

**МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ  
по применению Классификации запасов  
месторождений и прогнозных ресурсов  
твердых полезных ископаемых**

**Бериллиевые руды**

**Москва, 2007**

Разработаны Федеральным государственным учреждением «Государственная комиссия по запасам полезных ископаемых» (ФГУ ГКЗ) по заказу Министерства природных ресурсов Российской Федерации и за счет средств федерального бюджета.

Утверждены распоряжением МПР России от 05.06.2007 г. № 37-р.

**Методические рекомендации** по применению Классификации запасов месторождений и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых. Бериллиевые руды.

Предназначены для работников предприятий и организаций, осуществляющих свою деятельность в сфере недропользования, независимо от их ведомственной принадлежности и форм собственности. Применение настоящих Методических рекомендаций обеспечит получение геологоразведочной информации, полнота и качество которой достаточны для принятия решений о проведении дальнейших разведочных работ или о вовлечении запасов разведанных месторождений в промышленное освоение, а также о проектировании новых или реконструкции существующих предприятий по добыче и переработке полезных ископаемых.

## I. Общие сведения

1. Настоящие Методические рекомендации по применению Классификации запасов к месторождениям бериллиевых руд (далее – Методические рекомендации) разработаны в соответствии с Положением о Министерстве природных ресурсов Российской Федерации, утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации от 22 июля 2004 г. № 370 (Собрание законодательства Российской Федерации, 2004, № 31, ст.3260; 2004, № 32, ст. 3347, 2005, № 52 (Зч.), ст. 5759; 2006, № 52 (Зч.), ст. 5597), Положением о Федеральном агентстве по недропользованию, утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации от 17 июня 2004 г. № 293 (Собрание законодательства Российской Федерации, 2004, N 26, ст. 2669; 2006, №25, ст.2723), Классификацией запасов месторождений и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых, утвержденной приказом МПР России от 11 декабря 2006 г. № 278, и содержат рекомендации по применению Классификации запасов месторождений и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых в отношении бериллиевых руд.

2. Методические рекомендации направлены на оказание практической помощи недропользователям и организациям, осуществляющим подготовку материалов по подсчету запасов полезных ископаемых и представляющих их на государственную экспертизу.

3. Бериллий – серебристо-серый металл, относимый к числу редких элементов; обладает целым рядом уникальных свойств, которые обуславливают его применение во многих высокотехнологичных производствах. У бериллия самое низкое среди металлов сечение захвата нейтронов (0,009 барн или  $9 \cdot 10^{-25} \text{ м}^2$ ) и самое высокое сечение их отражения, под действием радиоактивного облучения он испускает нейтроны. Бериллий самый легкий металл (плотность  $1,847 \text{ г/см}^3$ ), имеет высокое отношение прочности к массе, высокую упругость и жесткость, а также очень низкий коэффициент теплового расширения и высокую коррозионную устойчивость в химически агрессивных средах. Металлический бериллий и керамика с использованием оксида бериллия обладают высокой теплоемкостью и теплопроводностью. Сплавы бериллия с медью, алюминием и другими металлами имеют повышенную прочность при сохранении высокой электропроводности. Столь широкий диапазон весьма ценных свойств предопределяет использование бериллия, его сплавов, керамики и композитных материалов с бериллием в атомной, аэрокосмической, электротехнической, электронной, автомобильной и других отраслях техники.

Металлический бериллий высокой чистоты, его сплавы и соединения основное применение находят в атомной и авиа-ракетно-космической технике. В атомной технике бериллий и его соединения эффективно используются в качестве замедлителей и отражателей нейтронов. Бериллий может выдержать нейтронные потоки в течение десятков лет, являясь практически лучшим материалом для фильтров в установках термоядерного синтеза, для оболочек тепловыделяющих элементов (ТВЭЛов) и других конструкций ядерных реакторов и источников нейтронов. В авиа-ракетно-космической технике металл и его сплавы используются в качестве конструкционного материала, а также в гироскопических устройствах систем наведения и ориентации в скоростных самолетах, баллистических ракетах, космических аппаратах, подводных и надводных кораблях (бериллий в гироскопах максимально удовлетворяет требованиям высокой надежности и большого срока службы, малого потребления энергии и простоты ухода);

для оптических космических зеркал разработан специальный сорт металла с исключительно высокой отражательной, способностью.

Наиболее важные виды бериллиевой продукции и области его применения приведены в таблице 1.

Таблица 1

**Наиболее важные виды бериллиевой продукции и области его применения**

Продукция	Массовая доля Be, не менее, %	Области применения
Металлический бериллий:		
корольки	97,0	В ядерных реакторах, добавка в ракетное топливо
порошок	98,0	Авиационная, ракетная и космическая техника, атомная энергетика
слитки вакуумной плавки	99,9	Приборостроение (гироскопы), радиоэлектроника, военная техника
Сплавы бериллия с медью	1,0–5,0	Машиностроение, приборостроение
Оксид бериллия технический	96,0–99,0 BeO	Огнеупорная керамика, электронная продукция, производство лазеров и мазеров, специальные стекла
Фторид бериллия	99,0 BeF <sub>2</sub>	Оптические приборы, термоядерные реакторы
Бериллиды (интерметаллиды)	Переменный состав	Жаростойкие покрытия, защита от коррозии в ракетостроении

4. Бериллий – типичный литофильный элемент. Распространенность бериллия в земной коре и основных типах горных пород характеризуется следующими кларками (в г/т): земная кора – 1,5; магматические горные породы основного состава 0,4; среднего состава – 0,9; кислого состава – 3,5; щелочные породы – 7,8; глины – 3,0; песчаники и карбонатные породы 0,5; бокситы – 4,3; каменный уголь – 3,2.

Геохимические свойства бериллия определяются малым размером его ионного радиуса – 0,031 нм, координационным числом IV, амфотерностью и валентностью 2. В природе стабилен только один изотоп бериллия <sup>9</sup>Be.

В отличие от других редких металлов, бериллий не имеет прямого геохимического аналога среди петрогенных элементов. Вследствие этого он существенно не рассеивается в других минералах, а большей частью концентрируется в виде собственных минералов.

Большое влияние на поведение бериллия в природных эндогенных процессах оказывает фтор, с которым бериллий образует устойчивые комплексные соединения. Фтор выполняет роль главного экстрактора и переносчика бериллия в постмагматических процессах. Бериллий входит в состав около 100 минералов – силикатов и алюмосиликатов, фосфатов, оксидов и боратов. Известны экзогенные минералы, возникающие в зоне окисления: фосфаты (моразит, глюцин, уралолит) и арсенаты (бearsит).

Промышленное и потенциально-промышленное значение в настоящее время имеют 11 минералов (таблица 2), из которых промышленными являются 3 – берилл, фенацит, бертрандит. Разведаны, но пока не осваиваются месторождения с хризоберилловыми и гентгельвиновыми рудами.

**Содержание оксида бериллия и некоторые физические свойства  
промышленных и потенциально-промышленных минералов бериллия**

Минерал и его формула	Содержание BeO, %	Плотность, г/см <sup>3</sup>	Твердость по шкале Мооса
Промышленные минералы			
Берилл Be <sub>3</sub> Al <sub>2</sub> Si <sub>6</sub> O <sub>18</sub>	12–14	2,65–2,90	7,5–9,0
Фенакит Be <sub>2</sub> SiO <sub>4</sub>	42–45	2,9–3,0	7,5
Бертрандит Be <sub>4</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>7</sub> (OH) <sub>2</sub>	40–45	2,6–2,7	6,5–7,0
Потенциально-промышленные минералы			
Хризоберилл BeAl <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	18–20	3,6–3,8	8,5
Бехоит Be(OH) <sub>2</sub>	54–56	1,95–1,97	4,0
Эвклаз BeAlSiO <sub>4</sub> (OH)	16–18	3,05–3,10	7,5
Лейкофан (Ca, Na) <sub>2</sub> BeSi <sub>2</sub> (O, OH, F) <sub>7</sub>	9–12	2,95–2,97	3,5–4,0
Барилит BaBe <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	15–16	4,0–4,02	6,0–7,0
Гентгельвин (Zn, Fe) <sub>4</sub> Be <sub>3</sub> (SiO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> S	11–13,5	3,55–3,66	5,5–6,0
Гельвин (Fe, Mn, Zn) <sub>4</sub> Be <sub>3</sub> (SiO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> S	9–16	3,17–3,27	6,0
Даналит (Fe, Zn, Mn) <sub>4</sub> Be <sub>3</sub> (SiO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> S	8,1–16,0	3,34–3,46	5,5–6,0

5. Все месторождения бериллия являются эндогенными. Литофильность бериллия и другие его геохимические свойства определяют региональную связь его месторождений с областями развития гранитоидного магматизма двух формационных типов: известково-щелочных гранитных серий нормального ряда, завершающихся фазами лейкократовых и литий-фтористых гранитов, и гранитоидных серий щелочного ряда, завершающихся фазами рибекитовых и эгириновых гранитов. Первые развиваются в структурно-геологических условиях тыловых орогенных зон, связанных с поясами субдукции океанической коры или столкновения континентальных плит. Вторые характерны для анорогенной обстановки в связи с рифтовыми поясами и авлакогенами, заложенными на континентальной коре древних и молодых щитов и платформ. В размещении рудных районов определяющую роль играют узлы пересечения глубинных региональных разломов, где создаются каналы, способствующие поступлению мантийных флюидов, образованию и глубокой дифференциации гранитовых магм.

6. Промышленными источниками бериллия служат как собственные месторождения этого элемента, так и комплексные месторождения, в которых бериллий является важным попутным компонентом (табл. 3).

Для оценки месторождений бериллия, помимо геолого-структурных признаков, величины запасов и содержания в рудах BeO, важное значение имеет минеральный состав руд, так как он определяет технологию обогащения и переработки концентратов.

По величине запасов (тыс. т BeO) месторождения разделяются на пять групп: 1) уникально крупные >50; 2) очень крупные – 20–50; 3) крупные – 10–20; 4) средние – 5–10; 5) мелкие <5. По содержанию BeO выделяют богатые руды >0,6 % , рядовые – 0,3–

0,6 %, бедные – 0,1–0,3 % и убогие – 0,04–0,10 %. Для собственно бериллиевых месторождений минимальное промышленное содержание в рудах соответствует 0,20–0,35 % BeO; из комплексных руд попутный Be в ряде случаев рентабельно извлекать и при более низком содержании – до 0,05–0,10 % BeO.

Месторождения берtrandит-аргиллизитовых метасоматитов (тип I) приурочены к бортам мезо-кайнозойских депрессий и связаны с разломами, контролирующими распределение вулканитов. Вмещающие породы – риолиты, липариты, трахилипариты, туфы и их туфолавы – интенсивно окварцованы, серицитизированы и диккитизированы. Оруденение представлено вкрапленностью и тонкими прожилками берtrandита и его разновидностей (гельберtrandита, сфероберtrandита) и образует сложно построенные минерализованные зоны. Среднее содержание BeO на массу эффузивов составляет 0,6–1,5 %. Наиболее богатые и крупные месторождения в США приурочены к карбонатсодержащим толщам (Спор-Маунтин, Сьерра-Бланка).

Разрабатываемое месторождение Спор-Маунтин обеспечивает свыше 50 % мирового производства бериллия.

Месторождения берtrandит-фенакит-флюоритовых метасоматитов (тип II) располагаются в металлогенических зонах, приуроченных к бортовым частям наложенных линейных впадин (эпикратонных рифтов), где наиболее активно проявлен щелочно-гранитоидный магматизм.

Морфология рудных тел часто простая пластообразная, но нередко усложнена ветвлением и наличием рудных столбов. Апокарбонатные метасоматиты часто отличаются компактной и выдержанной морфологией. Благоприятна также возможность попутного извлечения из руд большинства этих месторождений значительного количества флюорита, что повышает рентабельность их отработки.

В Западном Забайкалье известны крупные берtrandит-фенакитовые месторождения (Ермаковское, Ауникское), которые формировались в связи с субщелочными гранитоидами в период мезозойской тектоно-магматической активизации региона. Руды законсервированного Ермаковского месторождения богатые (более 1 % BeO), а Ауникского резервного – бедные (0,18 % BeO).

Месторождениям бериллиеносных полевошпатовых метасоматитов (тип III) также часто присущи рядовые и богатые руды со значительными запасами BeO (Пержанское гентгельвиновое месторождение на Украине и фенакитовое месторождение Тор-Лейк в Канаде).

Таблица 3

## Промышленные и потенциально-промышленные типы бериллиевых месторождений

Промышленный и потенциально-промышленный тип	Генетический тип	Минеральный тип руд	Форма рудных тел	Размеры рудных тел, м			Среднее содержание BeO в руде, %	Масштаб оруденения	Попутные полезные компоненты	Основные месторождения
				по простиранию	по падению	мощность				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
А. Собственно бериллиевые месторождения										
I. Берtrandит-аргиллизитовые метасоматиты	Вулканогенно-гидротермальный	Берtrandитовый, флюорит-берtrandитовый	Пластообразная, линзовидная	До 1500	До 1000	5–15	0,5–1,0	До уникального	Флюорит	Спор-Маунтин, Сьерра-Бланка (США), Оротское (Россия)
II. Берtrandит-фенакит-флюоритовые метасоматиты	Плутоногенно-гидротермальный	Фенакит-берtrandит-микроклин-флюоритовый, лейкофан-флюоритовый	Пластообразная, линзовидная	70–160	140–230	1–60	0,2–1,5	До крупного	Флюорит, редкоземельные элементы (РЗЭ)	Ермаковское, Ауникское, Окуневское (Россия)
III. Бериллиеносные полевошпатовые метасоматиты	Кварц-альбит-микроклиновые метасоматиты	Гентгельвиновый, гелвин-фенакит-лейкофановый, кварц-полевошпат-фенакитовый	Линзовидная, неправильная	100–1000	120–300	20–100	0,2–1,4	То же	РЗЭ, Y, Nb, Ta, Zr, Zn	Пержанское (Украина), Диабазовое, Метасоматитовое (Белоруссия), Тор-Лейк (Канада)
IV. Берилл-слюдяные метасоматиты и минерализованные зоны дробления	Грейзеновый	Берилл-флюоритовый, берилл-маргарит-изумрудный, флюорит-фенакит-берилловый, кварц-эвклаз-берtrandит-берилловый	Пластообразная, линзовидная, жильная, неправильная	100–1500	100–500	1–90	0,1–0,9	»	Изумруд, флюорит, W, Mo	Боевское, Малышевское, Снежное (Россия), Редскин-Шток (США), Боа-Виста (Бразилия)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Б. Комплексные месторождения с бериллием										
V. Апокарбонатные флюоритовые метасоматиты	Грейзеновый	Слюдисто- фенакит- флюоритовый, слюдисто- хризоберилл- флюоритовый	Штокообразная, пластообразная, линзовидная	1000– 1200	300– 500	50– 300	0,1– 0,25	Крупный	Флюорит, Li, Rb, Cs, Zn	Вознесенское, Пограничное (Россия)
VI. Комплексные кварцево- жильные зоны и штокверки	»	Мусковит-кварц- берилловый	Жильная, штокверковая	1200	600	0,5– 1,5	0,05, редко до 0,3	Мелкий, до среднего	W, Mo, Bi, Sn	Инкур (Россия), Кара-Оба, Акча- Тау, Нура-Талды (Казахстан)
VII. Комплексные бериллий- оловорудные скарны	Скарново- грейзеновый	Хризоберилл- даналитовый	Линзовидная, неправильная	500– 600	100– 200	15– 100	0,05, редко до 0,3	Средний	Sn, Zn, Pb, Cu, флюорит, Fe (магнетит)	Уукса, Хопунваара (Россия), Айрон- Маунтин (США)
VIII. Редкометалльные пегматиты	Пегматитовый	Берилл- колумбитовый, берилл- сподумен- танталитовый	Жильная, реже штокообразная	1000	300– 400	1–120	0,05, редко до 0,3	Мелкий, до крупного	Ta, Nb, Li, Cs, кварц, полевой шпат, мусковит	Завитинское, Вишняковское (Россия), Белогорское (Казахстан), Берник-Лейк (Канада)



Эти месторождения локализируются в пределах мощных тектонических разломов древнего заложения. Рудные тела представлены метасоматитами и имеют сложную морфологию. Они развиваются в линейных зонах трещиноватости, оперяющих крупные разломы, и при общей выдержанности зон минерализации отдельные тела линзовидной или неправильной формы невелики по размерам, что усложняет горнотехнические условия добычи.

Более низкое содержание бериллия (0,1–0,3 % BeO) при сохранении крупных масштабов оруденения характерно для месторождений берилл-слюдяных метасоматитов и минерализованных зон дробления (тип IV), залегающих среди карбонатных (Боевское), основных и ультраосновных (Малышевское) пород.

Боевское слюдисто-флюорит-берилловое месторождение является крупным, но бедным (среднее содержание BeO – 0,12 %). Оруденение образует довольно крупные (до 1 км по протяженности при мощности 30–90 м) прожилково-метасоматические зоны.

Малышевское берилл-изумрудное месторождение несет в себе признаки как штокверково-метасоматического, так и жильного типа. Наличие богатых крупных жил среди более бедных слюдитовых зон с изумрудом делает рентабельным при его отработке сочетание старательской добычи и рудоразборки с флотационным обогащением. Снежное месторождение со значительными ресурсами фенакит-берилловых руд отличается высокими содержаниями (среднее содержание BeO – 0,9 %).

Промышленные типы комплексных месторождений разнообразны и неравнозначны по своей экономической ценности.

Месторождения апокарбонатных редкометалльно-флюоритовых метасоматитов (тип V) (Вознесенское и Пограничное) отличаются очень большими запасами флюорита и бериллия и могут дать большое количество бериллиевых концентратов, но технология их получения и переработки еще не достаточно эффективна.

Технологические качества руды более благоприятны, если бериллий в них концентрируется в виде фенакита или эвклаза. Хризоберилловые руды отличаются тонкодисперсным распределением хризоберилла, что снижает технологические показатели и относит эти руды к категории труднообогатимых.

В комплексных (W, Sn, Mo) кварцево-жильных и штокверковых месторождениях (тип VI) берилл часто присутствует как попутный компонент, технология извлечения которого хорошо разработана, а целесообразность ее реализации зависит от конъюнктуры.

В комплексных месторождениях бериллий-оловорудных скарнов (тип VII) бериллий присутствует в виде тонкодисперсного хризоберилла и гельвина и в значительной степени рассеян в составе породобразующего везувиана. В настоящее время возможно попутное извлечение берилла из апоскарновых грейзенов, сопровождающих иногда оловянное и полиметаллическое скарновое оруденение.

Из редкометалльных пегматитов (тип VIII), в которых сосредоточено 49–58 % запасов бериллия, берилловый концентрат получают попутно при их разработке на танталит, сподумен, поллуцит, слюду и керамическое сырье. Часто они являются объектом старательской добычи.

Реальная структура минерально-сырьевой базы бериллия в мире и России приведена в таблице 4.

К техногенным месторождениям относятся отвалы забалансовых руд, добытых в результате разработки месторождений, бериллийсодержащие отходы (хвосты, шламы), образовавшиеся в процессе обогащения руд или переработки бериллийсодержащих концентратов комплексных месторождений. Значительные запасы техногенного

бериллиевого сырья в виде хвостов флотационного обогащения имеются на Вознесенском и Пограничном месторождениях, разрабатываемых Ярославским ГОКом (Приморский край).

Особенности строения техногенных месторождений и состава бериллийсодержащего материала, сформировавшегося под влиянием техногенного и последующего гипергенного воздействия, требуют специфических подходов к их изучению и оценке, особенности которых изложены в соответствующих методических документах.

Таблица 4

#### Распределение запасов бериллия по промышленным типам месторождений

Промышленный тип*	Распределение запасов, %		Содержание BeO, %	Основные месторождения
	в мире	в России		
1	2	3	4	5
I. Берtrandит-аргиллизитовые метасоматиты	27,0	–	0,6–1,5	Спор-Маунтин (США)
II. Берtrandит-фенакит-флюоритовые метасоматиты	–	8,8	0,2–1,2	Ермаковское, Ауникское (Россия)
III. Бериллиеносные полевошпатовые метасоматиты	14,0	–	0,4–1,4	Тор-Лейк (Канада), Пержанское (Украина)
IV. Берилл-слюдаые метасоматиты	5,0	21,8	0,1–0,3	Боевское, Малышевское (Россия)
V. Апокарбонатные редкометалльно-флюоритовые метасоматиты	–	9,9	0,1–0,3	Вознесенское, Пограничное (Россия)
VI. Комплексные (Be, W, Mo) кварцево-жильные	5,0	1,9	0,05–0,3	Каракольское, Казандинское (Россия)
VIII. Редкометалльные пегматиты	49,0	57,6	0,03–0,3	Завитинское, Колмозерское (Россия)
* В таблицу не включен VII потенциально-промышленный тип (комплексные бериллий-оловорудные скарны) в связи с отсутствием по нему подтвержденных запасов бериллия.				

## II. Группировка месторождений по сложности геологического строения для целей разведки

7. По размерам и форме рудных тел, изменчивости их мощности, внутреннего строения и особенностям распределения оксида бериллия месторождения бериллиевых руд соответствуют 2-, 3- и 4-й группам «Классификации запасов месторождений и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых», утвержденной приказом МПР России от 11 декабря 2006 г. № 278.

Ко 2-й группе относятся месторождения (участки) сложного геологического строения с рудными телами, представленными крупными штокверками и оруденелыми зонами грейзенового типа или метасоматическими залежами большой протяженности (до 1 км), значительной мощности (5–10 м и более), сложной морфологии, с

относительно неравномерным распределением бериллиевой минерализации. К месторождениям 2-й группы принадлежат крупные собственно бериллиевые и комплексные месторождения, такие как Боевское, Преображенское, Вознесенское и Пограничное.

К 3-й группе относятся месторождения (участки) очень сложного геологического строения с рудными телами, представленными средними по размерам сложными жилло-, линзо- и столбообразными метасоматическими залежами с непостоянной мощностью и неравномерным распределением оксида бериллия.

К ним принадлежит большинство бериллиевых месторождений различных промышленных типов: бертрандит-фенакит-флюоритовые метасоматиты (Ермаковское, Ауникское), берилл-слюдяные метасоматиты и минерализованные зоны дробления (Мальшевское, Снежное), крупные месторождения редкометалльных пегматитов (Колмозерское, Полмостундровское, Вишняковское).

К 4-й группе относятся небольшие, реже средние по масштабам месторождения (участки) пегматитов с рудоразборным бериллом, изумрудоносных слюдитов, полевошпатовых, флюоритовых и другого состава метасоматитов весьма сложного геологического строения, представленные жилло- и линзообразными, иногда гнездо- и столбообразными телами небольших размеров с резко изменчивой мощностью или интенсивно нарушенным залеганием и весьма неравномерным гнездообразным распределением оксида бериллия (участки с высоким содержанием BeO перемежаются с бедными и безрудными).

Так, к 4-й группе относятся Оротское месторождение (Республика Бурятия), Пержанское гентгельвиновое месторождение (Украина).

Разведку таких месторождений целесообразно проводить только в случае их предполагаемой передачи конкретному недропользователю.

8. Принадлежность месторождения (участка) к той или иной группе устанавливается по степени сложности геологического строения основных рудных тел, заключающих не менее 70 % общих запасов месторождения.

9. При отнесении месторождения к той или иной группе могут использоваться количественные характеристики изменчивости основных свойств оруденения (см. приложение).

### **III. Изучение геологического строения месторождений и вещественного состава руд**

10. По разведанному месторождению необходимо иметь топографическую основу, масштаб которой соответствовал бы его размерам, особенностям геологического строения и рельефу местности. Топографические карты и планы на месторождениях бериллиевых руд обычно составляются в масштабах 1:500–1:10 000. Все разведочные и эксплуатационные выработки (канавы, шурфы, штольни, шахты, скважины), профили детальных геофизических наблюдений, а также естественные обнажения рудных тел и минерализованных зон должны быть инструментально привязаны. Подземные горные выработки и скважины наносятся на планы по данным маркшейдерской съемки. Маркшейдерские планы горизонтов горных работ обычно составляются в масштабах 1:100–1:500, сводные планы – в масштабе не мельче 1:1000. Для скважин должны быть вычислены координаты точек пересечения ими кровли и подошвы рудного тела и построены проложения их стволов на плоскости планов и разрезов.

11. Геологическое строение месторождения должно быть изучено детально и отображено на геологической карте масштаба 1:1000–1:10 000 (в зависимости от

размеров и сложности месторождения), геологических разрезах, планах, проекциях, а в необходимых случаях – на блок-диаграммах и моделях. Геологические и геофизические материалы по месторождению должны давать представление о размерах и форме рудных тел или минерализованных зон, условиях их залегания и взаимном положении, внутреннем строении и сплошности рудных тел (степени рудоносности минерализованных зон), наличии горизонтальной и вертикальной зональности в распределении оруденения, характере выклинивания рудных тел, особенностях изменения вмещающих пород и взаимоотношениях рудных тел с вмещающими породами, складчатыми структурами и разрывными нарушениями в степени, необходимой и достаточной для обоснования подсчета запасов. Следует также обосновать геологические границы месторождения и поисковые критерии, определяющие местоположение перспективных участков, в пределах которых оценены прогнозные ресурсы категории  $P_1$  \*.

12. Выходы на поверхность и приповерхностные части рудных тел или минерализованных зон должны быть изучены горными выработками и неглубокими скважинами с применением геофизических и геохимических методов и опробованы с детальностью, позволяющей установить морфологию и условия залегания рудных тел, особенности изменения вещественного состава, технологических свойств руд и содержаний оксида бериллия в зоне гипергенеза, возможность обогащения зоны выветривания рудными минералами и провести подсчет запасов отдельно по промышленным (технологическим) типам.

13. Разведка месторождений бериллиевых руд на глубину проводится скважинами в сочетании с горными выработками (месторождений очень сложного строения – горными выработками) с использованием геофизических методов исследований – наземных, в скважинах и горных выработках.

Методика разведки – соотношение объемов горных работ и бурения, виды горных выработок и способы бурения, геометрия и плотность разведочной сети, методы и способы опробования – должна обеспечить возможность подсчета запасов на разведанном месторождении по категориям, соответствующим группе сложности его геологического строения. Она определяется исходя из геологических особенностей рудных тел с учетом возможностей горных, буровых и геофизических средств разведки и опыта разведки и разработки месторождений аналогичного типа.

При выборе оптимального варианта разведки следует учитывать степень изменчивости содержаний бериллия, характер пространственного распределения бериллиевых минералов, текстурно-структурные особенности руд (главным образом наличие крупных выделений рудных минералов), а также возможное избирательное выкрашивание бериллийсодержащих минералов при бурении и опробовании в горных выработках. Следует учитывать также сравнительные технико-экономические показатели и сроки выполнения работ по различным вариантам разведки.

14. По скважинам колонкового бурения должен быть получен максимальный выход керна хорошей сохранности в объеме, позволяющем выяснить с необходимой полнотой особенности залегания рудных тел и вмещающих пород, их мощности,

---

\* По району месторождения и рудному полю представляются геологическая карты и карта полезных ископаемых в масштабе 1:25 000–1:50 000 с соответствующими разрезами. Указанные материалы должны отражать размещение рудоконтролирующих структур и рудовмещающих комплексов пород, месторождений бериллия и рудопроявлений района, а также участков, на которых оценены прогнозные ресурсы бериллия.

Результаты проведенных в районе геофизических исследований следует использовать при составлении геологических карт и разрезов к ним и отражать на сводных планах интерпретации геофизических аномалий в масштабе представляемых карт.

внутреннее строение рудных тел и околорудные изменения; характер распределения природных разновидностей руд, их текстуры и структуры и обеспечить представительность материала для опробования.

Практикой геологоразведочных работ установлено, что выход керна для этих целей должен быть не менее 70 % по каждому рейсу бурения.

Достоверность определения линейного выхода керна следует систематически контролировать весовым или объемным способом.

Величина представительного выхода керна для определения содержаний оксида бериллия и мощностей рудных интервалов должна быть подтверждена исследованиями возможности его избирательного истирания. Для этого необходимо по основным типам руд сопоставить результаты опробования керна и шлама по интервалам с их различным выходом с данными опробования горных выработок и колонковых скважин, пробуренных с применением съемных керноприемников, а также с результатами гамма-нейтронного каротажа. При низком выходе керна или избирательном его истирании, существенно искажающем результаты опробования, следует применять другие технические средства разведки. При существенном искажении содержания бериллия в керновых пробах необходимо обосновать величину поправочного коэффициента к результатам кернового опробования на основе данных контрольных выработок.

Для повышения достоверности бурения и количественной оценки запасов необходимо использовать методы геофизических исследований в скважинах, рациональный комплекс которых определяется исходя из поставленных задач, конкретных геолого-геофизических условий месторождения и современных возможностей геофизических методов. Гамма-нейтронный каротаж (ГНК), эффективный для выделения зон минерализации и рудных тел, уточнения особенностей их внутреннего строения, определения мощностей рудных интервалов и содержаний  $BeO$  в рудах, должен выполняться во всех скважинах, пробуренных на месторождении.

В вертикальных скважинах глубиной свыше 100 м и во всех наклонных, включая подземные, не более чем через каждые 20 м должны быть определены и подтверждены контрольными замерами азимутальные и зенитные углы стволов скважин. Результаты этих измерений необходимо учитывать при построении геологических разрезов, погоризонтных планов и расчете мощностей рудных интервалов. При наличии подсечений стволов скважин горными выработками результаты замеров проверяются данными маркшейдерской привязки. Для скважин необходимо обеспечить пересечение ими рудных тел под углами не менее  $30^\circ$ .

Для пересечения крутопадающих рудных тел под большими углами целесообразно применять искусственное искривление скважин. С целью повышения эффективности разведки следует осуществлять бурение многозабойных скважин, а при наличии горизонтов горных работ – и вееров подземных скважин. Бурение по руде целесообразно производить одним диаметром.

15. Горные выработки являются основным средством детального изучения условий залегания, морфологии, внутреннего строения рудных тел, их сплошности, характера распределения основных компонентов, вещественного состава руд, а также контроля данных бурения, геофизических исследований и отбора технологических проб. На месторождениях с прерывистым распределением оруденения определяется степень рудонасыщенности, ее изменчивость, типичные формы и характерные размеры участков кондиционных руд для оценки возможности их селективной выемки.

Сплошность рудных тел и изменчивость оруденения по их простиранию и падению должны быть изучены в достаточном объеме на представительных участках:

по маломощным рудным телам непрерывным прослеживанием штреками и восстающими, а по мощным рудным телам типа минерализованных зон и штокверков – сгущением сети ортов, квершлагов и подземных горизонтальных скважин.

Одно из важнейших назначений горных выработок – установление степени избирательного истирания керна при бурении скважин с целью выяснения возможности использования данных скважинного опробования и результатов геофизических исследований для геологических построений и подсчета запасов. Горные выработки следует проходить на участках детализации, а также на горизонтах месторождения, намеченных к первоочередной отработке.

16. Расположение разведочных выработок и расстояния между ними должны быть определены для каждого структурно-морфологического типа рудных тел; при этом следует учитывать возможное столбообразное размещение обогащенных участков.

Приведенные в таблице 5 обобщенные сведения о плотности сетей, применявшихся при разведке месторождений бериллиевых руд в странах СНГ, могут учитываться при проектировании геологоразведочных работ, но их нельзя рассматривать как обязательные. Для каждого месторождения на основании изучения участков детализации и тщательного анализа всех имеющихся геологических, геофизических и эксплуатационных материалов по данному или аналогичным месторождениям обосновываются наиболее рациональные геометрия и плотность сети разведочных выработок.

17. Для подтверждения достоверности запасов отдельные участки месторождения должны быть разведаны более детально. Эти участки следует изучать и опробовать по более плотной разведочной сети по сравнению с принятой на остальной части месторождения. Запасы на таких участках и горизонтах месторождений 2-й группы должны быть разведаны по категории В, а на месторождениях 3-й группы сеть разведочных выработок на участках детализации целесообразно сгущать, как правило, не менее чем в 2 раза по сравнению с принятой для категории С<sub>1</sub>.

При использовании интерполяционных методов подсчета запасов (геостатистика, метод обратных расстояний и др.) на участках детализации необходимо обеспечить плотность разведочных пересечений, достаточную для обоснования оптимальных интерполяционных формул.

Участки детализации должны отражать особенности условий залегания и форму рудных тел, вмещающих основные запасы месторождения, а также преобладающее качество руд. По возможности они располагаются в контуре запасов, подлежащих первоочередной отработке. В тех случаях, когда такие участки не характерны для всего месторождения по особенностям геологического строения, качеству руд и горно-геологическим условиям, должны быть детально изучены также участки, удовлетворяющие этому требованию. Число и размеры участков детализации на разведанных месторождениях определяются в каждом отдельном случае недропользователем.

Для месторождений, оценка запасов которых производится без геометризации конкретных рудных тел, в обобщенном контуре, с использованием коэффициентов рудоносности, на основании определения пространственного положения, типичных форм и размеров участков кондиционных руд, а также распределения запасов по мощности рудных интервалов должна быть оценена возможность их селективной выемки.

Таблица 5

## Сведения о плотности сетей разведочных выработок, применявшихся при разведке месторождений бериллия в странах СНГ

Группа месторождений	Характеристика рудных тел	Виды выработок	Расстояния между пересечениями рудных тел выработками (в м) для категорий запасов			
			В		С <sub>1</sub>	
			по простиранию	по падению	по простиранию	по падению
2-я	Крупные штокверки и оруденелые зоны грейзенового типа или метасоматические залежи большой протяженности (более 1 км), значительной мощности, сложной морфологии или с неравномерным распределением оксида бериллия	Штреки	Непрерывное прослеживание	40–60	–	–
		Орты, рассечки, горизонтальные скважины	20–40	–	–	–
		Восстающие	80–120	Непрерывное прослеживание	–	–
		Скважины	40–50	40–50	40–80	40–80
3-я	Средние по размерам жило-, линзо- и столбообразные метасоматические залежи с непостоянной мощностью и неравномерным распределением оксида бериллия	Штреки	–	–	Непрерывное прослеживание	30–60
		Орты, рассечки, горизонтальные скважины	–	–	20–25	–
		Восстающие	–	–	60–80	Непрерывное прослеживание
		Скважины	–	–	25–50	25–50
4-я*	Жило- и линзообразные, иногда гнездо- и столбообразные тела небольших размеров с резко изменчивой мощностью или интенсивно нарушенным залеганием и весьма неравномерным распределением оксида бериллия (участки с высоким содержанием BeO перемежаются с безрудными)	Штреки	–	–	Непрерывное прослеживание	15–30
		Орты, рассечки, горизонтальные скважины	–	–	10–20	–
		Восстающие	–	–	Не менее одного пересечения по каждому телу	
		Скважины	–	–	12,5–25	12,5–25

\* Используются сведения о плотности разведочной сети для небольших рудных тел, характеризующихся исключительно сложным строением и прерывистым распределением полезного компонента.

П р и м е ч а н и е. На **оцененных месторождениях** разведочная сеть для категории С<sub>2</sub> по сравнению с сетью для категории С<sub>1</sub> разрезается в 2–4 раза в зависимости от сложности геологического строения месторождения.

Полученная на участках детализации информация используется для обоснования группы сложности месторождения, подтверждения соответствия принятой методики и выбранных технических средств разведки особенностям его геологического строения, оценки достоверности результатов опробования и подсчетных параметров, принятых при подсчете запасов на остальной части месторождения, и условий разработки месторождения в целом. На разрабатываемых месторождениях для этих целей используются результаты эксплуатационной разведки и разработки.

18. Все разведочные выработки и выходы рудных тел или зон на поверхность должны быть задокументированы. Результаты опробования выносятся на первичную документацию и сверяются с геологическим описанием.

Полнота и качество первичной документации, соответствие ее геологическим особенностям месторождения, а также правильность определения пространственного положения структурных элементов, составления зарисовок и их описаний должны контролироваться сличением с натурой специально назначенными комиссиями. Следует также оценивать качество опробования (выдержанность сечения и массы проб, соответствие их положения особенностям геологического строения участка, полноту и непрерывность отбора проб, наличие и результаты контрольного опробования), представительность минералого-технологических, инженерно-гидрогеологических исследований, качество определений объемной массы, обработки проб и аналитических работ.

19. Для изучения качества полезного ископаемого, оконтуривания рудных тел и подсчета запасов все рудные интервалы, вскрытые разведочными выработками или установленные в естественных обнажениях, должны быть опробованы.

20. Выбор методов (геологических, геофизических), способов опробования и применяемых технических средств разведки производится на ранних стадиях оценочных и разведочных работ, исходя из конкретных геологических особенностей месторождения и физических свойств полезного ископаемого и вмещающих пород.

Принятые метод и способ опробования должны обеспечивать наибольшую достоверность результатов при достаточной производительности и экономичности. В случае применения нескольких способов опробования они должны быть сопоставлены по точности результатов и достоверности.

Для сокращения нерациональных затрат труда и средств на отбор и обработку проб рекомендуется интервалы, подлежащие опробованию, предварительно наметить по данным каротажа или замерам ядерно-геофизическими, магнитным и другими методами.

На месторождениях бериллиевых руд обязательно применение гамма-нейтронных методов в качестве рядового опробования, что позволит оперативно получать данные о содержании бериллия в пробах\*.

При проведении опробования следует руководствоваться соответствующими нормативно-методическими документами.

21. Опробование разведочных сечений следует производить с соблюдением следующих обязательных условий:

сеть опробования должна быть выдержанной, плотность ее определяется геологическими особенностями изучаемых участков месторождения и обычно

---

\* Возможность использования результатов геофизического опробования для подсчета запасов, а также возможность внедрения в практику опробования новых геофизических методов и методик рассматривается экспертно-техническим советом (ЭТС) уполномоченного экспертного органа после их одобрения НСАМ или другими компетентными советами.



устанавливается, исходя из опыта разведки месторождений аналогов, а на новых объектах – экспериментальным путем; пробы необходимо отбирать в направлении максимальной изменчивости оруденения; в случае пересечения рудных тел разведочными выработками (в особенности скважинами) под острым углом к направлению максимальной изменчивости (если при этом возникают сомнения в представительности опробования) результаты опробования этих сечений должны быть подтверждены контрольными работами или сопоставлением и должна быть доказана возможность их использования в подсчете запасов;

опробование следует проводить непрерывно, на полную мощность рудного тела с выходом во вмещающие породы на величину, превышающую мощность пустого или некондиционного прослоя, включаемого в соответствии с условиями в промышленный контур: для рудных тел без видимых геологических границ – во всех разведочных выработках, а для рудных тел с четкими геологическими границами – по разреженной сети выработок; в канавах, шурфах, траншеях, кроме коренных выходов руд должны быть опробованы и продукты их выветривания;

природные разновидности руд и минерализованных пород должны опробоваться или интерпретироваться (по геофизическим данным) отдельно – секциями; длина каждой секции (рядовой пробы) определяется внутренним строением рудного тела, изменчивостью вещественного состава, текстурно-структурных особенностей, физико-механических и других свойств руд, а в скважинах также длиной рейса; длина пробы не должна превышать установленную условиями минимальную мощность для выделения типов или сортов руд, а также максимальную мощность внутренних пустых и некондиционных прослоев, включаемых в контур руд.

Способ отбора проб в буровых скважинах (керновый, шламовый) зависит от используемого вида и качества бурения. При этом интервалы с разным выходом керна (шлама) опробуются отдельно; при наличии избирательного истирания керна опробованию подвергается как керн, так и измельченные продукты бурения (шлам, пыль и др.); мелкие продукты отбираются в самостоятельную пробу с того же интервала, что и керновая проба, обрабатываются и анализируются отдельно. При небольшом диаметре бурения и весьма неравномерном распределении рудных минералов деление керна при опробовании не производится.

В горных выработках, пересекающих рудное тело на всю мощность, и в восстающих опробование должно проводиться по двум стенкам выработки; в выработках, пройденных по простиранию рудного тела, – в забоях. Расстояние между пробами в прослеживающих выработках обычно не превышает 1 м (увеличение шага опробования должно быть подтверждено экспериментальными данными). В горизонтальных горных выработках при крутом залегании рудных тел все пробы размещаются на постоянной, заранее определенной высоте. Принятые параметры проб должны быть обоснованы экспериментальными работами. Должны быть проведены работы по изучению возможного выкрашивания бериллийсодержащих минералов при принятом для горных выработок способе опробования.

Результаты геологического и геофизического опробования скважин и горных выработок следует использовать в качестве основы для оценки неравномерности оруденения в естественном залегании и прогнозирования показателей радиометрического обогащения. При этом для прогнозирования результатов крупнопорционной сортировки целесообразно принять постоянным шаг опробования при длине каждой секции (рядовой пробы), кратной 1 м. Показатели радиометрической сепарации прогнозируются по результатам дифференциальной интерпретации

геофизических данных при линейных размерах пробы, соответствующих куску максимальной крупности 100–200 мм. Оценка контрастности оруденения выполняется в соответствии с соответствующими методическими документами.

22. Качество опробования по каждому принятому методу, способу и по основным разновидностям руд необходимо систематически контролировать, оценивая точность и достоверность результатов. Следует своевременно проверять положение проб относительно элементов геологического строения, надежность оконтуривания рудных тел по мощности, выдержанность принятых параметров проб и соответствие фактической массы пробы расчетной, исходя из принятого сечения борозды или фактического диаметра и выхода керна (отклонения не должны превышать  $\pm 10\text{--}20\%$  с учетом изменчивости плотности руды).

Точность бороздового опробования следует контролировать сопряженными бороздами того же сечения, кернового опробования – отбором проб из вторых половинок керна.

При геофизическом опробовании в естественном залегании контролируются стабильность работы аппаратуры и воспроизводимость метода при одинаковых условиях рядовых и контрольных измерений. Достоверность геофизического опробования определяется сопоставлением данных геологического и геофизического опробования по опорным интервалам с высоким выходом керна, для которого доказано отсутствие его избирательного истирания.

При выявлении недостатков, влияющих на точность опробования, следует производить переопробование (или повторный каротаж) рудного интервала.

Достоверность принятых методов и способов опробования контролируется более представительным способом, как правило валовым, соответствующими методическими документами. Для этой цели также необходимо использовать данные технологических проб, валовых проб, отобранных для определения объемной массы в целиках, и результаты отработки месторождения.

Объем контрольного опробования должен быть достаточным для статистической обработки результатов и обоснованных выводов об отсутствии или наличии систематических ошибок, а в случае необходимости – и для введения поправочных коэффициентов.

23. Обработка проб производится по схемам, разработанным для каждого месторождения или принятым по аналогии с однотипными месторождениями. Обработка основных и контрольных проб ведется по одной схеме.

Качество обработки должно систематически контролироваться по всем операциям в части обоснованности коэффициента  $K$  и соблюдения схемы обработки. При обработке проб с резко различающимися содержаниями рудных минералов необходимо регулярно контролировать чистоту поверхностей дробильного оборудования.

Обработка контрольных крупнообъемных проб производится по специально составленным программам.

24. Химический состав руд должен изучаться с полнотой, обеспечивающей выявление всех основных, попутных полезных компонентов и вредных примесей. Содержания их в руде определяются анализами проб химическими, спектральными, физическими или другими методами, установленными государственными стандартами или утвержденными Научным советом по аналитическим методам (НСАМ) и Научным советом по методам минералогических исследований (НСОММИ).

Изучение в рудах попутных компонентов производится в соответствии с «Рекомендациями по комплексному изучению месторождений и подсчету запасов попутных полезных ископаемых и компонентов», утвержденными МПР России в установленном порядке.

Все рядовые пробы, как правило, анализируются на оксид бериллия, а также на компоненты, содержание которых учитывается при оконтуривании рудных тел по мощности (флюорит и др.). Другие полезные компоненты в собственно бериллиевых месторождениях (тантал, ниобий, литий, олово, вольфрам и др.) и вредные примеси (фосфор, мышьяк и др.) определяются обычно по групповым пробам.

Порядок объединения рядовых проб в групповые, их размещение и общее количество должны обеспечивать равномерное опробование основных разновидностей руд на попутные компоненты и вредные примеси и выяснение закономерностей изменения их содержаний по простиранию и падению рудных тел.

Для выяснения степени изменения первичных руд и установления границы коры выветривания должны выполняться фазовые анализы в соответствии с методическими основами фазового анализа минерального сырья.

25. Качество анализов проб необходимо систематически проверять, а результаты своевременно обрабатывать в соответствии с методическими указаниями НСАМ и НСОММИ, руководствуясь ОСТ 41-08-272–04 «Управление качеством аналитических работ. Методы геологического контроля качества аналитических работ», утвержденным ВИМС<sup>1</sup> (протокол № 88 от 16 ноября 2004 г.). Геологический контроль анализов проб следует осуществлять независимо от лабораторного контроля в течение всего периода разведки месторождения. Контролю подлежат результаты анализов на все основные, попутные компоненты и вредные примеси.

26. Для определения величин случайных погрешностей необходимо проводить внутренний контроль путем анализа зашифрованных контрольных проб, отобранных из дубликатов аналитических проб, в той же лаборатории, которая выполняет основные анализы, не позднее следующего квартала. Для выявления и оценки возможных систематических погрешностей должен осуществляться внешний контроль в лаборатории, имеющей статус контрольной. На внешний контроль направляются дубликаты аналитических проб, хранящиеся в основной лаборатории и прошедшие внутренний контроль. При наличии стандартных образцов состава (СОС), аналогичных исследуемым пробам, внешний контроль следует осуществлять, включая их в зашифрованном виде в партию проб, которые сдаются на анализ в основную лабораторию.

Пробы, направляемые на внутренний и внешний контроль, должны характеризовать все разновидности руд месторождения и классы содержаний. В обязательном порядке на внутренний контроль направляются все пробы, показавшие аномально высокие содержания анализируемых компонентов.

27. Объем внутреннего и внешнего контроля должен обеспечить представительность выборки по каждому классу содержаний и периоду выполнения анализов (квартал, полугодие, год).

При выделении классов следует учитывать параметры кондиций, в частности бортовое и минимальное промышленное содержание полезных компонентов. При большом числе анализируемых проб (2000 и более в год) на контрольные анализы направляется 5 % от их общего количества; при меньшем числе проб по каждому

---

<sup>1</sup> Федеральный научно-методический центр лабораторных исследований и сертификации минерального сырья «ВИМС» МПР России (ФНМЦ ВИМС)

выделенному классу содержаний должно быть выполнено не менее 30 контрольных анализов за контролируемый период.

28. Обработка данных внешнего и внутреннего контроля по каждому классу содержаний производится по периодам (квартал, полугодие, год), отдельно по каждому методу анализа и лаборатории, выполняющей основные анализы. Оценка систематических расхождений по результатам анализа СОС выполняется в соответствии с методическими указаниями НСАМ по статистической обработке аналитических данных.

Относительная среднеквадратическая погрешность, определенная по результатам внутреннего контроля, не должна превышать значений, указанных в табл. 6. В противном случае результаты основных анализов для данного класса содержаний и периода работы лаборатории бракуются и все пробы подлежат повторному анализу с выполнением внутреннего геологического контроля. Одновременно основной лабораторией должны быть выяснены причины брака и приняты меры по его устранению.

29. При выявлении по данным внешнего контроля систематических расхождений между результатами анализов основной и контролирующей лабораторий проводится арбитражный контроль. Этот контроль выполняется в лаборатории, имеющей статус арбитражной. На арбитражный контроль направляются хранящиеся в лаборатории аналитические дубликаты рядовых проб (в исключительных случаях – остатки аналитических проб), по которым имеются результаты рядовых и внешних контрольных анализов. Контролю подлежат 30–40 проб по каждому классу содержаний, по которому выявлены систематические расхождения. При наличии СОС, аналогичных исследуемым пробам, их также следует включать в зашифрованном виде в партию проб, сдаваемых на арбитраж. Для каждого СОС должно быть получено 10–15 результатов контрольных анализов.

При подтверждении арбитражным анализом систематических расхождений следует выяснить их причины, разработать мероприятия по устранению недостатков в работе основной лаборатории, а также решить вопрос о необходимости повторного анализа всех проб данного класса и периода работы основной лаборатории или о введении в результаты основных анализов соответствующего поправочного коэффициента. Без арбитражного анализа введение поправочных коэффициентов не допускается.

30. По результатам выполненного контроля опробования – отбора, обработки проб и анализов – должна быть оценена возможная погрешность выделения рудных интервалов и определения их параметров.

**Предельно допустимые относительные среднеквадратические погрешности анализов по классам содержаний**

Компонент	Класс содержаний компонентов в руде*, %	Предельно допустимая относительная среднеквадратическая погрешность, %	Компонент	Класс содержаний компонентов в руде*, %	Предельно допустимая относительная среднеквадратическая погрешность, %
BeO	>10	2,5	Bi	0,2–0,6	11
	5–10	3,0		0,05–0,2	15
	1–5	5,5		0,02–0,05	20
	0,5–1	7,0		0,005–0,02	30
	0,2–0,5	10	Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,02–0,05	22
	0,1–0,2	12		0,01– 0,02	25
	0,05–0,1	15		0,005–0,01	30
	0,02–0,05	20		<0,005	30
CaF <sub>2</sub>	>50	2,5	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,1–0,2	16
	20–50	3,0		0,05–0,1	20
	10–20	5,0		0,02–0,05	23
	2–10	10		<0,02	30
	0,5–2	17	ΣTR <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,1–0,2	20
WO <sub>3</sub>	0,5–1	9		0,05–0,1	25
	0,2–0,5	12		0,02–0,05	30
	0,1–0,2	16		0,005–0,02	30
	0,05–0,1	18	Li <sub>2</sub> O	0,1–0,2	17
	0,02–0,05	25		0,05–0,1	22
Sn	0,5–1	7,5		0,01–0,05	30
	0,2–0,5	10	U	0,03–0,1	6,5
	0,1–0,2	15		0,01–0,03	8,0
	0,05–0,1	20		0,01<0,01	15
	0,025–0,05	25	Th	0,03–0,1	8,5
Zn	0,5–2	11		0,01–0,03	10
	0,2–0,5	13		<0,01	20
	0,1–0,2	17	Mo	0,2–0,5	8,5
	0,02–0,1	22		0,1–0,2	13
		0,05–0,1		18	
		0,02–0,05		23	

\* Если выделенные на месторождении классы содержаний отличаются от указанных, то предельно допустимые относительные среднеквадратические погрешности определяются интерполяцией,

31. Минеральный состав руд, их текстурно-структурные особенности и физические свойства должны быть изучены с применением минералогическими, петрографическими, физическими, химическими и другими видами анализа по методикам, утвержденным научными советами по минералогическим и аналитическим методам исследования (НСОММИ, НСАМ). При этом наряду с описанием отдельных минералов производится также количественная оценка их распространенности.

Особое внимание уделяется бериллийсодержащим рудным и жильным минералам, определению их количества и химического состава, выяснению их взаимоотношений между собой и с другими минералами (наличие и размеры сростков, характер срастания), размеров зерен и их распределения по крупности.

В процессе минералогических исследований должно быть изучено распределение основных, попутных компонентов и вредных примесей и составлен их баланс по формам минеральных соединений, а также вычислено теоретически возможное извлечение оксида бериллия.

32. Объемная масса и влажность руды входят в число основных параметров, используемых при подсчете запасов месторождений, их определение необходимо производить для каждой выделенной природной разновидности руд и внутренних безрудных и некондиционных прослоев.

Объемная масса плотных руд определяется по представительным непарафинированным образцам. Объемная масса рыхлых, сильно трещиноватых и кавернозных руд, как правило, определяется в целиках. Определение объемной массы может производиться также методом поглощения рассеянного гамма-излучения при наличии необходимого объема заверочных работ. Одновременно с объемной массой на том же материале определяется влажность руд. Образцы и пробы для определения объемной массы и влажности должны быть охарактеризованы минералогически и проанализированы на основные компоненты. Достоверность определения объемной массы по образцам должна быть подтверждена методом выемки целиков или исследованиями целиков геофизическими методами.

33. В результате изучения химического и минерального состава, текстурно-структурных особенностей и физических свойств руд устанавливаются их природные разновидности и предварительно намечаются промышленные (технологические) типы, требующие селективной добычи и отдельной переработки.

Окончательное выделение промышленных (технологических) типов и сортов руд производится по результатам технологического изучения выявленных на месторождении природных разновидностей.

#### **IV. Изучение технологических свойств руд**

34. Технологические свойства руд, как правило, изучаются в лабораторных и полупромышленных условиях на минералого-технологических, малых технологических, лабораторных, укрупненно-лабораторных и полупромышленных пробах. При имеющемся опыте промышленной переработки для легкообогатимых руд допускается использование аналогии, подтвержденной результатами лабораторных исследований. Для труднообогатимых или новых типов руд, опыт переработки которых отсутствует, технологические исследования руд и, в случае необходимости, продуктов их обогащения должны проводиться по специальным программам, согласованным с возможными потребителями и заинтересованными организациями.

Отбор проб для технологических исследований в процессе геологоразведочных работ следует выполнять в соответствии со стандартом Российского геологического общества – СТО РосГео 09-001–98 «Твердые полезные ископаемые и горные породы. Технологическое опробование в процессе геологоразведочных работ», утвержденным и введенным в действие Постановлением Президиума Исполнительного комитета Всероссийского геологического общества (от 28 декабря 1998 г. №17/6).

35. Для выделения технологических типов и сортов руд проводится геолого-технологическое картирование, при котором сеть опробования выбирается в зависимости от числа и частоты перемежаемости природных разновидностей руд. При этом рекомендуется руководствоваться стандартом Российского геологического общества – СТО РосГео 09-002–98 «Твердые полезные ископаемые и горные породы.

Геолого-технологическое картирование», утвержденным и введенным в действие Постановлением Президиума Исполнительного комитета Всероссийского геологического общества (от 28 декабря 1998 г. №17/6).

Минералого-технологическими и малыми технологическими пробами, отобранными по определенной сети, должны быть охарактеризованы все природные разновидности руд, выявленные на месторождении. По результатам их испытаний проводится обоснованная геолого-технологическая типизация руд месторождения с выделением промышленных (технологических) типов и сортов, изучается пространственная изменчивость вещественного состава, физико-механических и технологических свойств руд в пределах выделенных промышленных (технологических) типов и составляются геолого-технологические карты, планы и разрезы.

На лабораторных и укрупненно-лабораторных пробах должны быть изучены технологические свойства всех выделенных промышленных (технологических) типов руд в степени, необходимой для выбора оптимальной технологической схемы их переработки и определения основных технологических показателей обогащения и качества получаемой продукции. При этом важно определить оптимальную степень измельчения руд, которая обеспечит максимальное вскрытие ценных минералов при минимальном ошламовании и сбросе их в хвосты.

Полупромышленные технологические пробы служат для проверки технологических схем и уточнения показателей обогащения руд, полученных на лабораторных пробах.

Полупромышленные испытания проводятся в соответствии с программой, разработанной организацией, выполняющей технологические исследования, совместно с недروпользователем и согласованной с проектной организацией. Отбор проб производится по специальному проекту.

Укрупненно-лабораторные и полупромышленные технологические пробы должны быть представительными, т.е. отвечать по химическому и минеральному составу, структурно-текстурным особенностям, физическим и другим свойствам среднему составу руд данного промышленного (технологического) типа с учетом возможного разубоживания рудовмещающими породами.

36. В результате исследований технологические свойства руд должны быть изучены с детальностью, обеспечивающей получение исходных данных, достаточных для проектирования технологической схемы их переработки с комплексным извлечением содержащихся в них компонентов, имеющих промышленное значение.

Промышленные (технологические) типы и сорта руд должны быть охарактеризованы по соответствующим предусмотренным кондициям показателей; должны быть определены основные технологические параметры обогащения (выход концентратов, их характеристика, извлечение ценных компонентов в отдельных операциях, сквозное извлечение и др.).

Достоверность данных, полученных в результате полупромышленных испытаний, оценивают на основе технологического и товарного баланса. Разница в массе металла между этими балансами не должна превышать 10 %, и она должна быть распределена пропорционально массе металла в концентратах и хвостах. Показатели переработки сравнивают с показателями, получаемыми на современных обогатительных фабриках и горно-металлургических заводах по переработке бериллиевых руд.

Для попутных компонентов в соответствии с «Рекомендациями по комплексному изучению месторождений и подсчету запасов попутных полезных ископаемых и

компонентов», утвержденными МПР России в установленном порядке, необходимо выяснить формы нахождения и составить товарный баланс их распределения в продуктах обогащения и передела концентратов, а также установить условия, возможность и экономическую целесообразность их извлечения.

Должна быть изучена возможность использования оборотных вод и отходов, получаемых при рекомендуемой технологической схеме переработки минерального сырья, даны рекомендации по очистке промстоков.

37. В процессе технологических исследований целесообразно изучить возможность предобогащения и (или) разделения на сорта добытой руды с использованием крупнопорционной сортировки горнорудной массы в транспортных емкостях, а для руд с высоким выходом кусковой фракции ( $-200 +20$  мм) – возможность их радиометрической сепарации.

При положительных результатах исследований по предобогащению следует уточнить промышленные (технологические) типы руд, требующие селективной добычи, или подтвердить возможность валовой выемки рудной массы. Дальнейшие исследования способов глубокого обогащения руд проводятся с учетом возможностей и экономической эффективности включения в общую технологическую схему стадии предобогащения.

38. Технологические свойства бериллиевых руд зависят от размеров вкрапленности бериллиевых минералов, минеральной формы бериллия, содержания  $\text{BeO}$ , наличия попутных компонентов в рудах и вещественного состава рудной массы.

39. По размеру вкрапленности бериллиевых минералов руды делятся на крупно-, средне-, мелкокристаллические и тонкодисперсные.

Крупнокристаллические руды могут обогащаться путем ручной или механической рудосортировки.

Для обогащения средне-, мелкокристаллических руд применяется флотация. Комплексные руды этого типа (вольфрамит-молибденит-берилловые, сподумен-берилловые, флюорит-касситерит-фенакитовые, флюорит-бертрандит-фенакитовые, хризоберилловые, гельвиновые и гентгельвиновые) могут обогащаться при сочетании флотационных, гравитационных и других методов.

Для тонкодисперсных руд механическое обогащение неприемлемо, для получения кондиционных продуктов руды перерабатываются комплексными химико-металлургическими методами.

В качестве предварительного обогащения для бериллиевых и флюорит-бериллиевых руд следует рассмотреть возможность использования фотонейтронной сепарации по бериллию и рентгенолюминесцентной сепарации по флюориту. Предварительное обогащение этими методами, возможно, позволит существенно (на 25–40 %) сократить массу руды, направляемой для дальнейшего более глубокого обогащения.

40. По минеральной форме бериллия и сопутствующим минералам бериллиевые руды весьма разнообразны: выделяются берилловые, бертрандитовые, фенакитовые, гентгельвиновые, хризоберилловые, лейкофановые и смешанной минерализации, в которых бериллий представлен несколькими бериллиевыми минералами.

41. По составу полезных минералов различаются: простые бериллиевые руды, содержащие один полезный компонент, и комплексные, содержащие кроме бериллиевых минералов другие полезные компоненты в промышленных количествах.

42. Для контрастных по содержанию  $\text{BeO}$  бериллиевых руд весьма эффективно применение предварительного обогащения методом фотонейтронной сепарации,



позволяющей отсортировать из добываемой горной массы значительную часть пустых пород и некондиционных руд.

43. В настоящее время основным методом обогащения бериллиевых руд является флотация – селективная и коллективная по кислотной или щелочной схеме. В кислотных схемах применяется обработка руды плавиковой кислотой. Щелочные схемы известны в двух вариантах – с активацией бериллиевых минералов едким натром или с активацией железом. По флотируемости бериллиевые минералы разделяются на две группы: I – берилл, лейкофан, хризоберилл, гентгельвин; II – фенакит и бертрандит.

44. Получаемые концентраты различаются по качеству. В соответствии с существующим отраслевым стандартом бериллиевые флотационные концентраты подразделяются по содержанию BeO на четыре сорта: высший – 10 %; I – 8 %; II – 5 %; III – 3 %.

45. Промышленная переработка бериллиевых концентратов на товарный гидроксид бериллия и на металл осуществляется сульфатным или фторидным методом. Выбор метода и технико-экономические показатели переработки зависят от содержаний бериллия, его минеральной формы и вещественного состава концентрата, что, в свою очередь, определяется составом руд и способом их обогащения.

Качество концентратов должно в каждом конкретном случае регламентироваться договором между поставщиком (рудником) и металлургическим предприятием или должно соответствовать существующим стандартам и техническим условиям. Для некондиционных концентратов должны быть проведены исследования по химико-металлургической переработке их с получением продуктов, непосредственно используемых промышленностью или пригодных для дальнейшей переработки обычными методами.

## **V. Изучение гидрогеологических, инженерно-геологических, экологических и других природных условий месторождения**

46. Гидрогеологическими исследованиями должны быть изучены основные водоносные горизонты, которые могут участвовать в обводнении месторождения, выявлены наиболее обводненные участки и зоны и решены вопросы использования или сброса рудничных вод.

По каждому водоносному горизонту следует установить его мощность, литологический состав, типы коллекторов, условия питания, взаимосвязь с другими водоносными горизонтами и поверхностными водами, положение уровней подземных вод и другие параметры; определить возможные водопритоки в эксплуатационные горные выработки, проходка которых предусмотрена в технико-экономическом обосновании (ТЭО) кондиций, и разработать рекомендации по защите их от подземных вод. Необходимо также:

изучить химический состав и бактериологическое состояние вод, участвующих в обводнении месторождения, их агрессивность по отношению к бетону, металлам, полимерам, содержание в них полезных и вредных примесей (по разрабатываемым месторождениям – привести химический состав рудничных вод и промстоков);

оценить возможность использования дренажных вод для водоснабжения или извлечения из них ценных компонентов, а также возможное влияние их дренажа на действующие в районе месторождения подземные водозаборы;

дать рекомендации по проведению в последующем необходимых специальных изыскательских работ, оценить влияние сброса рудничных вод на окружающую среду;

оценить возможные источники хозяйственно-питьевого и технического водоснабжения, обеспечивающие потребность будущих предприятий по добыче и переработке минерального сырья.

Утилизация дренажных вод предполагает подсчет эксплуатационных запасов. Подсчет эксплуатационных запасов дренажных вод производится, руководствуясь соответствующими методическими документами.

По результатам гидрогеологических исследований должны быть даны рекомендации к проектированию рудника по способам осушения геологического массива, водоотводу, утилизации дренажных вод, источникам водоснабжения, природоохранным мерам.

47. Проведение инженерно-геологических исследований на месторождениях при разведке необходимо для информационного обеспечения проекта разработки (расчета основных параметров карьера, подземных выработок и целиков, типовых паспортов буровзрывных работ и крепления) и повышения безопасности ведения горных работ.

Инженерно-геологические исследования на месторождении необходимо проводить в соответствии с Методическим руководством по изучению инженерно-геологических условий рудных месторождений при разведке, рассмотренным и одобренным Департаментом геологии и использования недр Министерства природных ресурсов Российской Федерации (протокол №7 от 4 сентября 2000 г.) и методическими рекомендациями: «Инженерно-геологические, гидрогеологические и геоэкологические исследования при разведке и эксплуатации рудных месторождений», рассмотренными и одобренными Управлением ресурсов подземных вод, геоэкологии и мониторинга геологической среды Министерства природных ресурсов Российской Федерации (протокол №5 от 12 апреля 2002 г.).

Инженерно-геологическими исследованиями должны быть изучены: физико-механические свойства руд, рудовмещающих пород и перекрывающих отложений, определяющие характеристику их прочности в естественном и водонасыщенном состояниях; инженерно-геологические особенности массива пород месторождения и их анизотропия, состав пород, их трещиноватость, тектоническая нарушенность, текстурные особенности, закарстованность, разрушенность в зоне выветривания; охарактеризованы современные геологические процессы, которые могут осложнить разработку месторождения.

В районах с развитием многолетнемерзлых пород следует установить их температурный режим, положение верхней и нижней границ мерзлотной толщи, контуры и глубины распространения таликов, характер изменения физических свойств пород при оттаивании, глубину слоя сезонного оттаивания и промерзания.

В результате инженерно-геологических исследований должны быть получены материалы по прогнозной оценке устойчивости пород в кровле подземных горных выработок, бортах карьера и для расчета основных параметров карьера.

При наличии в районе месторождения действующих шахт или карьеров, расположенных в аналогичных гидрогеологических и инженерно-геологических условиях, для характеристики разведываемой площади следует использовать данные о степени обводненности и инженерно-геологических условиях этих шахт и карьеров.

48. Разработка месторождений бериллиевого сырья производится открытым, подземным и комбинированным способами. При комбинированном способе границу отработки открытым способом устанавливают при помощи предельного коэффициента вскрыши, исходя из равенства себестоимости добычи полезного ископаемого тем и другим способом. Применяемые способы разработки зависят от горно-геологических

условий залегания рудных тел, принятых горно-технических показателей, схем добычи руды и обосновываются в ТЭО разведочных кондиций.

49. Руды бериллиевых месторождений, как собственных, так и комплексных, содержат большой перечень химических элементов, экологически вредных и высокотоксичных, таких как Be, F, As и другие, в связи с чем геоэкологические исследования являются неотъемлемой частью работ при разведке месторождений.

Экологическими исследованиями должны быть установлены фоновые параметры состояния окружающей среды (уровень радиации, качество поверхностных и подземных вод и воздуха, характеристика почвенного покрова, растительного и животного мира и т.д.); определены предполагаемые виды химического и физического воздействия намечаемого к строительству объекта на окружающую природную среду (запыление прилегающих территорий, загрязнение поверхностных и подземных вод, почв рудничными водами и промстоками, воздуха выбросами в атмосферу и т.д.), объемы изъятия для нужд производства природных ресурсов (лесных массивов, воды на технические нужды, земель для размещения основных и вспомогательных производств, отвалов вскрышных и вмещающих горных пород, некондиционных руд и т.д.); оценены характер, интенсивность, степень и опасность воздействия, продолжительность и динамика функционирования источников загрязнения и границы зон их влияния.

Для решения вопросов, связанных с рекультивацией земель, следует определить мощность почвенного покрова и произвести агрохимические исследования рыхлых отложений, а также выяснить степень токсичности пород вскрыши и возможность образования на них растительного покрова. Должны быть даны рекомендации по разработке мероприятий по охране недр, предотвращению загрязнения окружающей среды и рекультивации земель.

50. Гидрогеологические, инженерно-геологические, геокриологические, горно-геологические и другие природные условия должны быть изучены с детальностью, обеспечивающей получение исходных данных, необходимых для составления проекта разработки месторождения. При особо сложных природных условиях разработки, требующих постановки специальных работ, объемы, сроки и порядок проведения исследований согласовываются с недропользователями и проектными организациями.

51. По районам новых месторождений необходимо указать площади с отсутствием залежей полезных ископаемых для размещения объектов производственного и жилищно-гражданского назначения, хвостохранилища и отвалов пустых пород. Приводятся данные о наличии местных строительных материалов и возможности использования в этом качестве вскрышных или вмещающих пород.

52. Для месторождений, где установлена природная газоносность отложений (метан, сероводород и др.), должны быть изучены закономерности изменения содержания и состава газов по площади и с глубиной.

53. Следует определить факторы, отрицательно влияющие на здоровье человека (пневмокониозоопасность, повышенная радиоактивность, геотермические условия и др.).

54. Другие полезные ископаемые, образующие во вмещающих и перекрывающих породах самостоятельные залежи, должны быть изучены в степени, позволяющей определить их промышленную ценность и область возможного использования в соответствии с «Рекомендациями по комплексному изучению месторождений и подсчету запасов попутных полезных ископаемых и компонентов», утвержденными МПР России в установленном порядке.

## VI. Подсчет запасов

55. Подсчет и квалификация по степени разведанности запасов месторождений бериллиевых руд производится в соответствии с требованиями «Классификации запасов месторождений и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых», утвержденной приказом МПР России от 11 декабря 2006 г. № 278.

56. Запасы подсчитываются по подсчетным блокам, запасы руды в которых не должны превышать, как правило, годовую производительность будущего горного предприятия. Участки рудных тел, выделяемые в подсчетные блоки, должны характеризоваться:

одинаковой степенью разведанности и изученности параметров, определяющих количество запасов и качество руд;

однородностью геологического строения, примерно одинаковой степенью изменчивости мощности, внутреннего строения рудных тел, вещественного состава, основных показателей качества и технологических свойств руды;

выдержанностью условий залегания рудных тел, определенной приуроченностью блока к единому структурному элементу (крылу, замковой части складки, тектоническому блоку, ограниченному разрывными нарушениями);

общностью горнотехнических условий разработки;

По падению рудных тел подсчетные блоки следует разделять горизонтами горных работ или скважин с учетом намечаемой последовательности отработки запасов.

При невозможности геометризации и оконтуривания рудных тел или промышленных (технологических) типов и сортов руд количество и качество балансовых и забалансовых руд (и их промышленных типов) в подсчетном блоке определяется статистически.

57. При подсчете запасов должны учитываться следующие дополнительные условия, отражающие специфику месторождений бериллиевых руд.

Запасы категории А подсчитываются только на разрабатываемых месторождениях по данным эксплуатационной разведки и горно-подготовительных выработок. К ним относятся запасы подготовленных или готовых к выемке блоков, отвечающие по степени разведанности требованиям Классификации к этой категории.

Запасы категории В при разведке подсчитываются только на месторождениях 2-й группы. К ним относятся запасы, выделенные на участках детализации или в пределах других частей рудных тел, степень разведанности которых соответствует требованиям Классификации к этой категории.

Контур запасов категории В должен быть проведен по разведочным выработкам без экстраполяции, а основные геологические характеристики рудных тел и качество руды в пределах этого контура определены по достаточному объему представительных данных. При невозможности геометризации количество и качество промышленных типов руд в блоке определяется статистически.

На месторождениях, где объем руды определяется с использованием коэффициента рудоносности, к категории В могут быть отнесены блоки, в пределах которых коэффициент рудоносности выше, чем средний по месторождению. Должны быть установлены изменчивость рудонасыщенности в плане и на глубину, закономерности пространственного положения, типичные формы и характерные размеры участков кондиционных руд в степени, позволяющей дать оценку возможности их селективной выемки.

На разрабатываемых месторождениях запасы категории В подсчитываются по данным дополнительной разведки, эксплуатационной разведки и горно-подготовительных выработок в соответствии с требованиями Классификации к данной категории.

К категории  $C_1$  относятся запасы на участках месторождений, в пределах которых выдержана принятая для этой категории сеть разведочных выработок, а достоверность полученной при этом информации подтверждена результатами, полученными на участках детализации, или данными эксплуатации на разрабатываемых месторождениях. При невозможности геометризации рудных тел количество и качество балансовых и забалансовых запасов и промышленных типов руд в подсчетном блоке определяется статистически.

Контуры запасов категории  $C_1$ , как правило, определяются по разведочным выработкам, а для наиболее выдержанных и крупных рудных тел – геологически обоснованной ограниченной экстраполяцией, учитывающей изменение морфоструктурных особенностей, мощностей рудных тел и качество руд.

Запасы категории  $C_2$  подсчитываются по конкретным рудным телам (а при невозможности их геометризации – статистически в обобщенном контуре) границы которых определены по геологическим и геофизическим данным и подтверждены скважинами, встретившими промышленные руды, а также путем экстраполяции по простиранию и падению от разведанных запасов более высоких категорий при наличии подтверждающих экстраполяцию единичных пересечений, результатов геофизических работ, геолого-структурных построений и установленных изменений мощностей рудных тел и содержаний бериллия.

58. Запасы подсчитываются раздельно по категориям разведанности, способам отработки (карьерными, штольневые горизонты, шахтами), промышленным (технологическим) типам и сортам руд и их экономическому значению (балансовые, забалансовые).

При разделении запасов полезных ископаемых по категориям в качестве дополнительного классификационного показателя могут использоваться количественные и вероятностные оценки точности и достоверности определения основных подсчетных параметров. Соотношение различных промышленных типов и сортов руд при невозможности их оконтуривания определяется статистически.

Забалансовые (потенциально-экономические) запасы подсчитываются и учитываются в том случае, если в ТЭО кондиций доказана возможность их сохранности в недрах для последующего извлечения или целесообразность попутного извлечения, складирования и сохранения для использования в будущем. При подсчете забалансовых запасов производится их подразделение в зависимости от причин отнесения запасов к забалансовым (экономических, технологических, гидрогеологических, экологических и др.).

Балансовые и забалансовые запасы руды подсчитываются без учета влажности (сухая руда) с указанием влажности сырой руды. Для влагоемких, пористых руд производится также подсчет запасов сырой руды.

59. При подсчете запасов традиционными методами (геологических блоков, разрезов и др.) должны быть выявлены пробы с аномально высоким содержанием бериллия («ураганные» пробы), проанализировано их влияние на величину среднего содержания по разведочным сечениям и подсчетным блокам и при необходимости ограничено их влияние. Части рудных тел с высоким содержанием и увеличенной

мощностью следует выделять в самостоятельные подсчетные блоки и более детально разведывать.

На разрабатываемых месторождениях для определения уровня «ураганных» значений и методики их замены следует использовать результаты сопоставления данных разведки и эксплуатации (в том числе особенности изменения распределения проб по классам содержаний бериллия по данным сгущения разведочной сети).

60. На разрабатываемых месторождениях вскрытые, подготовленные и готовые к выемке, а также находящиеся в охранных целиках горно-капитальных и горно-подготовительных выработок запасы руд подсчитываются отдельно с подразделением по категориям в соответствии со степенью их изученности.

61. Запасы руд, заключенные в охранных целиках крупных водоемов и водотоков, населенных пунктов, капитальных сооружений и сельскохозяйственных объектов, заповедников, памятников природы, истории и культуры, относятся к балансовым или забалансовым в соответствии с утвержденными кондициями.

62. На разрабатываемых месторождениях для контроля за полнотой отработки ранее утвержденных запасов и обоснования достоверности подсчитанных новых запасов необходимо производить сопоставление данных разведки и эксплуатации по запасам, условиям залегания, морфологии, мощности, внутреннему строению рудных тел, содержанию полезных компонентов в соответствии с «Методическими рекомендациями по сопоставлению данных разведки и разработки месторождений твердых полезных ископаемых», утвержденными МПР России в установленном порядке.

В материалах сопоставления должны быть приведены контуры ранее утвержденных органами госэкспертизы и погашенных запасов (в том числе добытых и оставшихся в целиках), списанных как неподтвердившихся, контуры площадей приращиваемых запасов, а также сведения о запасах, числящихся на государственном балансе (в том числе – об остатке запасов, ранее утвержденных уполномоченным экспертным органом); представлены таблицы движения запасов (по категориям, рудным телам и месторождению в целом) и баланс руды с характеристикой ее качества в контуре погашенных запасов, отражающий изменение утвержденных уполномоченным экспертным органом запасов при доразведке, потери при добыче и транспортировке, выход товарной продукции и потери при переработке руд. Результаты сопоставления сопровождаются графикой, иллюстрирующей изменение представлений о горно-геологических условиях месторождения.

Если данные разведки в целом подтверждаются разработкой или имеющиеся незначительные расхождения не влияют на технико-экономические показатели горнодобывающего предприятия, для сопоставления данных разведки и разработки могут быть использованы результаты геолого-маркшейдерского учета.

По месторождению, на котором по мнению недропользователя утвержденные уполномоченным экспертным органом запасы или качество руд не подтвердились при разработке или необходимо введение поправочных коэффициентов в ранее утвержденные параметры или запасы, обязательным является выполнение специального подсчета запасов по данным доразведки и эксплуатационной разведки и оценка достоверности результатов, полученных при проведении этих работ.

При анализе результатов сопоставления необходимо установить величины изменений при разработке или доразведке утвержденных уполномоченным экспертным органом подсчетных параметров (площадей подсчета, мощностей рудных тел, коэффициентов рудоносности, содержаний полезных компонентов, объемных масс и т.д.), запасов и качества руд, а также выяснить причины этих изменений.

63. В последние годы при подсчете запасов рудных месторождений находит применение метод геостатистического моделирования, позволяющий использовать процедуру крайгинга для исследования закономерностей пространственного распределения изучаемых признаков (концентраций полезного компонента, мощностей рудных пересечений, метропроцентов) и их оценивания с установлением амплитуды возможных ошибок.

Эффективность применения крайгинга в значительной степени обусловлена количеством и качеством исходной разведочной информации, методологией анализа первичных данных и моделирования, отвечающей индивидуальным геологическим особенностям строения разведываемого месторождения (законам распределения подсчетных параметров, характеру тренда и анизотропии, влиянию структурных границ, структуре и качеству экспериментальных вариограмм, параметрам поискового эллипсоида и др.). При использовании процедуры крайгинга количество и плотность разведочных пересечений должны быть достаточными для обоснования оптимальных интерполяционных формул (для двумерного моделирования – не менее нескольких десятков разведочных пересечений, для трехмерного – не менее первых сотен проб). Изучение свойств пространственных переменных рекомендуется производить на участках детализации.

Вычисление вариограмм производится на основе данных опробования по сквозным рудным пересечениям (жильный тип), составным пробам, длина которых согласуется с уступом карьера (штокверки, мощные минерализованные зоны), и интервалам опробования – в случаях, когда исключается возможность для изучения вертикальной изменчивости оруденения по составным пробам.

При построении блочной геостатистической модели месторождения максимально возможный размер элементарного блока выбирается исходя из планируемой технологии добычи, минимальный определяется плотностью созданной на месторождении разведочной сети наблюдений (не рекомендуется принимать размер сторон элементарного блока менее  $\frac{1}{4}$  средней плотности сети).

Результаты подсчета запасов могут быть представлены в двух видах: при расчете по сетке одинаковых равноориентированных блоков составляются таблицы подсчетных параметров по всем элементарным блокам совместно со значениями дисперсии крайгинга; при расчете крупными геологическими блоками индивидуальной геометрии каждый блок должен быть привязан в пространстве и иметь список проб, входящих в зону влияния.

Все массивы цифровых данных (данные опробования, координаты проб или рудных пересечений, аналитические выражения структурных вариограмм и др.) должны представляться в форматах, доступных для экспертизы с использованием наиболее распространенных программных комплексов (например, в виде DBF-файлов с отдельным указанием способа кодирования пропущенных значений или в виде ASCII-файлов стандартного формата GEOEAS). Модели симметризирующих преобразований, трендов и вариограмм, прочие параметры представляются в аналитическом и описательном виде.

Считается, что геостатистический способ подсчета запасов дает наилучшую возможность установления оценок средних содержаний полезного компонента в блоках, рудных телах и по месторождению в целом без специальных приемов по уменьшению влияния ураганных проб, позволяет снизить ошибки оконтуривания рудных тел с весьма сложной морфологией и внутренним строением и оптимизировать технологию отработки месторождения. Вместе с тем, геостатистические методы

подсчета запасов должны быть контролируемыми в своем применении и подчинены особенностям геологического строения месторождения. Результаты геостатистического моделирования и оценивания должны проверяться путем сравнения с результатами традиционных методов подсчета запасов на представительных участках.

64. При компьютерном подсчете запасов должна быть обеспечена возможность просмотра, проверки и корректировки исходных данных (координаты разведочных выработок, данные инклинометрии, отметки контактов, результаты опробования и др.), результатов промежуточных расчетов и построений (каталог рудных пересечений, выделенных в соответствии с кондициями; геологические разрезы или планы с контурами промышленного оруденения; проекции рудных тел на горизонтальную или вертикальную плоскость; каталог подсчетных параметров по блокам, уступам, разрезам) и сводных результатов подсчета запасов. Выходная документация и машинная графика должны отвечать существующим требованиям к этим документам по составу, структуре, форме и др.

65. Подсчет запасов попутных полезных ископаемых и компонентов производится в каждом подсчетном блоке в соответствии с «Рекомендациями по комплексному изучению месторождений и подсчету запасов попутных полезных ископаемых и компонентов», утвержденными МПР России в установленном порядке.

66. Подсчет запасов оформляется в соответствии с «Методическими рекомендациями по составу и правилам оформления представляемых на государственную экспертизу материалов по подсчету запасов металлических и неметаллических полезных ископаемых», утвержденными МПР России в установленном порядке.

## **VII. Степень изученности месторождений (участков месторождений)**

67. По степени изученности месторождения (и их участки) могут быть отнесены к группе оцененных или разведанных в соответствии с требованиями раздела 3 «Классификации запасов месторождений и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых», утвержденной приказом МПР России от 11 декабря 2006 г. № 278.

Степень изученности для оцененных месторождений определяет целесообразность продолжения разведочных работ на объекте, для разведанных – подготовленность месторождения для промышленного освоения.

68. На оцененных месторождениях берилиевых руд должна быть определена их промышленная ценность и целесообразность проведения работ разведочной стадии работ, выявлены общие масштабы месторождения, выделены наиболее перспективные участки для обоснования последовательности разведки и последующей отработки.

Параметры кондиций для подсчета запасов должны быть установлены на основе технико-экономического обоснования временных разведочных кондиций, разрабатываемых на основе отчетов о результатах оценочных работ для новых открытых месторождений, как в целом, так и по отдельным их частям, в объеме, достаточном для предварительной геолого-экономической оценки месторождения.

Запасы оцененных месторождений по степени изученности квалифицируются, главным образом, по категории  $C_2$  и, частично,  $C_1$ .

Соображения о способах и системах разработки месторождения, возможных масштабах добычи обосновываются укрупнено на основе проектов-аналогов; технологические схемы обогащения с учетом комплексного использования сырья, возможный выход и качество товарной продукции определяются на основе



исследований лабораторных проб; капитальные затраты на строительство рудника, себестоимость товарной продукции и другие экономические показатели определяются по укрупненным расчетам на базе проектов-аналогов.

Вопросы хозяйственно-питьевого водоснабжения горнодобывающих предприятий при оценке промышленной значимости месторождений бериллиевых руд предварительно характеризуются, основываясь на существующих, разведываемых и вероятных источниках водоснабжения.

Рассматривается и оценивается возможное влияние отработки месторождения на окружающую среду.

Для детального изучения морфологии рудных тел, вещественного состава руд и разработки технологических схем обогащения и переработки руд на оцененных месторождениях (участках) может осуществляться опытно-промышленная разработка (ОПР). ОПР проводится в рамках проекта разведочной стадии работ по решению государственной экспертизы материалов подсчета запасов в течение не более 3 лет на наиболее характерных, представительных для большей части месторождения участках, включающих типичные для месторождения руды. Масштаб и сроки ОПР должны быть согласованы с органами Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору (Ростехнадзор). Необходимость проведения (ОПР) должна быть обоснована в каждом конкретном случае с определением ее целей и задач.

Проведение ОПР диктуется обычно необходимостью выявления особенностей геологического строения рудных тел (изменчивость морфологии и внутреннего строения), горно-геологических и инженерно-геологических условий отработки, технологии добычи руд и их обогащения (природные разновидности и технологические типы руд и их взаимоотношения, особенности обогащения, полупромышленные испытания и т. д.); решение этих вопросов возможно только при вскрытии рудных тел на существенную глубину и протяженность.

ОПР целесообразна при освоении крупных и очень крупных месторождений, на которых, прежде чем приступить к строительству основных фабрик, разработанная технологическая схема испытывается и совершенствуется на небольших обогатительных фабриках.

69. На разведанных месторождениях качество и количество запасов, их технологические свойства, гидрогеологические и горнотехнические условия разработки должны быть изучены по скважинам и горным выработкам с полнотой, достаточной для разработки технико-экономического обоснования решения о порядке и условиях их вовлечения в промышленное освоение, а также о проектировании строительства или реконструкции на их базе горнодобывающего производства.

Разведанные месторождения по степени изученности должны удовлетворять следующим требованиям:

обеспечена возможность квалификации запасов по категориям, соответствующим группе сложности геологического строения месторождения;

вещественный состав и технологические свойства промышленных типов и сортов полезного ископаемого изучены с детальностью, обеспечивающей получение исходных данных, достаточных для проектирования рациональной технологии их переработки с комплексным извлечением всех полезных компонентов, имеющих промышленное значение, и определения направления использования отходов производства или оптимального варианта их складирования или захоронения;

запасы других совместно залегающих полезных ископаемых (включая породы вскрыши и подземные воды) с содержащимися в них компонентами, отнесенные на

основании кондиций к балансовым, изучены и оценены в степени, достаточной для определения их количества и возможных направлений использования;

гидрогеологические, инженерно-геологические, геокриологические, горно-геологические, экологические и другие природные условия изучены с детальностью, обеспечивающей получение исходных данных, необходимых для составления проекта разработки месторождения с учетом требований природоохранительного законодательства и безопасности горных работ;

достоверность данных о геологическом строении, условиях залегания и морфологии рудных тел, качестве и количестве запасов подтверждена на представительных для всего месторождения участках детализации, размер и положение которых определяются недропользователем в каждом конкретном случае в зависимости от их геологических особенностей;

рассмотрено возможное влияние разработки месторождения на окружающую среду и даны рекомендации по предотвращению или снижению прогнозируемого уровня отрицательных экологических последствий;

подсчетные параметры кондиций установлены на основании технико-экономических расчетов, позволяющих определить масштабы и промышленную значимость месторождения с необходимой степенью достоверности.

Рациональное соотношение запасов различных категорий определяется недропользователем с учетом допустимого предпринимательского риска. Возможность полного или частичного использования запасов категории  $C_2$  при проектировании отработки месторождений в каждом конкретном случае определяется государственной геологической экспертизой материалов подсчета запасов. Решающими факторами при этом являются особенности геологического строения рудных тел, их мощность и характер распределения в них рудной минерализации, оценка возможных ошибок разведки (методов, технических средств, опробования и аналитики), а также опыт разведки и разработки месторождений аналогичного типа.

Разведанные месторождения относятся к подготовленным для промышленного освоения при выполнении настоящих рекомендаций и после утверждения запасов (балансовых и забалансовых) в установленном порядке.

### **VIII. Пересчет и переутверждение запасов**

70. Пересчет и переутверждение запасов в установленном порядке производится по инициативе недропользователя, а также контрольных и надзорных органов в случаях существенного изменения представлений о качестве и количестве запасов месторождения и его геолого-экономической оценке в результате дополнительных геологоразведочных и добычных работ.

По инициативе недропользователя пересчет и переутверждение запасов производится при наступлении случаев, существенно ухудшающих экономику предприятия:

существенном неподтверждении разведанных и утвержденных ранее запасов и (или) качества руд;

объективном, существенном (более 20 %) и стабильном падении цены продукции при сохранении уровня себестоимости производства;

изменении требований промышленности к качеству минерального сырья;

когда общее количество балансовых запасов, списанных и намечаемых к списанию как неподтвердившихся (в процессе дополнительной разведки,

эксплуатационной разведки и разработки месторождения), а также не подлежащих отработке по технико-экономическим причинам, превышает нормативы, установленные действующим положением о порядке списания запасов полезных ископаемых с баланса горнодобывающих предприятий (т.е. более 20 %).

По инициативе контрольных и надзорных органов пересчет и переутверждение запасов производится при наступлении случаев, ущемляющих права недровладельца (государства) в части необоснованного уменьшения налогооблагаемой базы:

увеличении балансовых запасов, по сравнению с ранее утвержденными, более чем на 50 %;

существенном и стабильном увеличении мировых цен на продукцию предприятия (более 50 % от заложенных в обоснования кондиций);

разработке и внедрении новых технологий, существенно улучшающих экономику производства;

выявлении в рудах или вмещающих породах ценных компонентов или вредных примесей, ранее не учтенных при оценке месторождения и проектировании предприятия.

Экономические проблемы предприятия, вызванные временными причинами (геологические, технологические, гидрогеологические и горнотехнические осложнения, временное падение мировых цен продукции), решаются с помощью механизма эксплуатационных кондиций и не требуют пересчета и переутверждения запасов.

### Характеристические показатели сложности геологического строения месторождений твердых полезных ископаемых

Система разведки и плотность разведочной сети зависят в основном от нескольких природных факторов: условий залегания и структурно-геологических особенностей рудных тел (выдержанности и морфологии рудных тел, характера границ) и распределения полезного компонента (степени изменчивости качества полезного ископаемого в пределах рудных тел).

В качестве основных количественных показателей сложности строения рудных тел рекомендуется использовать следующие величины: коэффициент рудоносности ( $K_p$ ), показатель сложности ( $q$ ) и коэффициенты вариации мощности ( $V_m$ ) и содержания ( $V_C$ ) в рудных пересечениях (А.П. Прокофьев, 1973).

Коэффициент рудоносности обычно выражается как отношение линейных величин – длины рудных интервалов по скважинам или горным выработкам ( $\ell_p$ ) к общей длине пересечений в пределах продуктивной зоны (в границах промышленного оруденения –  $\ell_o$ ):

$$K_p = \frac{\ell_p}{\ell_o}. \quad (1.1)$$

Показатель сложности рассчитывается по отношению числа рудных пересечений ( $N_p$ ) к сумме всех разведочных пересечений (рудных, безрудных внутриконтурных  $N_b$  и законтурных  $N_z$ , обрисовывающих общую границу сложного объекта):

$$q = \frac{N_p}{N_p + N_b + N_z}. \quad (1.2)$$

Коэффициент вариации мощности и коэффициент вариации содержания (в %) вычисляются общеизвестными способами по сумме разведочных данных:

$$V_m = \frac{S_m}{m_{cp}} \cdot 100; \quad (1.3)$$

$$V_C = \frac{S_C}{C_{cp}} \cdot 100, \quad (1.4)$$

где  $S_m$  и  $S_C$  – соответственно среднеквадратичные отклонения мощности единичных рудных пересечений и содержания в них полезного компонента от их среднеарифметических значений  $m_{cp}$  и  $C_{cp}$ .

Обобщенные ориентировочные предельные значения показателей сложности строения рудных тел по месторождениям 1-, 2-, 3- и 4-й групп сложности приведены в таблице.

**Количественные характеристики изменчивости основных свойств оруденения**

Группа месторождений	Показатели изменчивости объектов разведки			
	формы			содержания
	$K_p$	$q$	$V_m, \%$	$V_C, \%$
1-я	0,9–1,0	0,8–0,9	< 40	< 40
2-я	0,7–0,9	0,6–0,8	40–100	40–100
3-я	0,4–0,7	0,4–0,6	100–150	100–150
4-я	< 0,4	< 0,4	> 150	> 150

Решение по отнесению месторождения к конкретной группе принимается по совокупности всей геологической информации с учетом показателя, характеризующего наивысшую изменчивость формы или содержания.