

**Методические рекомендации по применению Классификации запасов месторождений и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых (ниобиевых, танталовых руд и редкоземельных элементов)**

**I. Общие сведения**

1. Настоящие Методические рекомендации по применению Классификации запасов месторождений и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых (ниобиевых, танталовых руд и редкоземельных элементов) (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, № 26, ст. 2669; 2006, №25, ст.2723), Классификацией запасов месторождений и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых, утвержденной приказом МПР России от 07.03.1997 № 40, и содержат рекомендации по применению Классификации запасов месторождений и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых в отношении ниобиевых, танталовых руд и редкоземельных элементов.

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. Ниобий и тантал близки по химическим свойствам и обычно встречаются совместно.

Н и о б и й – металл серо-стального цвета, имеющий плотность  $8,57 \text{ г/см}^3$ , температуру плавления  $2468\text{--}2469 \text{ }^\circ\text{C}$ ; ковкий и чрезвычайно пластичный при нормальной температуре, обладающий исключительной коррозионной стойкостью, самой высокой среди металлов критической температурой перехода в сверхпроводящее состояние ( $9,34 \text{ K}$ ), низким уровнем наведенной радиации и небольшим поперечным сечением захвата тепловых нейтронов ( $1,1 \text{ барн}$  или  $1,1 \cdot 10^{-28} \text{ м}^2$ ).

Т а н т а л – металл светло-серого цвета с синеватым оттенком, имеющий плотность  $16,6 \text{ г/см}^3$ , обладающий уникальными физическими и химическими свойствами – высокой тугоплавкостью (температура плавления  $2991\text{--}2997 \text{ }^\circ\text{C}$ ), большой твердостью ( $1225 \text{ МПа}$  по Бринеллю), исключительной кислотоупорностью, способностью вытягиваться в тонкие нити. Поглощая газы (водород, азот, кислород), ниобий и тантал становятся хрупкими.

Ниобий и тантал широко применяются в промышленности.

Ниобий в виде феррониобия (до  $65 \% \text{ Nb}$ ) широко применяется в черной металлургии в качестве легирующих и модифицирующих присадок к углеродистым, низколегированным малоуглеродистым и нержавеющей сталям, предназначенным для изготовления труб большого диаметра магистральных нефте- и газопроводов, особенно проложенных и прокладываемых в северных районах; для авиа-, ракето-, корабле-, машиностроения (в частности, для химического оборудования, турбин и котлов высокого давления, автомобиле-

строения, рельсов и подвижного состава железнодорожного транспорта) и во многих других областях хозяйства.

Ниобий, особенно с присадками Ni, Sn, Zr, Ti, Ge, отличается сверхпроводимостью при сравнительно высоких температурах (до 23 К). Реально освоены в качестве сверхпроводников сплавы Nb-Zr, Nb-Ti, Nb-Sn; на их основе созданы магниты исключительно большой мощности. Предполагается, что турбогенераторы с обмоткой из сверхпроводящего сплава Nb-Ti будут иметь в 4–5 раз меньшую массу и КПД 99,5–99,8 %.

Небольшое поперечное сечение захвата тепловых нейтронов делает ниобий перспективным конструкционным материалом для ядерных реакторов.

Традиционными сферами использования танталовых продуктов являются электровакуумная техника (аноды, сетки, геттеры, детали высокотемпературных вакуумных печей); производство жаропрочных, твердых и сверхтвердых сплавов для режущих инструментов; химическое аппаратостроение, включая заводское и лабораторное оборудование; легирование сталей и сплавов. Наиболее значительная область применения тантала – производство танталовых конденсаторов, используемых в ЭВМ, приборостроении, автомобильной и оборонной промышленности. Кроме того, тантал единственный из металлов, вживляющийся в тело человека, применяется в хирургии для сшивания кровеносных сосудов, протезирования органов человеческого тела и изготовления инструментов.

Группа редкоземельных элементов (РЗЭ), или лантаноидов, включает 15 весьма сходных по свойствам металлов от лантана до лютеция; из них только прометий получен искусственно. Весьма близок к этим элементам и иттрий, хотя формально он не входит в группу РЗЭ.

Редкоземельные металлы обычно разделяют на две группы: цериевую – TR<sub>Ce</sub>(La–Ce–Pr–Nd–Pm) и иттриевую – TR<sub>Y</sub>(Sm–Eu–Gd–Tb–Dy–Ho–Er–Tm–Yb–Lu–Y). Однако в последнее время они все чаще подразделяются на три подгруппы: легкие (цериевые), средние (самариевые) и тяжелые (эрбиевые) (табл. 1).

Таблица 1

Редкоземельные металлы (РЗМ, РЗЭ) TR = Ln + Y

Цериевоземельные TR <sub>Ce</sub>					Иттриевоземельные TR <sub>Y</sub>										
Лантаноиды Ln															Иттрий
Цериевые Ln <sub>Ce</sub>					Иттриевые Ln <sub>Y</sub>										
Цериевые (легкие) Ln <sub>Ce</sub>					Самариевые (средние) Ln <sub>Sm</sub>						Эрбиевые (тяжелые) Ln <sub>Er</sub>				
La	Ce	Pr	Nd*	Pm*	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Y
Лантан	Церий	Прозеодим	Неодим	Прометий	Самарий	Европий	Гадолиний	Тербий	Диспрозий	Гольмий	Эрбий	Тулий	Иттербий	Лютеций	Иттрий

\* В природе не встречен.

Редкоземельные металлы обладают высокой химической активностью и взаимодействуют почти со всеми элементами при сравнительно низких температурах. Они реагируют с O, S, H, C, N, P и галогенами с образованием прочных оксидов, сульфидов, карбидов и др. Металлические La, Ce, Pr легко окисляются на воздухе, в то время как тяжелые лантаноиды (иттриевой группы) более устойчивы.

Долгое время эти металлы считались весьма редкими и малоперспективными для использования. С середины 30-х г. XX в. после выявления легирующих действий РЗЭ на

сталь, чугун и сплавы цветных металлов производство их значительно расширилось. За последние 40–50 лет в связи с открытием новых областей применения лантаноидов (специальные сплавы, особые сорта стекол, катализаторы при крекинге нефти, кинескопы цветных телевизоров, люминофоры, сверхмощные магнитные сплавы Sm с Co, кристаллы соединений РЗЭ в роли лазеров и квантовых усилителей – мазеров, изотопы  $^{170}\text{Tm}$ ,  $^{155}\text{Eu}$ ,  $^{144}\text{Ce}$  как источники излучения, регулирующие стержни из Gd, Sm, Eu в атомных реакторах и др.) интерес к ним повысился. Современная промышленность использует РЗЭ как в виде смесей (например, мишметалл), так и индивидуально, при этом наибольшее значение приобрели Eu, (в основном для кинескопов телевизоров, люминесцентных ламп, циркониевых стабилизаторов, оптического стекла), Sm (для производства постоянных магнитов), Gd (в производстве галлий-гадолиниевых гранатов), а также La, Nd, Ce, Tu. Известно более 100 областей применения редких земель. Наиболее емкие сферы использования РЗМ: катализ в крекинге нефти, металлургия, стекольная и керамическая отрасли промышленности, сельское хозяйство. По масштабам потребления РЗЭ первое место занимают нефтяная промышленность, металлургия и стекольная промышленность.

Иттрий имеет самые разные области применения, из них наиболее важные – люминофоры для цветного телевидения и люминесцентных ламп, магниевые и никель-кобальтовые жаропрочные коррозионностойкие сплавы (суперсплавы), нержавеющая сталь, гранаты и ферриты для различных электронных устройств, лазеры, оптическое стекло, огнеупорная керамика, газовые сенсоры, ювелирные изделия. Небольшие добавки иттрия в алюминиевые сплавы увеличивают их электропроводность на 50 %. Оксид иттрия используется как спекающая добавка в различных видах новой технической керамики; для деталей двигателей, быстрорежущих инструментов, высокотемпературных топливных элементов. Резкий всплеск интереса к иттрию в конце 80-х г. был связан с открытием сверхпроводящей керамики Y-Ba-Cu-O.

2. Ниобий, тантал и редкоземельные металлы – типичные литофильные элементы. Среднее содержание в земной коре ниобия  $2 \cdot 10^{-3} \%$ , тантала  $2,58 \cdot 10^{-4} \%$ , редкоземельных металлов (в сумме)  $112 \cdot 10^{-4} \%$  (диапазон кларков индивидуальных лантаноидов от  $0,3 \cdot 10^{-4} \%$  у Lu до  $31 \cdot 10^{-4} \%$  у Ce). В природе ниобий и тантал образуют кислородные соединения, в основном оксиды. Спектр природных соединений редкоземельных металлов значительно шире, но в основном это оксиды, карбонаты, фосфаты, фториды. Известно более 50 минералов, содержащих Nb и Ta, не считая многочисленных разновидностей, и около 300 минералов, содержащих РЗЭ (только 20 из них имеют промышленное значение); важнейшие промышленные минералы приведены в табл. 2.

Таблица 2

**Важнейшие промышленные минералы ниобия, тантала и редкоземельных металлов**

Минерал	Структурно-химическая формула	Содержание оксидов редких металлов, %	Элементы	Плотность,
1	2	3	4	5
Минералы ниобия и тантала				
Пироклор	$(\text{Na}, \text{Ca})_{2-x}\text{Nb}_2\text{O}_6(\text{OH}, \text{F})$	$\text{Nb}_2\text{O}_5$ 52–71; $\text{Ta}_2\text{O}_5$ до 7,0	U, Th, TR	3,8–4,7
Гатчеттолит	$(\text{Ca}, \text{U}, \text{TR})_{2-x}(\text{Nb}, \text{Ta})_2\text{O}_6(\text{F}, \text{OH})_{1-x} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	$\text{Nb}_2\text{O}_5$ до 35; $\text{Ta}_2\text{O}_5$ до 18; $\text{UO}_3$ до 30	Th, TR	4,4–4,9
Мариньякит	$(\text{TR}, \text{Na}, \text{Ca})_{2-x}(\text{Nb}, \text{Ta})_2\text{O}_6 \cdot (\text{OH}, \text{F})$	$\text{Nb}_2\text{O}_5$ 50; $\text{Ta}_2\text{O}_5$ до 5, 0; $\text{TR}_{\text{Ce}} \sim 15\text{--}18$	Pb, U	4,13–4,15
Микролит	$(\text{Ca}, \text{Na})_2\text{Ta}_2\text{O}_6(\text{O}, \text{OH}, \text{F})$	$\text{Ta}_2\text{O}_5$ 55–80; $\text{Nb}_2\text{O}_5$ 0, 9–10	U	5,9–6,4
Лопарит	$(\text{Na}, \text{Ce}, \text{Ca})(\text{Ti}, \text{Nb}, \text{Ta})\text{O}_3$	$\text{Nb}_2\text{O}_5$ 8,0–12,8; $\text{Ta}_2\text{O}_5$ 0,6–0,8; $\Sigma \text{Ce}_2\text{O}_3$ 30,0–33,5	Ti, TR, Sr	4,6–4,9
Воджинит	$(\text{Ta}, \text{Nb}, \text{Mn}, \text{Sn}, \text{Fe})_2\text{O}_4$	$\text{Ta}_2\text{O}_5$ 65–75; $\text{Nb}_2\text{O}_5$ 0,1–15	Sn	7,19–7,36
Колумбит	$(\text{Fe}, \text{Mn})(\text{Nb}, \text{Ta})_2\text{O}_6$	$\text{Nb}_2\text{O}_5$ 59–76; $\text{Ta}_2\text{O}_5$ 1–20	–	5,3

1	2	3	4	5
Танталит	(Fe, Mn)(Ta, Nb) <sub>2</sub> O <sub>6</sub>	Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 63–86; Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 0,2–20	–	8,3
Тапиолит	Fe(Ta, Nb) <sub>2</sub> O <sub>6</sub>	Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 62–85; Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 9–22	–	6,4–7,9
Стрюверит	(Ti, Ta, Nb)O <sub>2</sub>	Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 6–38; Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub> до 20	–	4,2–5,5
Минералы редкоземельных металлов				
Монацит	CePO <sub>4</sub>	Σ Ce <sub>2</sub> O <sub>3</sub> до 35; ThO <sub>2</sub> до 31	–	4,9–5,5
Ксенотим	YPO <sub>4</sub>	Σ Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub> до 61	U, Tb, TR	4,4–4,6
Чёрчит	YPO <sub>4</sub> · 2H <sub>2</sub> O	Σ Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub> до 51	TR	3,1–3,3
Бастнезит	CeCO <sub>3</sub> F	Σ Ce <sub>2</sub> O <sub>3</sub> до 75	TR, Th	4,4–5,2
Паризит	Ce <sub>2</sub> Ca[CO <sub>3</sub> ] <sub>2</sub> F <sub>2</sub>	Σ Ce <sub>2</sub> O <sub>3</sub> до 60; Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub> до 10 в иттропаризи-	TR, Th	4,3–4,4
Итросинхи-	YCa[CO <sub>3</sub> ] <sub>2</sub> F	Σ Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 44–47	Th, TR	3,6–3,7
Фергюсонит	Y(Ta, Nb)O <sub>4</sub>	Σ Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 33–44; Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 4–9; Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 38,0–51,6	U, Th, TR	5,5–6,0
Эвксенит	Y(Nb, Ti, Ta) <sub>2</sub> (O, OH) <sub>6</sub>	Σ Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 16,3–27,8; Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 8,8–41,4; Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 1,0–47,3	U, Th, TR	5,0–5,9
Гагаринит	(Na, Ca) <sub>3</sub> YF <sub>6</sub>	Σ Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 35–48	U, Th	4,2–4,5
Иттрофлюорит	(Y, Ca)F <sub>3-x</sub>	Σ TR <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 18–20	–	3,5–3,8

4. Месторождения ниобия, тантала и редкоземельных металлов в общем цикле геологического развития формируются на средней и поздней стадиях геосинклинального этапа преимущественно в связи с гранитным магматизмом, а также при щелочном магматизме и метасоматизме стадии активизации древних платформ и консолидированных областей завершённой складчатости.

Они образовывались в крайне широком диапазоне времени – от архея до кайнозоя. Промышленное значение имеют как эндогенные, так и экзогенные месторождения, включая коры выветривания и россыпи\*.

5. Месторождения ниобия и тантала по преобладанию одного из металлов подразделяются на три группы: ниобиевые, тантал-ниобиевые и танталовые.

К собственно ниобиевым относятся месторождения пироклоровых карбонатитов. Основную ценность их составляет ниобий, отношение Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> > 20; извлечение тантала нерентабельно, он уходит в ферросплавы вместе с ниобием.

Комплексными тантал-ниобиевыми считаются месторождения, в которых тантал и ниобий по валовой ценности примерно одинаковы: Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> = 5 ÷ 20. Это месторождения в дифференцированных массивах агпайтовых нефелиновых сиенитов, месторождения в метасоматически изменённых гранитоидах щелочного ряда, а также в апогнейсовых метасоматитах зон региональных разломов.

Главным полезным компонентом собственно танталовых месторождений является тантал, отношение Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ≤ 4, ниобий извлекается попутно. Основные запасы собственно танталовых руд сосредоточены в гранитных пегматитах и в «редкометалльных» гранитах.

Поскольку в природе ниобий преобладает над танталом, среди известных месторождений значительно больше ниобиевых, чем танталовых. Содержания Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> в рудах обычно на порядок выше, а запасы месторождений на 1–2 порядка больше, чем Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.

Большинство типов месторождений ниобия и тантала характеризуется высокой комплексностью и содержит ассоциации минералов: фосфора, циркония, редких земель, скандия, стронция, бария, железа, титана, тория (месторождения щелочного ряда) или бериллия, рубидия, цезия, олова (граниты и пегматиты).

\* Изученность россыпных месторождений ниобия, тантала и редких земель регламентируется «Методическими рекомендациями по применению Классификации запасов твердых полезных ископаемых к россыпным месторождениям», утвержденными распоряжением МПР России № 37-р от 05.06.2007.

Промышленные и потенциально-промышленные типы месторождений ниобия, тантала и редкоземельных руд приведены в табл. 3.

Месторождения в дифференцированных («стратифицированных») массивах агпайтовых нефелиновых сиенитов (Ловозерское в Мурманской области) являются важным источником комплексных ниобий-тантал-редкоземельных руд. Рудоносные интрузивы представлены округлыми в плане массивами центрального типа и характеризуются многофазным строением.

Лопаритоносный дифференцированный комплекс (вторая фаза) сложен ритмически чередующимися хорошо выдержанными пологозалегающими горизонтами щелочных пород с различным соотношением нефелина, полевых шпатов и темноцветных минералов – уртитов, ювитов, фойяитов, луявритов, малиньитов. Лопарит является акцессорным минералом, концентрируется в нижних частях ритмов в породах уртитового и малиньитового состава, формируя своеобразные рудные тела – весьма выдержанные маломощные (0,1–0,5 до 1–2 м) «пласты» с нечеткими верхней и нижней границами, определяемыми по данным опробования. Минеральный состав руд: нефелин, кали-натровый полевой шпат, эгирин, щелочной амфибол, содалит, цеолиты и акцессорные – лопарит, виллиомит, апатит, эвдиалит, рамзаит, мурманит, ловозерит, сфен, магнетит, пирит, пирротин. Лопарит – комплексное сырье, наряду с ниобием и танталом из него получают редкоземельные металлы цериевой группы и титан.

Месторождения, связанные с массивами ультраосновных щелочных пород и карбонатитов (УЩК), являются одним из основных источников ниобия в мире. Массивы УЩК большей частью характеризуются округлыми формами и кольцевым или неполнокольцевым строением, значительно реже они построены по линейному плану. Сами карбонатиты слагают округлые штоки, кольцевые дайки, неполнокольцевые тела, трубки и выступают как конечные дифференциаты ультраосновных щелочных комплексов.

Карбонатиты представлены кальцитовыми, доломитовыми, анкеритовыми разностями. Пирохлоровое оруденение в карбонатитах образует равномерную вкрапленность и с глубиной практически не изменяется. Рудные тела, оконтуриваемые по данным опробования, характеризуются обычно линейной формой и выделяются как обогащенные зоны (0,2–0,8 %  $Nb_2O_5$ ) на фоне бедных содержаний  $Nb_2O_5$  (0,05–0,08 %). Рудоносные породы наряду с форстеритом, флогопитом или пиритом содержат комплекс полезных минералов – апатит, монацит, иногда циркон, бадделейт и магнетит; средне-крупнокристаллические кальцитовые карбонатиты могут представлять интерес как карбонатное сырье. В качестве примеров можно привести месторождения Белозиминское (Россия) и Сент-Оноре (Канада).

В редких случаях пирохлоровое оруденение в массивах ультраосновных щелочных пород развивается не в карбонатитах, а в микроклинитах – калишпатовых метасоматитах по ультраосновным щелочным породам (Большетагнинское месторождение в Иркутской области). Апатит-пирохлоровая минерализация Большетагнинского месторождения слагает линзовидную залежь, состоящую из вкрапленных и прожилково-вкрапленных руд и прослеженную по простиранию на расстояние 600 м при ширине выхода до 300 м. Среднее содержание  $Nb_2O_5$  в руде – 1,0 %.

Иногда в карбонатитах присутствует гатчеттолит, который находится в виде мелкой вкрапленности и образует самостоятельные рудные зоны или слагает фланги пирохлоровых зон. Руды комплексные тантал-ниобиевые, соотношение  $Nb_2O_5/Ta_2O_5$  варьирует в пределах 4,5–8 (Среднезиминское месторождение, некоторые рудные зоны Белозиминского).

Месторождения в бастнезитовых карбонатитах являются основным источником редкоземельных элементов цериевой группы. Крупнейшее эксплуатируемое месторождение этого типа Маунтин-Пасс (США) представляет собой шток размерами 700×200 м, сложенный массивными или полосчатыми карбонатитами (в основном кальцитовыми) – 60 %, баритом – 20 %, кварцем – 10 % и редкоземельными минералами (бастнезит, примесь мона-

цита) – 10 %. Содержание  $TR_2O_3$  в богатой руде – 10 %, в бедной – 5 % и менее. Общие запасы свыше 2,5 млн. т  $TR_2O_3$  в рудах с содержанием свыше 5 %  $TR_2O_3$ .

Таблица 3

Промышленные и потенциально-промышленные типы месторождений ниобия, тантала и редкоземельных руд

Промышленный тип месторождений	Структурно-морфологический тип рудных тел и комплекс вмещающих пород	Природный (минеральный) тип руд	Содержание основных компонентов в руде, %	Попутные компоненты	Промышленный* (технологический) тип руд	Примеры месторождений
1	2	3	4	5	6	7
Цериовоземельно-ниобий-танталовый в дифференцированных массивах агапитовых нефелиновых сиенитов	Пластообразные полого залегающие залежи в уртитах, ювитах, малиньитах	Лопаритовый	$Nb_2O_5$ 0,20–0,40; $Ta_2O_5$ 0,018–0,027; $TR_2O_3$ 0,9–1,4	Ti, Sr, Th	Химический редкоземельно-тантал-ниобиевый (сортировочный, гравитационно-флотационно-гидрометаллургический)	Ловозерское (Россия)
Ниобиевый в массивах ультраосновных щелочных пород и карбонатитов	Линзовидный, жильный, штоко-, трубообразный в карбонатитах	Пироклорный	$Nb_2O_5$ 0,2–0,8	P, TR, Ta, U, Zr	Металлургический ниобиевый (сортировочный, гравитационно-флотационно-гидрометаллургический)	Белозиминское (Россия), Сент-Оноре (Канада)
	Линзообразный в микроклинитах	«	$Nb_2O_5$ 0,3–1,2	P, микроклин	Металлургический ниобиевый (сортировочный, гравитационно-магнитно-флотационно-гидрометаллургический)	Большепетчинское (Россия)
Цериовоземельный в бастнезитовых карбонатитах	Штоко-, трубо- и жилообразный в карбонатитах	Бастнезитовый	$TR_2O_3$ 0,9–9,0	Fe, U, Th, барит, флюорит	Химический флюорит-барит-стронций-редкоземельный (сортировочный, гравитационно-магнитно-флотационно-гидрометаллургический)	Карасугское (Россия), Маунтин-Пасс (США)

1	2	3	4	5	6	7
Ниобий-танталовый в метасоматитах по границам щелочного ряда	Штоко- и линзообразный в кварцальбит-микроклиновых и альбитовых метасоматитах по границам щелочного ряда	Циркон-пироклор-колумбитовый	$Nb_2O_5$ 0,12–0,40; $Ta_2O_5$ 0,014–0,040; $ZrO_2$ 0,3–0,7	TR, Li, Th, U, Hf, Rb, криолит	Металлургический цирконий-ниобий-танталовый (гравитационно-флотационно-гидрометаллургический)	Улуг-Танзекское, Зашихинское (Россия)
Редкоземельно-ниобий-танталовый в щелочных метасоматитах	Линзо- и пластообразный в метасоматитах по метаморфическим породам	Циркон-тантал-пироклоровый с фторидами редких земель	$Nb_2O_5$ 0,20–0,40; $Ta_2O_5$ 0,012–0,025; $ZrO_2$ 1,5–1,6; $TR_2O_3$ 0,2–0,4	Y, U, Th, Hf, Zn, Pb, криолит	Металлургический ниобий-танталовый с цирконием и редкими землями (гравитационно-флотационно-гидрометаллургический)	Катугинское (Россия)
Танталовый в литий-фтористых гранитах	Куполовидный и линзообразный в апикальных частях массивов амазонитовых гранитов	Микролит-танталит-колумбитовый	$Ta_2O_5$ 0,010–0,018	Nb, Li, Sn, Rb, амазонит	Химико-металлургический танталовый (гравитационно-флотационно-гидрометаллургический)	Орловское, Этыкинское (Россия)
Литий-танталовый в сподуменовых гранитах	Куполовидные тела в апикальных частях массивов сподуменовых гранитов	Сподумен-танталитовый	$Ta_2O_5$ 0,010–0,016; $Li_2O$ 0,6–1,0	Nb, Rb, Cs	Химико-металлургический литий-танталовый с ниобием (гравитационно-флотационно-гидрометаллургический)	Алахинское (Россия)
Танталовый в пегматитах (с Li, Cs, Be)	Плитообразный и жильный в амфиболитах, гнейсах, сланцах	Сподумен-берилл-танталитовый, поллуцит-сподумен-танталитовый, лепидолит-микролитовый	$Ta_2O_5$ 0,01–0,03; $Cs_2O$ 0,1–0,8; $Li_2O$ 0,3–1,5; BeO 0,02–0,07	Sn, Rb, Nb, Ga	Химико-металлургический бериллий-литий-цезий-танталовый (сортировочный, гравитационно-флотационно-гидрометаллургический)	Завитинское, Вишняковское, Гольцовое (Россия), Берник-Лейк (Канада), Гринбушес (Австралия)
Ниобиевый и Редкоземельно-ниобиевый в корях выветривания карбонатитов	Пласто- и линзообразные тела в корях выветривания карбонатитов массивов	Апатит-пироклор-колумбитовый	$Nb_2O_5$ 0,4–1,0; $P_2O_5$ 10–16	TR, Ta, Fe	Металлургический ниобиевый (сортировочный, гравитационно-флотационно-гидрометаллургический)	Белозиминское (Россия)

1	2	3	4	5	6	7
в массивах ультраосновных щелочных пород	ультраосновных щелочных пород	Sr-, Ba-пироклоровый	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 1,0–3,0	TR, Fe, P, Mn		Чуктуконское (Россия), Араша (Бразилия)
Ниобиевый в корях выветривания карбонатитов и щелочных метасоматитов зон региональных разломов	Лентообразные тела в корях выветривания по линейным карбонатитам и щелочным метасоматитам	Пироклоровый, колумбит-пироклоровый	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 0,4–0,8	P, Fe, вермикулит	Металлургический ниобиевый (сортiroвочный, гравитационно-флотационно-гидрометаллургический)	Татарское (Россия)
Танталовый в корях выветривания пегматитов (с Sn, Be)	Пласто- и линзообразный в корях выветривания редкометалльных пегматитов	Берилл-колумбит-танталитовый	Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 0,004–0,03	Sn, Be, Nb	Химико-металлургический бериллий-танталовый (гравитационно-флотационно-гидрометаллургический)	Липовый Лог (Россия), Назарену (Бразилия), Гринбушес (Австралия)
Скандий-редкоземельно-ниобиевый в переотложенных корях выветривания карбонатитов	Пластообразный в переотложенных корях выветривания карбонатитов	Монацит-Sr-, Ba-, Pb-пироклоровый	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 4–8; TR <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 6–12; Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 0,5–0,65; Sc <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 0,05	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Химико-металлургический редкоземельно-ниобиевый (сортiroвочный, флотационно-гидрометаллургический)	Томторское (Россия)
* В названии промышленного (технологического) типа отражено хозяйственное (промышленное) назначение конечных продуктов, важнейшая технологическая особенность руд и основные способы переработки.						

Ниобий-танталовые месторождения в метасоматитах по гранитоидам щелочного ряда приурочены к небольшим (1–1,5 км<sup>2</sup>) массивам рибекитовых и эгирин-рибекитовых гранитоидов. Основные запасы ниобий-танталовых руд связаны с кварц-альбит-микроклиновыми метасоматитами (квальмитами), наследующими форму замещаемого интрузива и характеризующимися значительной вертикальной протяженностью (Улуг-Танзекское месторождение). Наиболее богатые руды приурочены к существенно альбитовым метасоматитам (альбититам), образующим линзовидные тела в эндоконтактных частях массивов (Зашихинское месторождение). Оруденение в обоих случаях тонковкрапленное, распределено относительно равномерно. Главные рудные минералы представлены колумбитом, пироклором и цирконом.

Редкоземельно-ниобий-танталовые месторождения в щелочных метасоматитах зон региональных разломов (Катугинское в Читинской области) не обнаруживают признаков связи с магматическими образованиями, но формируются в зонах крупных разломов непосредственно вслед за развитием регионального метаморфизма амфиболитовой фации. Рудоносные кварц-альбит-микроклиновые (с арфведсонитом, биотитом и другими минералами) метасоматиты возникли за счет метаморфических толщ и слагают согласную с залеганием последних пластообразно-линзовидную залежь. Основные рудные минералы представлены танталсодержащим пироклором, цирконом, гагаринитом и редкоземельным флюоритом.

Танталовые месторождения в литий-фтористых гранитах. Танталоносные граниты представляют собой небольшие (0,5–1,5 км<sup>2</sup>) интрузии своеобразных мелко-



среднезернистых, часто амазонитовых гранитов, обогащенных альбитом, топазом, литиевыми слюдами и содержащих характерный «горошковидный» кварц. Танталовое оруденение располагается в апикальных (купольных) частях интрузивов, содержание  $Ta_2O_5$  в рудах колеблется от 0,01 до 0,04 %. Вертикальный размах оруденения обычно не превышает первых десятков метров. Рудные тела, выделяемые по данным опробования, имеют форму пологих линзообразных залежей, ориентированных субпараллельно контактовым поверхностям куполов; руды вкрапленные и прожилково-вкрапленные. Главные рудные минералы представлены танталит-колумбитом и микролитом (Орловское и Этыкинское месторождения в Читинской области).

Литий-танталовое месторождение в сподуменовых гранитах (Алахинское в Горном Алтае) выявлено в 1989 г. и является новым потенциально перспективным промышленным типом. Редкометалльное оруденение приурочено к апикальной части небольшого (~0,4 км<sup>2</sup>) массива сподуменовых гранитов и слагает пологую купольную залежь. Танталовая минерализация ассоциирует со сподуменом и представлена тонковкрапленными танталитом и микролитом. Среднее содержание  $Ta_2O_5$  в руде 0,012 %,  $Li_2O$  – 0,71 %. С глубиной литий-танталовые руды постепенно сменяются бедными (0,3–0,4 %  $Li_2O$ ) литиевыми рудами со сподуменом.

Танталовые месторождения в пегматитах (с Li, Cs, Be) являются ведущими в мировой сырьевой базе тантала.

Пегматитовые месторождения распространены в ряде металлогенических провинций России и за рубежом. Наиболее крупные и богатые месторождения чаще всего имеют докембрийский возраст и размещаются в большинстве случаев на окраинах древних платформ и щитов.

Поллуцит-сподумен-танталитовые пегматиты представляют наиболее распространенный в мире тип промышленных редкометалльных месторождений высокой степени комплексности (с Sn, Li, Cs, Be). На эти пегматиты и связанные с ними коры выветривания приходится основная мировая добыча тантала; содержание  $Ta_2O_5$  достигает 0,02–0,03 %, а в отдельных зонах до 0,1 % при соотношении Nb/Ta в среднем 1–3 (до 6). Месторождения обычно представлены сериями пологозалегающих тел с этажным расположением по вертикали, но изредка встречаются аналогичные по составу пегматитовые тела в виде зональных, полнодифференцированных штоков или трубок. Основные рудные минералы представлены танталитом, танталит-колумбитом, микролитом, сподуменом, поллуцитом, бериллом.

На отдельных месторождениях проявлена вертикальная зональность которая выражена в возрастании с глубиной концентрации лития и снижении – тантала, рубидия и цезия.

Подсчет запасов пегматитовых месторождений обычно ведется в геологических границах пегматитовых тел.

Месторождения редких металлов в корях выветривания формируются в результате гипергенного преобразования коренных руд и пород с повышенными концентрациями ниобия, тантала и редких земель. Коры выветривания подразделяются на остаточные и перемещенные.

Рудоносные остаточные коры формируются в следующих геологических условиях: 1) по карбонатитам в массивах ультраосновных щелочных пород; 2) по карбонатитам и щелочным метасоматитам в зонах региональных разломов; 3) по пегматитам.

Ниобиевые и ниобий-редкоземельные месторождения в корях выветривания карбонатитов в массивах УЩК характеризуются пласто-линзовидной формой и имеют значительные размеры. В зависимости от интенсивности процессов корообразования главные рудные минералы представлены колумбитом и пирохлором – в корях гидрослюдистого профиля (Белозиминское месторождение) или вторичными пирохлорами (стронциопирохлор, бариопирохлор) и редкоземельными фосфатами (монацит, иногда флоренсит и др.) – в ко-

рах латеритного профиля (месторождения Чуктуконское в России и Араша в Бразилии). Латеритные коры выветривания характеризуются значительно более высокими содержаниями ниобия (до 3 %  $Nb_2O_5$ ), более крупными запасами ниобиевых руд и за рубежом являются ведущим источником ниобиевого сырья.

Ниобиевые месторождения в корях выветривания карбонатитов и щелочных метасоматитов зон региональных разломов (Татарское в Красноярском крае). Промышленное ниобиевое оруденение связано с «зернистыми» корами выветривания (гидрослюдистого профиля), развивающимися по крутопадающим линейным зонам, сложенным линзо-, жиллообразными карбонатитами и щелочными метасоматитами с убогим ниобиевым оруденением. Рудные тела наследуют форму и размеры первичных руд, но содержание полезных компонентов в них в 2–4 раза выше. Рудные залежи в корях выветривания характеризуются лентообразной формой и значительной протяженностью по простиранию (до 2000 м при мощности до 100 м). Полезные минералы представлены пироксеном, колумбитом и апатитом. Содержание  $Nb_2O_5$  в рудах составляют 0,4–0,75 %, по запасам месторождение мелкое.

Танталовые месторождения в корях выветривания пегматитов (Липовый Лог в России, Назарену в Бразилии, Гринбушес в Австралии). Рудные тела представлены линзо-, пластообразными залежами, наследующими форму пегматитовых тел. Полезные минералы – танталит, колумбит-танталит, берилл, касситерит. Содержание  $Ta_2O_5$  0,004–0,03 % (до 0,1 %).

Месторождения в переотложенных, эпигенетически измененных корях выветривания карбонатитов являются комплексными редкоземельно-ниобиевыми (с Y и Sc) и характеризуют новый потенциально-промышленный тип (Томторское месторождение в Республике Саха (Якутия)).

Рудное тело имеет пластообразную форму с размерами 2600×1700 м при средней мощности 10 м. Рудный пласт представляет собой чередование прослоев богатых пироксен-монацит-крандаллитовых и обедненных каолинит-крандаллитовых руд. Главные полезные минералы – монацит и стронцио-, барио-, плумбопироксены с реликтами пироксена обычного состава. Руды характеризуются уникально высокими содержаниями полезных компонентов ( $Nb_2O_5$  4–8 %,  $TR_2O_3$  6–12 %,  $Y_2O_3$  0,5–0,65 %,  $Sc_2O_3$  0,05 %), но являются тонкодисперсными и труднообогащаемыми.

Генезис месторождения сложный. Наиболее обоснованы следующие две концепции.

Первая – осадочно-россыпная – предполагает, что богатые руды сформированы в результате переотложения рудоносных кор выветривания в мелких озерах, образующихся при усадке карбонатитов в массивах ультраосновных щелочных пород. Вторая концепция – эпигенетическая – предполагает проявленность эпигенетических процессов, приведших к выносу из кор выветривания значительных количеств Fe и Mn и, вследствие этого, обогащению остаточного продукта ниобиевыми и редкоземельными минералами. Наиболее вероятно совместное проявление обоих отмеченных процессов.

К особому – полигенному – промышленному типу относится уникальное по запасам редких земель ниобий-редкоземельно-железородное месторождение Байюнь-Обо (Китай). Ниобий редкоземельная минерализация установлена в полосе широтного простирания длиной 16 км и шириной 3 км. Редкометальное оруденение приурочено к пластообразным залежам железных руд, залегающим среди доломитов позднепротерозойско-раннепалеозойского возраста. В пределах месторождения развиты жиллообразные тела карбонатитов, обогащенных редкоземельными элементами (2–3,5 %  $TR_2O_3$ ), интрузии габброидов, щелочных пород и гранитоидов.

Основные полезные минералы представлены магнетитом, гематитом, а также тонкой вкрапленностью монацита, бастнезита, пироксена, эшинита и др. Содержание железа в богатых рудах до 45 % и более, редких земель от 5,7 до 6,7 %  $TR_2O_3$ , ниобия 0,126–0,14 %  $Nb_2O_5$ . Запасы железа составляют 470 млн. т,  $TR_2O_3$  – 40,1 млн. т,  $Nb_2O_5$  – более 1 млн. т.

Генезис месторождения сложный. Наиболее обоснована точка зрения о наложении ниобий-редкоземельной минерализации, связанной с карбонатитами, на железные руды осадочно-метаморфогенного происхождения.

Еще одним важным источником получения иттриевоземельных элементов в Китае являются так называемые ионные руды, развитые в корях выветривания по гранитам, сланцам, амфиболитам.

Кроме отмеченных типов месторождений следует указать следующие, которые разрабатывались в СССР:

цирконий-ниобиевый в альбититах, карбонатитах и пегматитах, связанных с массивами нефелиновых сиенитов (Вишневогорское, Урал);

иттриевоземельный в кварц-хлоритовых метасоматитах (Кутессай-II, Киргизия);

скандий-редкоземельно-урановый органогенно-осадочный (Меловое, Казахстан).

В настоящее время эксплуатация этих месторождений прекращена вследствие отработанности большей части запасов.

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

6. По размерам и форме рудных тел, изменчивости их мощности, внутреннего строения и особенностям распределения оксидов ниобия, тантала и редкоземельных элементов месторождения этих металлов соответствуют 1-, 2- и 3-й группам «Классификации запасов месторождений и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых», утвержденной приказом Министра природных ресурсов Российской Федерации от 7 марта 1997г. № 40.

К 1-й группе относятся месторождения (участки) простого геологического строения с рудными телами, представленными:

весьма выдержанными пластообразными лопаритоносными рудными телами большой протяженности ( $n \cdot 1000$  м) с равномерным распределением оруденения (Ловозерское месторождение);

крупными (1,8×0,8 км) телами штокообразной формы в массивах гранитов щелочного ряда с равномерным распределением оруденения (Улуг-Танзекское месторождение);

выдержанными по простиранию и по мощности пластами глин со скоплениями апатитизированного костного детрита рыб с ураном, редкими землями, стронцием и скандием (месторождение Меловое).

Ко 2-й группе относятся месторождения (участки) сложного геологического строения, представленные крупными ( $n \cdot 100$  м по простиранию) линейно-вытянутыми или дугообразной формы рудными зонами карбонатитового типа (коренные руды Белозиминского месторождения), крупными ( $((n \cdot 100 - n \cdot 1000) \times n \cdot 100$  м)) пластообразными залежами в остаточных и переотложенных корях выветривания карбонатитов (Белозиминское, Томторское месторождения); линзовидными залежами в редкометалльных гранитах и апогнейсовых метасоматитах (Орловское, Этыкинское, Катугинское месторождения) или плитообразными жилами пегматитового типа большой протяженности (1–2 км), значительной мощности, сложной морфологии или с неравномерным распределением полезных компонентов.

К 3-й группе относятся месторождения (участки) очень сложного геологического строения, представленные крупными и средними по размерам жилами и жильными сериями пегматитов (Белореченское, Гольцовое, Вишняковское месторождения), мелкими ленто- и линзообразными залежами в корях выветривания (Татарское месторождение), а также жило- и трубообразными залежами иттриевоземельных руд с неравномерным распределением оксидов ниобия, тантала и редкоземельных металлов (Кутессайское).

Месторождения ниобиевых, танталовых и редкоземельных руд 4-й группы классификации самостоятельного промышленного значения в настоящее время в России не имеют.

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

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

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

9. 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 редкометалльных руд обычно составляются в масштабах 1:1000–1:5000. Все разведочные и эксплуатационные выработки (канавы, шурфы, шахты, штольни, 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 1:200–1:500, 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.

10. Геологическое строение месторождения должно быть детально изучено 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, внутреннем строении и сплошности (степени рудонасыщенности минерализованных зон), характере выклинивания рудных тел, особенностях изменения вмещающих пород и взаимоотношениях рудных тел с вмещающими породами, складчатыми структурами и тектоническими 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  $P_1$ \*.

11. Выходы на поверхность и приповерхностные части рудных тел и 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, глубину развития и строение коры выветривания (характер изменений рудных минералов в условиях гипергенеза), радиоактивность руд, особенности изменения вещественного состава и технологических свойств руд, содержания основных компонентов, и провести подсчет запасов раз-

---

\* По району месторождения и рудному полю представляются геологическая карта 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 и рудопроявлений района, а также участки, на которых оценены прогнозные ресурсы ниобиевых, танталовых и редкоземельных руд.

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.

дельно по промышленным (технологическим) типам.

12. Разведка месторождений 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 обеспечивать 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, геофизических средств разведки, а также опыта разведки и разработки месторождений аналогичного типа.

При выборе оптимального варианта разведки следует учитывать степень изменчивости содержаний  $Nb_2O_5$ ,  $Ta_2O_5$ ,  $TR_2O_3$ , характер пространственного распределения ниобиевых, танталовых и редкоземельных минералов, текстурно-структурные особенности руд, а также возможное избирательное истирание зерна при бурении и выкрашивание рудных минералов при отборе проб в горных выработках. Следует учитывать также сравнительные технико-экономические показатели и сроки выполнения работ по различным вариантам разведки.

13. По скважинам колонкового бурения должен быть получен максимальный выход зерна хорошей сохранности в объеме, позволяющем выяснить с необходимой полнотой особенности залегания рудных тел и вмещающих пород, их мощности, внутреннее строение рудных тел, характер околорудных изменений, распределение природных разновидностей руд, их текстуры и структуры и обеспечить представительность материала для опробования.

Практикой геологоразведочных работ установлено, что выход зерна для этих целей должен быть не менее 70 % по каждому рейсу бурения. Достоверность определения линейного выхода зерна следует систематически контролировать весовым или объемным способом.

Величина представительного выхода зерна для определения содержаний  $Nb_2O_5$ ,  $Ta_2O_5$ ,  $TR_2O_3$  и мощностей рудных интервалов должна быть подтверждена исследованиями возможности его избирательного истирания. Для этого необходимо по основным типам руд сопоставить результаты опробования зерна и шлама (по интервалам с их различным выходом) с данными опробования контрольных горных выработок, скважин ударного и шарошечного бурения, а также колонковых скважин, пробуренных эжекторными и другими снарядами с призабойной циркуляцией промывочной жидкости. При низком выходе зерна или избирательном его истирании, существенно искажающем результаты опробования, следует применять другие технические средства разведки. При разведке месторождений, сложенных рыхлыми разновидностями руд (например, руды кор выветривания карбонатитов), следует применять специальную технологию бурения, способствующую повышению выхода зерна (бурение без промывки, укороченными рейсами, применение специальных промывочных жидкостей и т.п.).

Для повышения достоверности и информативности бурения 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. Комплекс каротажа, эффективный для выделения рудных интервалов и установления их параметров, должен выполняться во всех скважинах, пробуренных на месторождении.

В вертикальных скважинах глубиной более 100 м и во всех наклонных, включая подземные, не более чем через каждые 20 м должны быть определены и подтверждены кон-

трольными замерах азимутальные и зенитные углы их стволов. 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 – вееров подземных скважин. Бурение по руде целесообразно производить одним диаметром.

14. Горные выработки являются основным средством детального изучения условий залегания, морфологии, внутреннего строения рудных тел, их сплошности, вещественного состава руд, характера распределения основных компонентов, контроля данных бурения, геофизических исследований а также служат для 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 жильного типа – непрерывным прослеживанием штреками и восстающими, а по мощным рудным телам и штокверкам – пересечением ортами, квершлагами, подземными горизонтальными скважинами.

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.

15. Расположение разведочных выработок и расстояния между ними должны быть определены для каждого структурно-морфологического типа рудных тел с учетом их размеров, особенностей геологического строения и характера распределения полезных компонентов.

Приведенные в табл. 4 обобщенные сведения о плотности сетей, применявшихся при разведке месторождений редкометалльных руд в СССР, 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.

16. 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 месторождений 1-й и 2-й групп должны быть разведаны по категориям А+В и В (соответственно), а на месторождениях 3-й группы – по категории С<sub>1</sub>. При этом сеть разведочных выработок на участках детализации месторождений 3-й группы 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 плот-

ность 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 участки, намеченные к первоочередной отработке, 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 месторождениях определяются в каждом отдельном случае недропользователем.

Для месторождений с прерывистым оруденением, 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.

Сведения о плотности сетей разведочных выработок, применявшихся при разведке месторождений ниобиевых, танталовых и редкоземельных руд стран СНГ

Группа месторождений	Характеристики рудных тел	Виды выработок	Расстояния между пересечениями рудных тел выработками для категорий запасов, (в м)					
			А		В		С <sub>1</sub>	
			по простиранию	по падению	по простиранию	по падению	по простиранию	по падению
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1-я	Весьма выдержанные лопаритоносные «пласты» большой протяженности с равномерным распределением оруденения	Скважины	250	100	500	200	1000	400
	Крупные рудные тела штокообразной формы в массивах щелочных гранитов с равномерным распределением оруденения	«	100	50	200	100	200	200
2-я	Крупные линейно-вытянутые или дугообразной формы рудные зоны карбонатитового типа, метасоматические залежи в редкометалльных гранитах и апогнейсовых метасоматитах большой протяженности (1–3 км), значительной мощности, сложной морфологии или с неравномерным распределением Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , TR <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , крупные пластообразные тела в корях выветривания карбонатитов	«	–	–	50–100	50–100	100–200	100–200
		Штольни, штреки	–	–	Непрерывное прослеживание	40–60	–	–
		Орты, рассечки	–	–	40–60	–	–	–
		Восстающие	–	–	80–120	Непрерывное прослеживание	–	–
		Скважины	–	–	100	50	100–200	50–100



1	2	3	4	5	6	7	8	9
3-я	Средние по размерам жилы и жильные системы пегматитового типа, мелкие ленто- и линзообразные залежи в корях выветривания карбонатитов	Штольни, штреки	–	–	–	–	Непрерывное прослеживание	20–30
		Орты, рассечки	–	–	–	–	20–40	–
		Восстающие	–	–	–	–	60–80	Непрерывное прослеживание
		Скважины	–	–	–	–	50–100	10–50
4-я*	Мелкие по размерам жилы и жильные системы или жило-, линзо- и трубообразные залежи танталовых руд с невыдержанной мощностью и весьма неравномерным распределением Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Штреки	–	–	–	–	Непрерывное прослеживание	20–30
		Орты	–	–	–	–	20	–
		Восстающие	–	–	–	–	Не менее одного пересечения по каждому телу	
		Скважины	–	–	–	–	25	12,5–25

\* Используются сведения о плотности разведочной сети для небольших рудных тел исключительно сложного строения и прерывистым распределением Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.  
 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> разрежается в 2–4 раза в зависимости от сложности геологического строения месторождения.

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

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

Полнота и качество первичной документации, соответствие ее геологическим особенностям месторождения, правильность определения пространственного положения структурных элементов, составления зарисовок и их описаний должны систематически контролироваться сличением с натурой компетентными комиссиями. Следует также оценивать качество геологического и геофизического опробования (выдержанность сечения и массы проб, соответствие их положения особенностям геологического строения участка, полноту и непрерывность отбора проб, наличие и результаты контрольного опробования).

18. 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.

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

На месторождениях ниобиевых, танталовых и редкоземельных руд при соответствующем обосновании целесообразно применение ядерно-геофизических методов в качестве рядового опробования\*. Применение геофизических методов опробования и использование их результатов при подсчете запасов регламентируется соответствующими нормативно-методическими документами.

Принятые метод и способ опробования должны обеспечивать наибольшую достоверность результатов при достаточной производительности и экономичности. В случае применения нескольких способов опробования их необходимо сопоставить по точности результатов и достоверности. При выборе геологических способов опробования (керновый, бороздовый, задирковый и др.), определении качества отбора и обработки проб, оценке достоверности методов опробования следует руководствоваться соответствующими нормативно-методическими документами.

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 пегматитовых месторождениях, приуроченных к основным породам, мощность пегматитовых тел надежно определяется по данным плотностного гамма-гамма каротажа).

20. Опробование разведочных сечений следует производить с соблюдением следующих условий:

сеть опробования должна быть выдержанной, плотность ее определяется геологиче-

---

\* 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.

скими особенностями изучаемых участков месторождения и обычно устанавливается исходя из опыта разведки месторождений-аналогов или обосновывается 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) контрольными работами или сопоставлением должна быть доказана возможность использования в подсчете запасов результатов опробования этих сечений;

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 сечениях, 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 быть опробованы 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. Она не должна превышать установленные условиями минимальную мощность для выделения типов или сортов руд, а также максимальную мощность внутренних пустых и некондиционных прослоев, включенных в контуры балансовых 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 kern, 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 весьма неравномерном распределении рудных минералов деление керна при опробовании не производится. Следует также учитывать, что на пегматитовых месторождениях тантала источником систематических ошибок в определении содержания  $Ta_2O_5$  часто является непредставительность проб из-за недостаточной массы керна при алмазном бурении, а при крупных выделениях и гнездах хрупкого танталита (воджинита, микролита и др.) часто происходит избирательное выкрашивание минералов, что приводит к обеднению проб керна и обогащению бурового шлама.

В горных выработках, пересекающих рудное тело на всю мощность, и в восстающих опробование должно проводиться по двум стенкам, в выработках, пройденных по простиранию рудного тела, – в забоях. Расстояние между опробуемыми забоями в прослеживаемых выработках обычно не превышает 1–2 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 необходимо обосновать экспериментальными работами. Должны быть проведены работы по изучению возможного выкрашивания рудных 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, руководствуясь соответствующими методическими документами.

21. Качество опробования по каждому методу и 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, выдержанности 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 при высоком выходе керна по опорным интервалам, для которых доказано отсутствие его избирательного истирания.

В случае выявления 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, руководствуясь соответствующими методическими документами. Для этой цели необходимо также использовать данные технологических проб, валовых проб, отобранных для определения объемной массы в целиках, и результаты отработки месторождения. На пегматитовых месторождениях заверка данных бурения требует повышенного, против обычного, числа восстающих, проходимых из подземных горных выработок или глубоких шурфов.

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.

22. Обработка проб производится по схемам, разработанным для каждого месторождения или принятым по аналогии с однотипными месторождениями. Основные и контрольные пробы обрабатываются 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 ниобия, тантала и редких земель необходимо регулярно контролировать чистоту поверхностей дробильного оборудования.

Обработка контрольных крупнообъемных проб производится по специально составленным программам.

23. 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 «Рекоменда-

циями по комплексному изучению месторождений и подсчету запасов попутных полезных ископаемых и компонентов», утвержденными МПР России в установленном порядке.

Все рядовые пробы анализируются на основные компоненты. Содержание лопарита в лопаритовых рудах определяется также в рядовых пробах. Попутные полезные компоненты, содержание которых не учитывается при оконтуривании рудных тел по мощности, и вредные примеси, а также состав лопарита в лопаритовых рудах 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 содержания по простиранию и падению рудных тел.

Для выяснения степени изменения первичных руд в зоне гипергенеза и установления границы коры выветривания должны выполняться фазовые анализы.

24. Качество анализов проб необходимо систематически проверять, а результаты контроля своевременно обрабатывать в соответствии с методическими указаниями НСАМ, НСОММИ и руководствуясь ОСТ 41-08-272-04 «Управление качеством аналитических работ. Методы геологического контроля качества аналитических работ», утвержденным ВИМС\* (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.

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

26. 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 требования кондиций для подсчета запасов. В случае большого числа анализируемых проб (2000 и более в год) на контрольные анализы направляется 5 % от их общего количества, при меньшем числе проб по каждому выделенному классу содержаний должно быть выполнено не менее 30 контрольных анализов за контролируемый период.

27. Обработка данных внешнего и внутреннего контроля по каждому классу содержаний производится по периодам (квартал, полугодие, год), отдельно по каждому методу

---

\* Федеральный научно-методический центр лабораторных исследований и сертификации минерального сырья «ВИМС» МПР России (ФНМЦ ВИМС).

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 геологического контроля, не должна превышать значений, указанных в табл. 5. 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.

28. 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.

Таблица 5

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, %
1	2	3	4	5	6
Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	1–10	9	Li <sub>2</sub> O	0,2–0,5	13
	0,5–1	11		0,1–0,2	17
	0,2–0,5	13		0,05–0,1	22
	0,1–0,2	16		0,01–0,05	30
	0,05–0,1	20	Rb <sub>2</sub> O, Cs <sub>2</sub> O	0,2–0,5	17
	0,02–0,05	23		0,1–0,2	22
	<0,02	30		0,05–0,1	25
Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,1–0,5	12		0,01–0,05	30
	0,05–0,1	17	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	20–30	2
	0,02–0,05	22		10–20	3,5
	0,01–0,02	25		5–10	4
	0,005–0,01	30	Zr <sub>2</sub> O	>3	3,5
	<0,005	30		1–3	6,0
ΣTR <sub>2</sub> O <sub>3</sub> **	>10	4,5		0,1–1	15
	1–10	7,0		<0,1	30
	0,5–1	10	Sr <sub>2</sub> O	10–40	6
	0,2–0,5	13		2–10	7,5
	0,1–0,2	20		0,5–2	16
	0,05–0,1	25		0,1–0,5	23
	0,005–0,05	30	U	0,03–0,1	6,5
	<0,005	30		0,01–0,03	8,0
BeO	0,5–1	7,0		<0,01	15

1	2	3	4	5	6
	0,2–0,5	10	Th	0,03–0,1	8,5
	0,1–0,2	12		0,01–0,03	10
	0,05–0,1	15		<0,01	20
	0,02–0,05	20			
Sn	0,2–0,5	10			
	0,1–0,2	15			
	0,05–0,1	20			
	0,025–0,05	25			
	<0,025	30			

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

\*\* Для индивидуальных РЗЭ предельно допустимые относительные среднеквадратические погрешности будут дифференцированы по мере накопления статистических данных.

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 проведения арбитражного анализа введение поправочных коэффициентов не допускается.

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

30. Минеральный состав руд, их текстурно-структурные особенности и физические свойства должны быть изучены с применением минералого-петрографических, физических, химических и других видов 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 минералам, содержащим полезные компоненты, определению их количества и химического состава, выяснению их взаимоотношений между собой и с другими минералами (наличие и размеры сростков, характер сростания), размеров зерен и их распределения по крупности.

Для радиоактивных руд должна быть изучена корреляционная зависимость между содержаниями радиоактивных и редких металлов (главным образом тантала). Учитывая непостоянство состава рудных минералов, необходимо изучать их изменчивость, особенно по содержаниям основных компонентов, включая индивидуальные редкоземельные элементы.

В процессе минералогических исследований должно быть изучено распределение основных, попутных компонентов и вредных примесей и составлен их баланс по формам минеральных соединений, обеспечивающий расчет теоретически возможного извлечения и подсчет запасов полезных компонентов в извлекаемой форме.

31. 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 некондиционных прослоев.

Объемная масса плотных руд определяется главным образом по представительным парафинированным образцам. Объемная масса рыхлых, сильно трещиноватых и каверноз-

ных 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 определением объемной массы 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.

32. В результате изучения химического и минерального состава, текстурно-структурных особенностей и физических свойств руд устанавливаются их природные разновидности и предварительно намечаются промышленные (технологические) типы, подлежащие селективной выемке и раздельной переработке или имеющие различные области использования.

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

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

33. 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 на разных стадиях 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).

34. 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 обогащения руд стадии предобогащения.

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 рекоменду-



ется 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 должны быть охарактеризованы все природные разновидности руд, выявленные на месторождении. По результатам их испытаний проводится геолого-технологическая типизация руд месторождения с выделением промышленных (технологических) типов и сортов руд, 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 технологические испытания проводятся в соответствии с программой, разработанной организацией, выполняющей технологические исследования, совместно с недропользователем и согласованной с проектной организацией. Отбор проб производится по специальному проекту.

Укрупненные лабораторные и полупромышленные технологические пробы должны быть представительными, т. е. отвечать по химическому и минеральному составу, структурно-текстурным особенностям, контрастности, физическим и другим свойствам средним параметрам руд данного промышленного (технологического) типа с учетом возможного разубоживания при добыче и повышения содержания в руде компонентов после крупнопорционной сортировки. По гранулярному составу пробы должны соответствовать отбитой горнорудной массе принятой системы отработки.

36. При исследовании исходной руды или промпродукта радиометрической сепарации и отсева, используя методы и приемы технологической минералогии, изучаются степень их окисленности, минеральный состав, структурные и текстурные особенности, а также физические и химические свойства минералов и минеральных комплексов, степень контрастности этих свойств, устанавливается наличие попутных компонентов и вредных примесей. Оценивается дробимость, степень раскрытия минеральных фаз, промываемость руды, проводят ситовый и гравитационный анализы узких классов мытой руды и шламов промывки, магнитный анализ мелких классов. Выбирается технологическая схема обогащения, устанавливается число стадий и стадийная крупность измельчения. Определяются способы обогащения и доводки концентратов и промпродуктов, содержащих попутные компоненты.

37. Технологические свойства руд ниобиевых, танталовых и редкоземельных месторождений зависят от их минерального состава, текстурно-структурных особенностей, содержания  $Nb_2O_5$ ,  $Ta_2O_5$  и  $TR_2O_3$ , комплексности, степени радиоактивности.

Ниобиевые руды пироклорового состава (как в корах выветривания, так и в коренных карбонатах) обогащаются по схемам, зависящим в основном от размеров вкрапленности

пирохлора. Крупновкрапленные руды обогащаются по гравитационным схемам, средневкрапленные подвергаются первичному обогащению по комбинированным гравитационно-флотационным, а тонковкрапленные – по флотационным схемам. В отмеченные схемы в зависимости от физико-химических свойств полезных минералов, как правило, включаются магнитные, электрические, химические и другие методы обогащения. Содержание  $Nb_2O_5$  в пирохлоровых концентратах составляет около 60 %.

Конечным продуктом, непосредственно получаемым из пирохлорового и колумбитового концентратов, является феррониобий ( $FeNb$ ), содержащий около 65 % Nb и используемый для легирования стали. Методом алюминотермии возможно получение алюмониобиевых лигатур (в дальнейшем перерабатываемых на феррониобий) из некондиционных по содержанию  $Nb_2O_5$  пирохлоровых концентратов.

Для танталовых руд простого состава применяется механическое обогащение гравитационным методом, а для комплексных руд сложного минерального состава при обогащении (с учетом извлечения попутных компонентов) используются сложные комбинированные схемы, сочетающие гравитационные методы, флотацию и различные методы сепарации (магнитную, электромагнитную, полиградиентную, радиометрическую). С помощью гравитационных методов получают танталовые концентраты, флотация же применяется для извлечения попутных компонентов из хвостов гравитации, а также, наряду с полиградиентной сепарацией и обжигом, для доводки черновых танталовых концентратов.

Лопаритовые руды обогащаются гравитационным методом. Черновые концентраты доводятся до требований кондиций методами магнитной и электрической сепарации. Товарные концентраты содержат 93–98 % лопарита, его извлечение из руды составляет 75–80 %. Состав концентрата (%):  $Ta_2O_5$  – 0,5–0,6,  $Nb_2O_5$  – 7–8,  $\Sigma TR_2O_3$  – 36–38,  $TiO_2$  – 38–42,  $Fe_2O_3 \leq 2,5$ ,  $SiO_2$  – 2,9,  $ThO_2$  – 0,6.

Переработка лопаритового концентрата производится химико-металлургическим способом по хлорной технологии с получением следующих продуктов: пентоксидов ниобия ( $Nb_2O_5$ ) и тантала ( $Ta_2O_5$ ), плава хлоридов редкоземельных металлов, тетрахлорида титана. Плав хлоридов редкоземельных металлов направляется на гидрометаллургическую переработку с целью получения индивидуальных оксидов, чистых металлов черновой группы и другой продукции.

Редкоземельные руды обогащаются гравитационными или флотационными (чаще комбинированными) методами с применением также радиометрических способов, основанных на естественной радиоактивности руд. Полученные концентраты с содержанием 30–70 % суммы оксидов редкоземельных элементов подвергаются химико-металлургической переработке (методом сульфатизации или хлорирования) с последующей ионообменной хроматографией или экстракцией, имеющей целью разделение компонентов и получение чистых оксидов или соединений редкоземельных элементов, которые затем восстанавливаются металлотермически или электролитически до редкоземельных металлов или лигатурных сплавов, пригодных для последующего использования в металлургии.

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

Промышленные (технологические) типы и сорта руд должны быть охарактеризованы по соответствующим предусмотренным кондициям показателям, определены основные технологические параметры обогащения и химической переработки. (для процессов гравитации, магнитной сепарации и флотации – выход концентрата, его качество: содержание

редких металлов, других полезных компонентов и вредных примесей), метод переработки концентрата, извлечение редких металлов и других полезных компонентов в отдельных операциях и сквозное их извлечение, расход реагентов, объем и характеристика (гранулярный состав, остаточная концентрация реагентов) продуктов, направляемых в хвостохранилище, необходимость и способы обезвреживания промстоков.

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 ГМЗ по переработке редкометалльных руд.

Качество концентратов должно в каждом конкретном случае регламентироваться договором между поставщиком (рудником) и металлургическим предприятием или должно соответствовать существующим стандартам и техническим условиям. Для сведения в табл. 6 в качестве ориентировочных приведены технические требования к концентратам, которые использовались в странах СНГ. Государственные и отраслевые стандарты, а также технические условия на редкоземельные концентраты отсутствуют.

Таблица 6

Основные требования к концентратам

Концентраты и содержащиеся в них компоненты	Содержание %			
	I сорт	II сорт	III сорт	IV сорт
Лопаритовые (ТУ 48-4-300-74)				
– лопарит, не менее	90	90	90	65
– сумма Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub> и Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , не менее	8,0	8,0	8,0	8,0
– фосфор, не более	0,016	0,1	0,3	0,5
– кремнезем, не более	2,5	2,5	6,0	8,0
Пироклоровые (ОСТ 48-37-72)				
– сумма Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub> и Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , не менее	38,0	–	–	–
– влага, не более	1,0	–	–	–
– примеси на 1 % суммы Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub> и Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , не более:				
SiO <sub>2</sub>	0,32	–	–	–
TiO <sub>2</sub>	0,32	–	–	–
P	0,0025	–	–	–
S	0,003	–	–	–
Танталовые (ТУ 48-233-72) Марка ТАК-1				
– тантала, не менее	40	26	17	5
– кремнезема, не более	Не нормируется	7	7	10

39. 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 баланс их распределения в продуктах обогащения и передела руд и концентратов, а также установить условия, возможность и экономическую целесообразность их извлечения.

Должна быть изучена возможность использования оборотных вод и отходов, получаемых по рекомендуемой технологической схеме: переработки шламов для микроудобрений; даны рекомендации по очистке промстоков.

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

40. 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, который производится, руководствуясь соответствующими методическими документами.

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

41. 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.

42. Разработка месторождений редкометалльного сырья производится открытым, подземным и комбинированным способами. Перспективным направлением в отработке редкометалльных месторождений в корах выветривания является геотехнологический способ добычи: скважинная гидравлическая добыча (СГД). Применяемые способы разработки зависят от горно-геологических условий залегания рудных тел, принятых горнотехнических показателей, схем добычи руды и обосновываются в ТЭО разведочных кондиций.

Геотехнологические способы добычи позволяют эффективно обрабатывать самые мелкие месторождения, характеризующиеся сложными горно-геологическими и гидрогеологическими условиями, дорабатывать запасы за контуром карьеров и шахтных полей, под водоемами, в болотистых местностях.

Основная цель геоэкологических исследований заключается в информационном обеспечении проекта освоения месторождения в части природоохранных мер.

Основная экологическая опасность при разведке, добыче и переработке руд связана с их повышенной радиоактивностью, обусловленной примесями урана и тория, и частым присутствием других токсичных элементов (бериллия, лития, цезия, мышьяка, висмута, фтора, органических соединений), что требует достаточно жесткого контроля за отвалами и хвостохранилищами.

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 стоками, воздуха выбросами в атмосферу, повышенная радиоактивность 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, даны рекомендации по проведению природоохранных мероприятий.

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.

43. 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 гидрогеологических, инженерно-геологических и других природных условиях разработки, требующих постановки специальных работ, объемы, сроки и порядок проведения исследований согласовываются с недропользователями и проектными организациями.

44. По районам новых месторождений необходимо указать площади с отсутствием залежей полезных ископаемых для размещения объектов производственного и жилищно-гражданского назначения, хвостохранилищ и отвалов пустых пород. Приводятся данные о наличии местных строительных материалов и возможности использования в качестве их вскрышных пород изучаемого месторождения.

45. 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.

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

47. 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**

48. Подсчет и квалификация по степени разведанности запасов месторождений ниобия, тантала и редкоземельных металлов производится в соответствии с требованиями «Классификации запасов месторождений и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых», утвержденной приказом Министра природных ресурсов Российской Федерации от 7 марта 1997г. № 40.

49. 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 (тектоническому блоку, ограниченному разрывными нарушениями, крылу, замковой части складки);

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.

50. При подсчете запасов должны учитываться следующие дополнительные условия, отражающие специфику месторождений.

Запасы категории А при разведке подсчитываются только на месторождениях 1-й группы на участках детализации в блоках, оконтуренных скважинами и горными выработками. На разрабатываемых месторождениях запасы категории А подсчитываются по данным эксплуатационной разведки и горно-подготовительных выработок. К ним относятся запасы подготовленных или готовых к выемке блоков, отвечающие по степени изученности требованиям Классификации запасов к этой категории.

Запасы категории В при разведке подсчитываются только на месторождениях 1-й и 2-й групп. 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, 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 С<sub>1</sub> 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. На тех месторождениях, где невозможно провести геометризацию рудных тел, количество и качество балансовых и забалансовых запасов и промышленных типов руд в подсчетном блоке определяется статистически. При этом изученность основных особенностей внутреннего строения должна обеспечить выявление рудонасыщенности и закономерностей распределения участков кондиционных руд.

Контур запасов категории С<sub>1</sub>, 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 качества руд.

Запасы категории С<sub>2</sub> 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, или путем экстраполяции по простираанию и падению от разведанных запасов более высоких категорий при наличии подтверждающих экстраполяцию единичных пересечений, результатов геофизических работ, геолого-структурных построений и установленных закономерностей изменения мощностей рудных тел и содержания ниобия, тантала, редкоземельных металлов.

51. Запасы подсчитываются отдельно по категориям разведанности, способам отра-

ботки (карьерными, штольневыми горизонтами, 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.

52. При подсчете запасов традиционными методами (геологических блоков, разрезов и др.) должны быть выявлены пробы с аномально высоким содержанием полезных компонентов («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 основного полезного компонента по данным сгущения разведочной сети).

53. 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.

54. 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.

55. 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 из-



менение, 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 рудности, содержаний полезных компонентов, объемных масс и т. д.), запасов и качества руд, а также выяснить причины этих изменений.

56. 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 достаточным для обоснования оптимальных интерполяционных формул (для двухмерного 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 участком 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 контролируемы в своем применении и подчинены особенностям геологического строения месторождения. Результаты геостатистического моделирования и оценивания должны проверяться (сравниваться) с результатами традиционных методов подсчета запасов на представительных участках.

57. При компьютерном подсчете запасов должна быть обеспечена возможность просмотра, проверки и корректировки исходных данных (координаты разведочных выработок, данные инклинометрии, отметки литолого-стратиграфических границ или 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.

58. 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.

59. 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)**

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 Министра природных ресурсов Российской Федерации от 7 марта 1997г. № 40.

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

60. На оцененных месторождениях ниобия, тантала и редких земель должна быть определена их промышленная ценность и целесообразность проведения 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 ниобиевых, танталовых и редкоземельных 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 работы 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.

61. На разведанных месторождениях качество и количество запасов, их технологические свойства, гидрогеологические, горнотехнические и экологические условия разработки должны быть изучены по скважинам и горным выработкам с полнотой, достаточной для разработки технико-экономического обоснования решения о порядке и условиях их вовле-

чения 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**

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 ( $\lambda_p$ ) к общей длине пересечений в пределах продуктивной зоны (в границах промышленного оруденения –  $\lambda_o$ ):

$$K_p = \frac{\lambda_p}{\lambda_o} \cdot \quad (1.1)$$

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):

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

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.