха, в 25 км к югу от Белорецкого железорудного место-

рождения. На месторождении выделяется 4 типа руд:

1. Скарновые с бериллиевым везувианом, шеелитом, флюоритом, пиритом, сфалеритом и халькопиритом.

2. Жильные образования и околожильные измененные породы с гельвином, бериллом, шеелитом, вольфрамитом, молибденитом, флюоритом и сульфидами (пирит, сфалерит, халькопирит, галенит, висмутин, алтаит). Характерно повышенное содержание серебра (до 282 г/т), галлия (0,01%) и висмута (0,1%).

3. Грейзеновый с гельвином, бериллом, вольфрамитом, молибденитом, флюоритом и сульфидами (пирит, сфалерит).

4. Кварцево-жильный с бериллом, вольфрамитом, молибденитом и сульфидами (пирит, халькопирит, висмутин). Содержания оксида бериллия в рудах варьируют от 0,05 до 0,9% (среднее 0,31%). Прогнозные ресурсы категории P_1 по месторождению оценены в 1250 т.

Выводы

Таким образом, бериллиевое оруденение на Алтае образует различные геолого-промышленные типы, связанные с гранитоидами, обогащённые флюидами и особенно HF: пегматитовые, скарновые, грейзеновые и жильные. Суммарные запасы оксида бериллия составляют (т): категории В – 47,2, категории C_1 – 449, категории C_2 – 506, категорий $C_1 + C_2$ – 1942. Прогнозные ресурсы категории P_1 оценены в 2550 т оксида бериллия.

Список литературы

1. Бериллий России: Состояние, проблемы развития и освоения минерально-сырьевой базы / И.И. Купрянова, Е.П. Шпанов и др.». – М.: АОЗТ «Геоинформмарк», 1996. – 39 с.
2. Гусев А.И. Постколлизонные гранитоиды: петрология, геохимия, флюидный режим и оруденение. – Gamburg: Palmarium Academic Publishing, 2012. – 217 с.
3. Гусев А.И. Самоцветы Алтая. – Бийск: Изд-во ГОУВПО АГАО, 2012. – 250 с.
4. Гусев А.И., Гусев Н.И., Табакаева Е.М. Петрология и рудоносность Белокурихинского комплекса. – Бийск, 2008. – 165 с.
5. Гусев А.И. Петро-геохимия и потенциальная рудоносность интрузий айского комплекса Горного Алтая // Отечественная геология. – 2012. – № 1. – С. 63–70.
6. Гусев А.И., Гусев А.А. Шошонитовые гранитоиды Синошинского массива Алтая // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2012. – № 5. – С. 14–18.