

**Методические рекомендации по применению Классификации запасов  
месторождений и прогнозных ресурсов твердых  
полезных ископаемых (никелевых и кобальтовых руд)**

**I. Общие сведения**

1. Настоящие Методические рекомендации по применению Классификации запасов месторождений и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых (никелевых и кобальтовых руд) (далее – Методические рекомендации) разработаны в соответствии с Положением о Министерстве природных ресурсов Российской Федерации, утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации от 22 июля 2004 г. № 370 (Собрание законодательства Российской Федерации, 2004, № 31, ст.3260; 2004, № 32, ст. 3347, 2005, № 52 (3ч.), ст. 5759; 2006, № 52 (3ч.), 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 никелевых и кобальтовых руд.

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

3. Н и к е л ь — серебристо-белый металл, имеющий плотность 8,35–8,90 г/см<sup>3</sup>, температуру плавления 1452 °С; обладает ферромагнитностью, сильным блеском, хорошо полируется, поддается прокатке, ковке и сварке, легко вытягивается в проволоку.

К о б а л ь т — металл белого цвета с красноватым оттенком, имеющий плотность 8,7–8,9 г/см<sup>3</sup>, температуру плавления 1493 °С; отличается сильной и устойчивой ферромагнитностью, ковкостью и тягучестью.

4. Среднее содержание никеля в земной коре (кларк) 0,0058 %, кобальта – 0,0036 %. Наиболее высокие содержания обоих элементов отмечаются в ультраосновных горных породах.

Известно более 40 никелевых и около 30 кобальтовых минералов, большинство из которых представляют собой простые или сложные сульфидные, арсенидные и сульфоарсенидные соединения. До 10 минералов никеля являются водными силикатами. В более чем 100 минералах никель и кобальт содержатся как изоморфная примесь или находятся в адсорбированной форме. Главнейшие минералы никеля и кобальта приведены в табл. 1.

**Важнейшие промышленные минералы никеля и кобальта**

Название минерала и химическая формула	Содержание, %	
	никеля	кобальта
1	2	3
<b>I Сульфиды</b>		
Пентландит $(\text{Fe}, \text{Ni})_9\text{S}_8$	22–42	1–3
Никелистый пирротин $\text{FeS}$	0,4–0,7	–
Миллерит $\text{NiS}$	61–64	0,1–0,5
Линнеит $\text{Co}_3\text{S}_4$	–	40–53
Кобальтпирит $(\text{Fe}, \text{Co})\text{S}_2$	–	0,05–3
<b>II. Арсениды, сульфоарсениды и арсенаты</b>		
Скуттерудит $\text{CoAs}_3$	0–9	11–20
Саффлорит $(\text{Co}, \text{Fe})\text{As}_2$	0–0,3	10–30
Шмальтин – хлоантит $(\text{Co}, \text{Ni})\text{As}_2$	1–21	4–24
Кобальтин $\text{CoAsS}$	0,5–2	26–34
Эритрин $\text{Co}_3(\text{AsO}_4)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$	0–6	20–30
<b>III. Силикаты, гидросиликаты и гидроксиды</b>		
Гарниерит $(\text{Ni}, \text{Mg})_4[\text{Si}_4\text{O}_{10}](\text{OH})_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	16–35	0–0,1
Ревдинскит $(\text{Ni}, \text{Mg})_8[\text{Si}_4\text{O}_{10}](\text{OH})_8$	16–35	0,0–0,1
Никелевый керолит $(\text{Mg}, \text{Ni})_4[\text{Si}_4\text{O}_{10}](\text{OH})_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	10–15	Следы
Нонтронит $m\{\text{Mg}_3[\text{Si}_4\text{O}_{10}](\text{OH})_2\} \cdot p\{(\text{Al}, \text{Fe})_2 \cdot [\text{Si}_4\text{O}_{10}]\}$	0,5–2,0	Следы
Никелевый серпофит $(\text{Mg}, \text{Ni}, \text{Fe})_6[\text{Si}_4\text{O}_{10}](\text{OH})_8$	4–5	Следы
Никелевый гидрохлорит $(\text{Mg}, \text{Al}, \text{Fe})_6[(\text{Si}, \text{Al})_4\text{O}_{10}] \cdot$	2–6	0,03–1,2
Асболаны и псиломеланвады $m(\text{Co}, \text{Ni})\text{O} \cdot \text{MnO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$	0,8–20	0,8–32
Гетерогенит $\text{CoO} \cdot 2\text{Co}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	–	10–20

5. Основная часть получаемого никеля (65 %) расходуется на производство жаропрочных, конструкционных, инструментальных и нержавеющей сталей, где никель применяется в качестве легирующего элемента. До 20 % никеля используется в производстве сплавов и суперсплавов совместно с железом, хромом, медью, цинком и другими металлами. Кроме того, значительное количество никеля (до 7 %) расходуется на электролитическое покрытие поверхностей других металлов и сплавов. Никель также применяется в качестве катализатора при многих химических процессах и при производстве аккумуляторов.

Кобальт (до 40 %) в виде металла или оксида применяется в жаропрочных и жаростойких сплавах и сталях, где служит легирующей добавкой к другим металлам. До 20 % кобальта идет на изготовление магнитных сплавов, обладающих большей магнитной энергией на единицу объема, чем магниты из других сплавов. В большом количестве (16 %) кобальт применяется для изготовления твердых сплавов, среди которых различаются литые (стеллиты) и металлокерамические сплавы (керметы), в состав которых кроме кобальта входят хром, вольфрам, титан, молибден и углерод. В химической и керамической промышленности потребляется до 20 % кобальта в качестве катализатора или для изготовления красок и эмалей. В последнее время кобальт широко применяется в производстве литиево-кобальтовых аккумуляторов и элементов питания. Радиоактивный изотоп  $^{60}\text{Co}$  применяется в медицине, дефектоскопии и сельском хозяйстве.

6. Основными геолого-промышленными типами месторождений никеля и кобальта являются магматические сульфидные медно-никелевые, гипергенные силикатные никелевые коры выветривания и гидротермальные арсенидные и сульфоарсенидные никель-кобальтовые и собственно кобальтовые месторождения (табл. 2).

7. Сульфидные медно-никелевые месторождения (37 % мировых запасов никеля и более 10 % кобальта) генетически связаны с дифференцированными массивами ультраосновных и основных магматических пород (перидотитов, габбро-норитов, габбро и габбро-диабазов). Медно-никелевые рудные тела располагаются преимущественно в придонной части интрузивов, а иногда во вмещающих интрузивы породах. Руды представлены вкрапленными и прожилковыми разностями, в меньшей степени – сплошными и брекчиевидными. Рудные тела имеют, как правило, крупные размеры: протяженность по падению и простиранию до нескольких километров, мощность до 100 м; плитообразные, пластообразные, линзообразные, жилообразные и более сложные формы; залегают субгоризонтально, реже полого- или крутонаклонно. Господствующее развитие имеют согласные пластообразные залежи вкрапленных руд. К лежащему боку рудных тел приурочены сплошные руды, образующие отдельные пласты, линзы и жилы, сложенные массивными, брекчиевидными и густовкрапленными разновидностями. Характерной особенностью сульфидных месторождений является сравнительно выдержанный минеральный состав руд. Главными минералами руд являются пирротин, пентландит, халькопирит и магнетит; второстепенными – пирит, кубанит, миллерит, валериит, минералы группы платины; редкими – хромит, маккинавит, самородное золото и др. Руды содержат никель, медь, кобальт, платиноиды, а также селен и теллур, золото, серебро и серу.

Месторождения описываемого типа являются ведущими в запасах и добыче никеля и кобальта в России. В зарубежных странах роль сульфидных медно-никелевых месторождений подчиненная.

8. Силикатные никелевые месторождения коры выветривания (63 % мировых запасов никеля и 58 % кобальта) развиваются при латеритном выветривании основных и ультраосновных пород. По условиям образования, геологическому строению и формам залегания выделяют три основных морфологических типа месторождений, соответствующие трем основным типам коры выветривания: площадной (Буруктаьское, Сахаринское, Серовское), линейный (Синарское), линейно-площадной (Черемшанское). Рудные тела силикатных никелевых месторождений, как правило, значительные по размерам: протяженность сотни метров – первые километры, мощность от 1 до 30–50 м; форма их обычно плащеобразная, пластообразная со сложными контурами в плане; встречаются линзовидные, нередко с карманообразными углублениями, клинообразные и гнездовидные тела; не имеют четких геологических границ и оконтуриваются по данным опробования.

Залегание рудных тел обычно горизонтальное или пологонаклонное; исключение составляют рудные тела месторождений контактово-карстового подтипа коры выветривания (Черемшанское). Минеральный состав руд очень сложный. Никель в рудах распределен во многих минеральных формах и представлен как силикатными, так и оксидными соединениями. Руды, кроме никеля, содержат в небольшом количестве кобальт, концентрирующийся в марганцевых минералах в охрах и обохренных серпентинитах.

Эти руды характеризуются тонкодисперсным и аморфно-кристаллическим распределением металла, обычно входящего в различные минеральные фазы.

Таблица 2

**Главные промышленные типы месторождений никеля и кобальта**

Промышленный тип месторождений	Структурно-морфологический тип	Главные рудные минералы	Содержание в руде		Наиболее характерные попутные	Примеры месторождений
			никеля	кобальта		
1	2	3	4	5	6	7

1	2	3	4	5	6	7
Сульфидные медно-никелевые	Согласные пластообразные залежи, линзы	Никелистый пирротин, пентландит, халькопирит (талнахит, моихукит), кубанит, магнетит	От десятых долей до нескольких процентов	От сотых до десятых долей процента	Платиноиды, золото, серебро, селен, теллур	Норильск-I, Талнахское, Октябрьское, Ждановское, Семилетка (Россия), Седбери (Канада), Инсизва (ЮАР), Микола-Нивола (Финляндия), Камбалда (Австралия)
Силикатные никелевые коры выветривания	Пластообразные, плащеобразные залежи	Гарниерит, ревдинскит, керолит, нонтронит, гидрохлориты	От 0,7–0,8 % до нескольких процентов	От сотых до десятых долей процента	Железо	Серовское, Буруктальское, Сахаринское (Россия), месторождения Кемпирсайской (Казахстан), Побужской групп (Украина), Новой Каледонии, Кубы, Бразилии, Индонезии, Австралии
Арсенидные и сульфоарсенидные никель-кобальтовые и собственно кобальтовые	Трещинные жилы, жильообразные тела	Шмальтин, хлонтит, никелин, skutтерудит, кобальтин	От десятых долей до нескольких процентов	Первые проценты	Золото, сурьма, ртуть	Ховуаксы (Россия), Бу-Аззер (Марокко), месторождения района Кобальт (Канада)

Остаточные коры выветривания образованы гипергенным серпентином, феррисаполитом, нонтронитом, гётитом-гидрогётитом, маггемитом, гипергенным магнетитом, кобальт-никелевыми асболонами и железо-кремниевыми фазами. Зонам инфильтрации свойственны никелевые и магний-никелевые серпентины, талькоподобные магний-никелевые минералы (керолит, пимелит), а также их смеси. В преобразованных корах выветривания развиты никелевый бертьерит, гипергенный магнетит, маггемит, миллерит, магний-никелевые серпентины и амезиты.

Руды по комплексу рудообразующих минералов и компонентов (никель и кобальт, железо, магнезия, кремнезем и глинозем) подразделяются на два основных типа: железистые (охристые, лептохлоритовые, гематитовые) и магнезиальные (серпентиниты с никелевыми силикатами).

Силикатные никелевые руды являются необогатимыми с помощью традиционных механических методов и поэтому подвергаются непосредственно гидро- или пирометаллургическому переделу.

Содержание никеля в рудах варьирует от 0,5 % до первых процентов, а кобальта – от нескольких сотых до первых десятых процента.

Вредными примесями в силикатных никелевых рудах являются медь и хром, а при плавке на ферроникель – и фосфор.

Силикатные никелевые месторождения в России играют подчиненную роль в запасах и добыче никеля и кобальта. В зарубежных странах месторождения этого типа – ведущие в запасах никеля и кобальта и их производстве.

9. Арсенидные и сульфоарсенидные никель-кобальтовые и собственно кобальтовые месторождения представлены трещинными жилами и жиллообразными телами вкрапленных и прожилково-вкрапленных руд гидротермального происхождения (Ховуаксы). Жилы имеют сложные формы, с раздувами и пережимами. Встречаются кулисообразно залегающие серии линз с переходом в зоны прожилков и вкрапленности. Помимо главных рудных минералов присутствуют леллингит, самородное серебро, аргентит, электрум, самородный висмут, арсенопирит, теннантит, антимонит, киноварь, реже отмечаются сфалерит, галенит. Среди минералов зоны окисления наиболее распространены арсенаты кобальта и никеля группы эритрина–аннабергита. Жильными минералами являются кварц, кальцит, доломит, реже анкерит и хлорит. Руды содержат кобальт, никель, медь, серебро, золото, висмут и мышьяк.

Месторождения этого типа не имеют широкого распространения, и роль их в запасах никеля и кобальта в России невелика; доля участия их в запасах и добыче зарубежных стран также ничтожно мала.

10. Кроме описанных геолого-промышленных типов за рубежом выявлены ильменит-магнетитовые никеленосные (Норвегия), колчеданные никеленосные (Финляндия) и жильные «пятиэлементной формации» (ЮАР) месторождения, на долю которых приходится менее 1 % мировых запасов никеля. В России месторождения этих типов не известны.

11. Значительная доля запасов кобальта сосредоточена в комплексных кобальтсодержащих месторождениях, которые кроме указанных выше сульфидных медно-никелевых и силикатных никелевых включают в себя следующие геолого-промышленные типы: медистых песчаников и сланцев, железорудные (магнетитовые) и медноколчеданные.

Стратиформные месторождения кобальтсодержащих медистых песчаников и сланцев выявлены только в Республике Конго, Замбии и Уганде. Рудные тела представлены пластообразными, реже жиллообразными формами. Кобальт присутствует в рудах в основном в виде кобальтсодержащего пирита, линнеита и карролита в ассоциации с минералами меди и урана. Содержание кобальта до 0,3 % в сульфидных и 0,25–2,0 % в окисленных рудах. Масштаб месторождений этого типа очень крупный, запасы кобальта в них составляют до 50 % общемировых, а производство свыше 40 %. В России аналогичных месторождений не выявлено.

В железорудных месторождениях кобальт присутствует в кобальтсодержащем пирите, частично в магнетите, а также, реже, в арсенидах и сульфоарсенидах. Содержание кобальта в рудах 0,007–0,028 %. Месторождения этого типа известны во многих странах мира, в том числе и в России. В настоящее время при переработке этих руд кобальт не извлекается, несмотря на наличие технологий, по экономическим причинам.

В месторождениях медноколчеданного типа кобальт сосредоточен в пирите в виде изоморфной примеси и реже встречаются собственные минералы – кобальтин, линнеит и др. Содержание кобальта в рудах 0,013–0,07 %. Месторождения этого типа известны в Финляндии, Норвегии и России. Извлекается кобальт из таких руд только в Финляндии.

12. Новым потенциально-промышленным типом являются железомарганцевые конкреции (ЖМК), встречающиеся во всех океанах на поверхности абиссальных равнин на глубинах 4500–5500 м. Подавляющее число рудных полей сосредоточено в Тихом океане,

особенно в заоне Кларион – Клиппертон (1500 × 2000 км). Плотность залегания конкреций (их масса приходящаяся на 1 м<sup>2</sup> дна) варьируется в широких пределах, редко превышая 30 кг/м<sup>2</sup>.

Залежи являются комплексными месторождениями Mn, Ni, Co и Cu. Диаметр конкреций составляет 0,1–10 см, преимущественно 3–7 см. Конкреции содержат (%): Mn 25–30, Fe 6–12, Ni 1–2, Co 0,2–1,5, Cu 1–1,5, P 0,5–1; в качестве примесей в них обнаружены Mo, PЗЭ, V, платиноиды, Au и другие компоненты.

Потенциальный интерес представляют также кобальт железомарганцевые конкреционно-корковые (КМК) образования\* Мирового океана, известные на подводных горах и океанических поднятиях на глубинах от 300 до 4000 м, где они нередко образуют покрытия мощностью от нескольких миллиметров до 10 см на коренных породах или уплотненных осадках. Коры сложены гидроксидами Fe и содержат Mn, Ni, Cu, Co и P.

13. Интерес для освоения могут представлять техногенные месторождения, образовавшиеся в результате складирования забалансовых никелевых и кобальтовых руд, никель- и кобальтсодержащие отходы обогатительного (пирротиновый концентрат, хвосты) и металлургического (шлаки, кеки) процессов. Состав и строение техногенных месторождений определяются геолого-промышленным типом исходного природного месторождения, способом добычи и технологической схемой переработки минерального сырья, а также условиями складирования и сроками хранения отходов. Указанные факторы требуют специфических подходов к изучению и оценке техногенных месторождений, особенности которых изложены в соответствующих нормативно-методических документах и в настоящих Методических рекомендациях не рассматриваются.

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

14. По размерам и форме рудных тел, изменчивости их мощности, внутреннего строения и особенностям распределения никеля месторождения никелевых руд соответствуют 1-, 2- и 3-й группам, а месторождения кобальтовых руд – 4-й группе сложности, установленных «Классификацией 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 сульфидные медно-никелевые месторождения (участки) простого геологического строения с рудными телами, представленными крупными пластообразными залежами вкрапленных руд с выдержанной мощностью и относительно равномерным распределением никеля (залежи вкрапленных руд месторождений Талнах-Октябрьского района и Норильск-1).

По простиранию длина рудных тел достигает нескольких километров при ширине от 300 м до 1,5 км. Мощность тел обычно составляет 30–40 м, снижаясь на фланговых частях месторождения до 5–10 м, а в центральных осевых частях достигает 60–100 м.

Ко 2-й группе относятся:

сульфидные медно-никелевые месторождения (участки) сложного геологического строения с рудными телами, представленными крупными пластообразными и плитообразными залежами сложного строения, невыдержанной мощности, с раздувами, пережимами и ответвлениями или с неравномерным распределением никеля (залежи богатых руд Октябрьского и Талнахского месторождений, месторождения Ждановское, Заполярное, Кот-

---

\* Требования к изучению железомарганцевых конкреций и кобальтомарганцевых корок Мирового океана регламентируются соответствующими нормативно-методическими документами.

сельваара-Каммикиви, Семилетка). Длина рудных тел составляет от первых сотен метров до нескольких километров. По ширине аналогичные размеры имеют субгоризонтальные тела. Длина отдельных наклонных и крутопадающих тел по падению может достигать 1,5 км и более. Мощность тел изменяется в пределах от первых метров до 100 м;

силикатные никелевые месторождения с крупными, средними и мелкими залежами пластообразной, плащеобразной, линзообразной и клиновидной формы, невыдержанной мощности, с раздувами, пережимами, карманообразными углублениями, со сложным характером выклинивания и неравномерным распределением никеля (Буруктальское, Черемшанское, Серовское, Сахаринское). Размеры рудных тел, залегающих практически горизонтально или слабонаклонно, варьируют от сотен метров до первых километров при мощности от 1 до 30–50 м.

К 3-й группе относятся:

медно-никелевые месторождения (участки) очень сложного геологического строения с рудными телами, представленными средними и мелкими залежами очень сложной формы (линзовидными, жиллообразными), весьма невыдержанными по мощности, с многочисленными ответвлениями, раздувами, пережимами, со сложным характером выклинивания и неравномерным распределением никеля. Длина рудных тел по простиранию и падению десятки – первые сотни метров, мощность от 1–2 м до первых десятков метров (Спутник, Шануч, участки «медистых» руд Октябрьского и Талнахского месторождений);

месторождения силикатных никелевых руд, связанные с корой выветривания смешанного типа со средними и мелкими узколинзообразными и клиновидными залежами весьма невыдержанной мощности. Размеры рудных тел по простиранию и падению составляют первые сотни метров при мощности от 1 до 10–20 м (Кунгурское, Покровское, Синарское месторождения).

К 4-й группе относятся арсенидные и сульфоарсенидные никель-кобальтовые и собственно кобальтовые месторождения весьма сложного геологического строения с рудными телами, представленными мелкими по размерам сложными трещинными жилами весьма невыдержанной мощности, с многочисленными ответвлениями, раздувами и пережимами, со сложным характером выклинивания и весьма неравномерным распределением кобальта. Протяженность рудных тел колеблется от 100 до 400 м по простиранию и от 20 до 600 м по падению при мощности от 0,5 м до первых метров (Ховуаксы).

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

16. С целью более объективного отнесения месторождений к соответствующей группе сложности могут использоваться и количественные характеристики изменчивости основных свойств оруденения (см. приложение).

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

17. 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 никелевых и кобальтовых руд обычно составляются в масштабах 1:1000–1:10 000. Все разведочные и эксплуатационные выработки (канавы, шурфы, штольни, шахты, скважины), профили детальных геофизических наблюдений, а также естественные обнажения рудных тел и минерализованных зон должны быть инструментально привязаны. Подземные горные выработ-

ки 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.

18. 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 (для месторождений силикатных никелевых руд – также на карте развития коры выветривания того же масштаба), на геологических разрезах, планах, проекциях, а в некоторых случаях – на блок-диаграммах и моделях. Геологические и геофизические материалы по месторождению должны давать представление о размерах и форме рудных тел, условиях их залегания, внутреннем строении и сплошности, характере выклинивания рудных тел, особенностях изменения вмещающих пород и взаимоотношениях рудных тел с вмещающими породами, складчатыми структурами и тектоническими нарушениями, а для месторождений силикатных никелевых руд – также о типе кор выветривания (линейный, площадной), взаимоотношениях их с коренными породами 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  $P_1^*$ .

19. Выходы на поверхность и приповерхностные части рудных тел и минерализованных зон, кор выветривания должны быть изучены горными выработками и неглубокими скважинами с применением геофизических и геохимических методов и опробованы. Детальность изучения должна позволить установить морфологию и условия залегания рудных тел, глубину развития и строение зоны окисления или кор выветривания, а также степень окисленности сульфидных руд, особенности изменения вещественного состава, технологических свойств и содержаний никеля и кобальта и провести подсчет запасов окисленных руд отдельно по промышленным (технологическим) типам.

20. Разведка сульфидных медно-никелевых и силикатных никелевых месторождений на глубину проводится в основном скважинами (месторождений сложного строения, особенно арсенидных и сульфоарсенидных, – в основном горными выработками в сочетании со скважинами) с использованием геофизических методов исследования – 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 по категориям, соответствующим группе месторождения по сложности его геологического строения. Она определяется исходя из геологических особенностей месторождения с учетом возможностей горных, буровых и геофизических средств разведки, опыта разведки и разработки месторождений аналогичного типа. При выборе оптимального варианта разведки следует учитывать сравнительные технико-экономические показатели и сроки выполнения работ по различным вариантам разведки.

---

\* По району месторождения и рудному полю необходимо иметь геологическую карту и карту 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 никеля и кобальта и рудопроявлений района, а также участков, на которых оценены прогнозные ресурсы никелевых и кобальтовых 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.



21. По скважинам колонкового бурения должен быть получен максимальный выход керна хорошей сохранности в объеме, обеспечивающем выяснение с необходимой полнотой особенностей залегания рудных тел и вмещающих пород, их мощности, внутреннего строения рудных тел, характера околорудных изменений, распределения природных разновидностей руд, их текстуры и структуры и представительность материала для опробования. Практикой геологоразведочных работ установлено, что выход керна для этих целей должен быть не менее 70 % по каждому рейсу бурения. Достоверность определения линейного выхода керна следует систематически контролировать другими способами – весовым, объемным.

Величина представительного выхода керна для определения содержания никеля и кобальта и мощностей рудных интервалов должна быть определена исследованиями с учетом возможности его избирательного истирания. Для этого необходимо по основным типам руд сопоставить результаты опробования керна и шлама (по интервалам с их различным выходом) с данными опробования горных выработок, скважин ударного, пневмоударного и шарошечного бурения, а также колонковых скважин, пробуренных с применением съемных керноприемников. При низком выходе керна или избирательном его истирании, существенно искажающем результаты опробования, следует применять другие технические средства разведки. При разведке рудных тел, сложенных рыхлыми разновидностями руд, следует применять специальную технологию бурения, способствующую повышению выхода керна (бурение без промывки, укороченными рейсами, применение специальных промывочных жидкостей и т. п.).

Для повышения достоверности и информативности бурения и количественной оценки запасов необходимо использовать методы геофизических исследований в скважинах, рациональный комплекс которых определяется исходя из поставленных задач, конкретных геолого-геофизических условий месторождения и современных возможностей геофизических методов. Комплекс каротажа, эффективный для выделения рудных интервалов и установления их параметров, должен выполняться во всех скважинах, пробуренных на месторождении, и обеспечивать возможность дифференциальной интерпретации результатов измерений с целью последующего использования их для оценки неравномерности оруденения в недрах.

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 контрольными замерами азимутальные и зенитные углы стволов скважин. Результаты этих измерений необходимо учитывать при построении геологических разрезов, погоризонтных планов и расчете мощностей рудных интервалов. При наличии подсечений стволов скважин горными выработками результаты замеров проверяются данными маркшейдерской привязки.

Для скважин необходимо обеспечить пересечение ими рудных тел под углом не менее 30°. Для пересечения крутопадающих рудных тел под большими углами целесообразно применять искусственное искривление скважин. С целью повышения эффективности разведки следует осуществлять бурение многозабойных скважин, а при наличии горизонтов горных работ – и веера скважин подземного бурения. Бурение по руде целесообразно производить одним диаметром.

22. Горные выработки проходятся, как правило, для контроля данных бурения, геофизических исследований и отбора технологических проб, а на месторождениях сложного строения – для изучения (в сочетании со скважинами) условий залегания, морфологии, внутреннего строения рудных тел, их сплошности, вещественного состава руд. На месторождениях арсенидных и сульфоарсенидных руд горные выработки (в сочетании со скважинами) являются основным средством детального изучения условий залегания, морфоло-

гии, внутреннего строения рудных тел, их сплошности и вещественного состава руд.

На месторождениях, разведка которых осуществляется горными выработками, должны быть изучены в достаточном объеме на представительных участках сплошность и изменчивость оруденения по простиранию и падению: по маломощным рудным телам – непрерывным прослеживанием штреками и восстающими, а по мощным рудным телам – пересечением квершлагами, ортами, подземными горизонтальными скважинами.

Горные выработки следует проходить на участках и горизонтах месторождения, намеченных к первоочередной отработке.

23. Расположение разведочных выработок и расстояния между ними должны быть определены для каждого структурно-морфологического типа рудных тел с учетом их размеров и особенностей геологического строения.

Приведенные в табл. 3 обобщенные сведения о плотности сетей, применявшихся при разведке месторождений никелевых и кобальтовых руд в странах СНГ, могут учитываться при проектировании геологоразведочных работ, но их нельзя рассматривать как обязательные.

Для каждого месторождения на основании изучения участков детализации и тщательного анализа всех имеющихся геологических, геофизических и эксплуатационных материалов по данному или аналогичным месторождениям обосновываются наиболее рациональные геометрия и плотность сети разведочных выработок.

Таблица 3

**Сведения о плотности сетей разведочных выработок, применявшихся при разведке месторождений никелевых и кобальтовых руд в странах СНГ**

Группа месторождений	Характеристика рудных тел	Вид выработок	Расстояния между пересечениями рудных тел выработками для категории запасов, 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	Крупные пластообразные залежи вкрапленных руд простого строения с выдержанной мощностью и относительно равномерным распределением никеля	Скважины	100	100	200	200	400	400–600
2-я	Крупные пластообразные и плитообразные залежи сложного строения невыдержанной мощности или с неравномерным распределением никеля	То же	–	–	50–100	50–100	100–200	75–100

1	2	3	4	5	6	7	8	9
	Крупные, средние и мелкие пластообразные, плащеобразные и линзовидные залежи невыдержанной мощности с неравномерным распределением никеля	„	–	–	20–50	20–50	50–100	50
3-я	Средние и мелкие залежи очень сложных форм с весьма неравномерным распределением никеля	„	–	–	–	–	50	25–50
4-я	Мелкие сложные жилы невыдержанной мощности с весьма неравномерным распределением никеля и кобальта	Горные выработки	–	–	–	–	Непрерывное прослеживание 50	30–40
		Скважины	–	–	–	–	50	50

**П р и м е ч а н и е.** На **оцененных месторождениях** разведочная сеть для категории  $C_2$  по сравнению с сетью для категории  $C_1$  разрежается в 2–4 раза в зависимости от сложности геологического строения месторождения.

24. Для подтверждения достоверности запасов отдельные участки месторождений должны быть разведаны более детально. Эти участки следует изучать и опробовать по более плотной разведочной сети, по сравнению с принятой на остальной части месторождения. На месторождениях 1-й группы запасы на таких участках или горизонтах должны быть разведаны по категориям А+В, 2-й группы – по категории В, 3-й и 4-й групп – по категории  $C_1$ . На месторождениях 3-й группы сеть разведочных выработок на участках детализации целесообразно сгущать, как правило, не менее чем в 2 раза по сравнению с принятой для категории  $C_1$ .

При использовании для подсчета запасов методов геостатистического моделирования, метода обратных расстояний и других на участках детализации необходимо обеспечить плотность разведочных пересечений, достаточную для обоснования оптимальных интерполяционных формул.

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

Полученная на участках детализации информация используется для обоснования

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

На месторождениях с прерывистым оруденением (4-я группа), 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 селективной выемки.

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

Полнота и качество первичной документации, соответствие ее геологическим особенностям месторождения, правильность определения пространственного положения структурных элементов, составления зарисовок и их описаний должны систематически контролироваться сличением с натурой специально назначенными в установленном порядке комиссиями. При проверке 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), представительность минералогических и инженерно-гидрогеологических исследований, качество определений объемной массы, обработки проб и аналитических работ.

26. 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.

27. Выбор методов (геологических, геофизических\*) и способов опробования производится на ранних стадиях оценочных и разведочных работ исходя из конкретных геологических особенностей месторождения и физических свойств полезного ископаемого и вмещающих пород. Они должны обеспечивать наибольшую достоверность результатов при достаточной производительности и экономичности. В случае применения нескольких методов и способов опробования их необходимо сопоставить по точности результатов и достоверности.

При выборе методов (геологических, геофизических) и способов (керновый, бороздовый, задииковый и др.) опробования, определении качества отбора и обработки проб, оценке достоверности результатов опробования следует руководствоваться соответствующими нормативно-методическими документами.

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

сеть опробования должна быть выдержанной, плотность ее определяется геологическими особенностями изучаемых участков месторождения; пробы необходимо отбирать в направлении максимальной изменчивости оруденения; в случае пересечения рудных тел разведочными выработками (в особенности скважинами) под острым углом к направлению

---

\* 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.

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 разведочных выработках 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; при этом интервалы с разным выходом керна опробуются отдельно; при наличии избирательного истирания керна опробованию подвергаются как керна, так и измельченные продукты бурения (шлам, пыль и др.); мелкие продукты отбираются в самостоятельную пробу с того же интервала, что и кверная проба, обрабатываются и анализируются они отдельно. При небольшом диаметре бурения и весьма неравномерном распределении минералов сурьмы деление керна при опробовании на половинки не производится.;

в горных выработках, пересекающих рудное тело на всю мощность, и в восстающих опробование должно проводиться по двум стенкам выработки, в выработках, пройденных по простиранию рудного тела, – в забоях. Расстояния между пробами в прослеживающих выработках обычно не превышают 2–4 м, а для арсенидных и сульфоарсенидных месторождений 1–2 м (рациональный шаг опробования должен быть подтвержден экспериментальными данными). В горизонтальных горных выработках при крутом залегании рудных тел все пробы размещаются на постоянной, заранее определенной высоте. Принятые параметры проб должны быть обоснованы экспериментальными работами.

Результаты геологического и геофизического опробования скважин и горных выработок являются основой 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), равной 1 м; увеличение интервалов опробования возможно при выдержанности параметров оруденения, а уменьшение – в случае крайней неравномерности его, но должно оставаться кратным 1 м. Методика дифференциальной интерпретации геофизических данных для прогнозирования показателей радиометрической сепарации должна обеспечивать оценку содержания ценного компонента с достаточной точностью при линейных размерах пробы, соответствующих куску максимальной крупности (100–200 мм). По данным опробования и результатам документирования каменного материала скважин и горных выработок производится также количественная оценка распространенности в рудах пустых (некондиционных) прослоев, включаемых в контур подсчета запасов в соответствии с принятыми параметрами кондиций.

29. Качество опробования по каждому принятому 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 и надежность оконтуривания рудных тел по мощности, выдержанность принятых параметров проб и соответствие фактической массы пробы расчетной исходя из принятого сечения борозды или фактического диаметра и выхода керна (отклонения не должны превышать  $\pm 10\text{--}20\%$  с учетом изменчивости плотности ру-

ды).

Точность бороздового опробования следует контролировать сопряженными бороздами того же сечения, кернового опробования в случае деления керна на половинки — 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. Данные по каротажу должны быть подтверждены результатами опробования керна по опорным скважинам с высоким его выходом (более 90 %).

В случае выявления недостатков, влияющих на точность опробования, следует производить переопробование (или повторный каротаж) рудного интервала.

При наличии избирательного истирания керна, существенно искажающего результаты опробования, его достоверность по скважинам заверяется опробованием сопряженных горных выработок.

Достоверность принятого метода и способа опробования контролируется более представительным способом, как правило валовым, руководствуясь с соответствующими нормативно-методическими документами. Для этой цели необходимо также использовать данные технологических проб, валовых проб, отобранных для определения объемной массы в целиках, и результаты отработки.

Для действующих предприятий достоверность принятых способов опробования заверяется сопоставлением в пределах одних и тех же горизонтов, блоков или участков месторождения данных, полученных раздельно по горным выработкам и буровым скважинам.

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.

30. 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. Необходимо регулярно контролировать чистоту поверхностей дробильного оборудования.

Обработка контрольных крупнообъемных проб производится по специально составленным программам.

31. Химический состав руд должен изучаться с полнотой, обеспечивающей выявление всех основных, попутных полезных компонентов, вредных примесей и шлакообразующих компонентов. Содержания их в руде определяются анализами проб химическими, спектральными, физическими и 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 утвержденными «Рекомендациями по комплексному изучению месторождений и подсчету запасов попутных полезных ископаемых и компонентов», утвержденными МПР России в установленном порядке.

Рядовые пробы анализируются на все компоненты, содержание которых учитывается при оконтуривании рудных тел по мощности.

На месторождениях сульфидных медно-никелевых руд рядовые пробы анализируются на никель, медь, кобальт и серу, а в рудах с повышенным содержанием платиноидов и золота определяются также и эти компоненты. Другие полезные компоненты (серебро, селен, теллур и др.), вредные примеси (цинк, свинец, мышьяк, фтор, кадмий, висмут), а также шлакообразующие компоненты ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{FeO}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MgO}$  и  $\text{CaO}$ ) определяются

обычно по групповым пробам.

На месторождениях силикатных никелевых руд в рядовых пробах определяются никель, кобальт и железо (для железистых разностей). Групповые пробы анализируются на никель, кобальт, железо, на шлакообразующие компоненты ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$ , иногда  $\text{FeO}$ ,  $\text{MnO}$ ,  $\text{TiO}_2$ ) и вредные примеси ( $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Cu}$  и  $\text{P}_2\text{O}_5$ ).

На месторождениях арсенидных и сульфоарсенидных никелевых и кобальтовых руд в рядовых пробах определяются никель, кобальт, иногда мышьяк, в групповых – медь, мышьяк, висмут, золото, серебро, сера, сурьма, свинец, цинк и шлакообразующие компоненты ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{CaO}$  и  $\text{MgO}$ ).

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

На месторождениях силикатных никелевых руд шлакообразующие компоненты должны быть изучены во всех скважинах по сети, соответствующей категории  $C_1$ .

Для выяснения степени окисления сульфидных, арсенидных и сульфоарсенидных руд и установления границы зоны окисления, а также для определения количества никеля и кобальта, связанных с силикатами, должны выполняться фазовые анализы.

32. Качество анализов проб необходимо систематически проверять, а результаты контроля своевременно обрабатывать в соответствии с методическими указаниями НСАМ и НСОММИ. Геологический контроль анализов проб следует осуществлять независимо от лабораторного контроля в течение всего периода разведки месторождения. Контролю подлежат результаты анализов на все основные, попутные, шлакообразующие компоненты и вредные примеси.

33. 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.

Для выявления и оценки возможных систематических погрешностей должен осуществляться внешний контроль в лаборатории, имеющей статус контрольной. На внешний контроль направляются дубликаты аналитических проб, хранящиеся в основной лаборатории и прошедшие внутренний контроль. При наличии стандартных образцов состава (СОС), аналогичных исследуемым пробам, внешний контроль следует осуществлять, включая их в зашифрованном виде в партию проб, которые сдаются на анализ в основную лабораторию.

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

34. Объем внутреннего и внешнего контроля должен обеспечить представительность выборки по каждому классу содержаний и периоду разведки (квартал, полугодие, год). При выделении классов следует учитывать параметры кондиций для подсчета запасов – бортовое и минимальное промышленное содержание. 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.

35. Обработка данных внутреннего и внешнего контроля по каждому классу содержаний производится по периодам (квартал, полугодие, год), отдельно по каждому методу анализа и лаборатории, выполняющей основные анализы. Оценка систематических расхо-

ждений по результатам анализа СОС выполняется в соответствии с методическими указаниями НСАМ по статистической обработке аналитических данных.

Относительная среднеквадратическая погрешность, определенная по результатам внутреннего контроля, не должна превышать значений, указанных в табл. 4. 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.

36. 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 4

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

Компонент	Класс содержаний компонентов в руде, % (Au, Ag, Se, Te, г/т)*	Предельно допустимая относительная среднеквадратическая погрешность, %	Компонент	Класс содержаний компонентов в руде, % (Au, Ag, Se, Te, г/т)*	Предельно допустимая относительная среднеквадратическая погрешность, %
1	2	3	4	5	6
Ni	1–2	5	Te	100–500	17
	0,5–1	7		50–100	22
	0,2–0,5	10		20–50	25
Co	>1	2,5		5–20	30
	0,5–1,0	3,5		1–5	30
	0,1–0,5	6,0	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	10–20	2,5
	0,05–0,1	10		5–10	3
	0,01–0,05	25		1–5	5
Cu	1–3	5,5		0,1–1	8,5
	0,5–1	8,5	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,1–0,3	11
	0,2–0,5	13		0,05–0,1	15
	0,1–0,2	17		0,01–0,05	25
S	30–40	1,2		0,001–0,01	30
	20–30	1,5	SiO <sub>2</sub>	>50	1,3
	10–20	2		20–50	2,5
	2–10	6		5–20	5,5
	1–2	9		1,5–5	11



1	2	3	4	5	6
Au	4–16	18	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	10–20	3
	1–4	25		5–10	6
	0,5–1	30		1–5	12
	<0,5	30	FeO	5–12	5,5
Ag	100–300	7		3,5–5	10
	30–100	12		<3,5	20
	10–30	15	MgO	20–40	3
	1–10	22		10–20	4,5
	0,5–1	25		1–10	9
Se	100–500	15	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15–25	4,5
	50–100	20		10–15	5
	20–50	25		5–10	6,5
	5–20	30		1–5	12
	1–5	30			
* Если выделенные на месторождении классы содержаний отличаются от указанных, то предельно допустимые относительные среднеквадратические погрешности определяются интерполяцией					

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

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

38. Минеральный состав природных разновидностей и промышленных типов 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, характеристикой их физических свойств производится также количественная оценка их распространенности.

В сульфидных медно-никелевых, арсенидных и сульфоарсенидных рудах особое внимание должно быть уделено минералам, содержащим никель, кобальт, медь и платиноиды, определению их количества, выяснению их взаимоотношений между собой и с другими минералами (наличие и размеры сростков, характер срастания), размеров зерен и соотношений различных по крупности классов; для руд, требующих обогащения, должно быть определено количество никеля и кобальта, не связанных с сульфидами и уходящих в хвосты.

Для силикатных никелевых руд коры выветривания ультраосновных пород первостепенное значение имеют сведения о их химическом составе, закономерностях распределения в пределах рудных тел никеля, кобальта, шлакообразующих компонентов, триоксида хрома и других вредных примесей. Наряду с этим должен быть определен минеральный состав, тщательно изучены минералы, содержащие никель и кобальт.

В процессе минералогических исследований должно быть изучено распределение ос-

новых, попутных компонентов и вредных примесей и составлен их баланс по формам минеральных соединений.

39. Определение объемной массы и влажности необходимо производить для каждой выделенной природной разновидности руд, внутрирудных некондиционных прослоев и вмещающих пород, руководствуясь соответствующими нормативно-методическими документами.

Объемная масса плотных руд определяется главным образом по представительным парафинированным образцам и контролируется результатами ее определения в целиках. Объемная масса рыхлых, сильно трещиноватых и кавернозных руд, как правило, определяется в целиках. Определение объемной массы может производиться также методом поглощения рассеянного гамма-излучения при наличии необходимого объема заверочных работ. Одновременно с 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.

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

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

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

41. 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 с известными месторождениями, 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 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).

42. Для выделения технологических типов и сортов руд проводится геологотехнологическое картирование, при котором сеть опробования выбирается в зависимости от числа и частоты перемежаемости природных разновидностей руд.

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

ленных (технологических) типов и составляются геолого-технологические карты, планы и разрезы (в соответствии со 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).

На лабораторных и укрупнено-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 степень измельчаемости 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.

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

43. При проведении технологических исследований руд рекомендуется изучить возможность их радиометрической (рентгенорадиометрической и др.) сепарации. Руководствуясь соответствующими методическими документами, должны быть установлены физические признаки, которые могут быть использованы для разделения рудной массы, кусковая контрастность руды, оценены показатели радиометрического обогащения при различных значениях граничных содержаний рудных компонентов. При положительных результатах необходимо уточнить промышленные (технологические) типы руд, требующие селективной добычи, или подтвердить возможность валовой выемки рудной массы, а также определить оптимальную схему радиометрического обогащения. Дальнейшие испытания способов переработки руд проводятся с учетом возможностей и экономической эффективности включения в общую технологическую схему обогащения руд радиометрической сепарации; уточняются данные по дробимости и измельчаемости руд и необходимой степени измельчения материала, данные ситовых анализов исходной руды и продуктов обогащения, сведения о плотности, насыпной массе и влажности исходной руды и продуктов обогащения. Устанавливаются основные показатели радиометрического обогащения – выход хвостов и концентрата, извлечение и содержание в них полезных компонентов, коэффициент обогащения.

44. При исследовании обогатимости сульфидных и арсенидных руд изучают степень их окисления, минеральный состав, структурные и текстурные особенности, наличие попутных компонентов и вредных примесей с использованием приемов и методов технологической минералогии. Оценивают дробимость и измельчаемость, проводят ситовой, дисперсионный и гравитационный анализы. Выбирают технологическую схему обогащения, устанавливают число стадий и стадийную крупность измельчения. Определяют способы обогащения и доводки концентратов и промпродуктов, содержащих попутные компоненты.

45. В результате исследований технологические свойства руд должны быть изучены с

детальностью, обеспечивающей получение исходных данных, достаточных для проектирования технологической схемы их переработки с комплексным извлечением содержащихся в них компонентов, имеющих промышленное значение.

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

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

Для попутных компонентов в соответствии с «Рекомендациями по комплексному изучению месторождений и подсчету запасов попутных полезных ископаемых и компонентов», утвержденными МПР России в установленном порядке, необходимо выяснить формы нахождения и баланс их распределения в продуктах обогащения и передела концентратов, а также установить условия, возможность и экономическую целесообразность их извлечения.

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

46. В России для получения никеля и кобальта в настоящее время используются руды только двух промышленных типов: сульфидные медно-никелевые и силикатные никелевые коры выветривания.

47. Сульфидные медно-никелевые руды по содержанию никеля подразделяются на богатые (сплошные) и рядовые (вкрапленные).

Рядовые руды печенгского типа подвергаются обогащению с получением коллективного медно-никелевого концентрата. Рядовые руды норильского типа обогащаются по гравитационно-флотационной схеме с получением никелевого, медного, пирротинового и гравитационного концентратов. Последний представляет собой обогащенный платиновыми металлами продукт.

Богатые руды печенгского типа с содержанием никеля не менее 1,5 % направляются непосредственно в плавку. Богатые руды норильского типа большей частью перерабатываются по схеме обогащения с получением легкой фракции, представляющей собой рядовую вкрапленную руду, никелевого, медного, пирротинового и гравитационного концентратов. Часть богатых руд без обогащения отгружается для прямой переработки на металлургические заводы.

Коллективный медно-никелевый концентрат подвергается окатыванию и обжигу в специальном цехе с получением окатышей. В настоящее время производится замена этого процесса на брикетирование концентрата. Переработка окатышей (в дальнейшем брикетов) вместе с богатой рудой осуществляется в плавильном цехе, конечной продукцией которого является медно-никелевый фэйнштейн.

Полученная при обогащении легкая фракция перерабатывается совместно с вкрапленными рудами на обогатительной фабрике с получением селективных концентратов.

Частично никелевый концентрат после предварительной агломерации и медный – после сушки направляются на пирометаллургическую переработку.

Пирротиновый концентрат, представляющий собой сульфидный промпродукт, перерабатывается отдельно по гидрометаллургической автоклавно-окислительной технологии

с получением сульфидного концентрата и отвальных железогидратных хвостов. Указанный концентрат в дальнейшем совместно с частью никелевого и медного концентратов с обогатительных фабрик перерабатываются по схеме взвешенной плавки с получением фанштейна, анодной меди и технической серы.

Полученный гравитационный концентрат объединяется затем с медным флотационным концентратом и перерабатывается на медном заводе.

Все попутные компоненты при обогащении переходят в различные концентраты и извлекаются при дальнейшей их металлургической переработке. Кобальт извлекается из конверторных шлаков никелевого производства на кобальтовых заводах гидрометаллургическим способом. Из отходящих газов при выплавке фанштейна и анодной меди производятся серная кислота и техническая сера.

Благородные металлы, селен и теллур накапливаются в анодных шлаках никелевого и медного производства, перерабатываемых пиро- и гидрометаллургическим способами с получением платиновых концентратов (ПК), из которых в дальнейшем на аффинажном заводе получают чистые металлы.

Вредными примесями в сульфидных медно-никелевых рудах являются цинк, свинец, мышьяк, фтор, кадмий, висмут; предельные содержания их устанавливаются техническими условиями.

Товарной продукцией, получаемой из руд сульфидных медно-никелевых месторождений, являются: никель и медь электролитные, кобальт металлический и кобальтовые продукты, металлы платиновой группы, золото, серебро, селен, теллур, техническая сера и серная кислота.

48. Силикатные никелевые руды в России по комплексу рудообразующих минералов представляют собой единый природный (геологический) и технологический тип. Руды после предварительного агломерирования или брикетирования подвергаются пирометаллургическому процессу – шахтной восстановительной сульфидизирующей плавке на штейн, который в последующем перерабатывается на металлический никель. В состав проплавляемой шихты включаются кокс, известняк (мрамор), пирит и гипс. Эта технологическая схема достаточно хорошо освоена на практике, что является ее единственным достоинством. Главные недостатки заключаются в сложности (многостадийности) технологии, высоком расходе дорогостоящего и дефицитного кокса, низком извлечении никеля и особенно кобальта и, наконец, в полной потере всего железа руды. Кобальт извлекается из конверторных шлаков по сложной технологической схеме с получением металла и оксида кобальта.

В зарубежных странах силикатные никелевые руды перерабатываются по пирометаллургической схеме – электроплавка предварительно прошедших восстановительный обжиг руд на ферроникель, или по гидрометаллургическим схемам – амачное выщелачивание с получением товарного продукта «синтера» и сернокислотное выщелачивание с получением сульфидного концентрата с содержанием никеля до 50 % и кобальта 5–6 %.

Вредными примесями в силикатных никелевых рудах являются медь и хром, а при плавке на ферроникель – и фосфор; предельные содержания этих компонентов устанавливаются техническими условиями.

49. Качество руд, направляемых непосредственно в переработку без обогащения, а также получаемых коллективных, селективных концентратов и промпродуктов должно быть в каждом конкретном случае регламентировано договором между поставщиком (рудник, обогатительная фабрика) и металлургическим (гидрометаллургическим) заводом или должно соответствовать существующим техническими условиями.

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

50. 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 их защите 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 полезных 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 их 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.

51. Проведение инженерно-геологических исследований на месторождениях при разведке необходимо для информационного обеспечения проекта разработки (расчета основных параметров карьера, подземных горных 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 массивов 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 подземных горных выработках, бортах карьера и расчету 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.

Разработка месторождений никелевых и кобальтовых руд производится открытым, подземным и комбинированным способами. При комбинированном способе границу отработки открытым способом устанавливают при помощи предельного коэффициента вскрыши исходя из равенства себестоимости добычи полезного ископаемого одним и другим способом. Выбор способа зависит от горно-геологических условий залегания рудных тел, принятых горнотехнических показателей, схем добычи руды и обосновывается в ТЭО кондиций. Месторождения силикатных никелевых руд отрабатываются только открытым способом.

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

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

54. По районам новых месторождений необходимо иметь данные о наличии местных строительных материалов, о возможности использования вскрышных или вмещающих пород изучаемого месторождения в качестве строительных материалов, указать местоположение площадей с отсутствием залежей полезных ископаемых, где могут быть размещены объекты производственного и жилищно-гражданского назначения, отвалы пустых пород.

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

Специфика техногенных источников воздействия на окружающую среду на месторождениях никелевых и кобальтовых руд определяется способом разработки (подземным или открытым), применением флотации в качестве ведущего метода обогащения и невозможностью полного улавливания при металлургии (гидрометаллургии, автоклавном выщелачивании) загрязняющих атмосферу и воды отдельных элементов (особенно с сернистыми газами).

Для решения вопросов, связанных с рекультивацией земель, следует определить мощность почвенного покрова и произвести агрохимические исследования рыхлых отложений, а также выяснить степень токсичности пород вскрыши и возможность образования на них растительного покрова.

Должны быть даны рекомендации по разработке мероприятий по охране недр, предотвращению загрязнения окружающей среды и рекультивации земель.

Должна быть определена технология хранения хвостов производства с учетом их воздействия на окружающую среду, изучена возможность использования оборотных вод, оценены направления использования отходов предложенной схемы обогащения руд, даны рекомендации по очистке промстоков и объему потребления технической воды.

56. При особо сложных гидрогеологических и горнотехнических условиях разработки, требующих постановки специальных работ, направление, объемы, сроки и порядок проведения исследований согласовываются с проектными организациями.

57. 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**

58. Подсчет и квалификация по степени разведанности запасов месторождений никелевых и кобальтовых руд 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.

59. Запасы подсчитываются по подсчетным блокам, количество руды в которых не должно 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 и качество руд;

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

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

общностью горнотехнических условий разработки.

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

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

60. При подсчете запасов должны учитываться следующие дополнительные условия, отражающие специфику месторождений никелевых и кобальтовых руд.

Запасы категории А при разведке подсчитываются только на месторождениях 1-й группы в блоках, оконтуренных со всех сторон разведочными выработками, без экстрапо-



ляции.

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 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, а основные горно-геологические характеристики рудных тел и качество руд в пределах этого контура определены по достаточному объему представительных данных.

На разрабатываемых месторождениях запасы категории В подсчитываются по данным эксплуатационной разведки и горно-подготовительных выработок. К ним относятся запасы, отвечающие по степени изученности требованиям Классификации к этой категории.

К категории  $C_1$  относятся запасы на участках месторождений, в пределах которых выдержана принятая для этой категории сеть скважин и горных выработок, а достоверность полученной при этом информации подтверждена на новых месторождениях – результатами, полученными на участках детализации, а на разрабатываемых месторождениях – данными эксплуатации.

Контур запасов категории  $C_1$  определяются, как правило, 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  $C_2$  подсчитываются путем экстраполяции по простиранию и падению от контура разведанных запасов более высоких категорий на основе геофизических работ, геолого-структурных построений и единичных рудных пересечений, подтверждающих эту экстраполяцию; по самостоятельным рудным телам – исходя из совокупности рудных пересечений, установленных в обнажениях, горных выработках и скважинах, с учетом данных геофизических, геохимических исследований и геологических построений.

При определении контуров подсчета запасов категории  $C_2$  следует учитывать условия залегания рудных тел и установленные на месторождении закономерности изменения их размеров, формы и мощности, состава руд и содержаний никеля и кобальта.

61. Запасы подсчитываются отдельно по категориям разведанности, способам отработки (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, горнотехнических, экологических и др.).

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

62. При подсчете запасов традиционными методами (геологических блоков, разрезов и др.) должны быть выявлены пробы с аномально высоким содержанием основных полезных компонентов (ураганные пробы), проанализировано и при необходимости ограничено их влияние на величину среднего содержания по разведочным сечениям и подсчетным блокам. Части рудных тел с высоким содержанием и увеличенной мощностью или участки с высоким коэффициентом рудоносности 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 содержания основного полезного компонента по данным сгущения разведочной сети).

63. 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.

64. 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.

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

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

Если данные разведки в целом подтверждаются данными разработки 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 эксплуатационной разведки и оценка достоверности результатов, полученных при

проведении этих работ.

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

66. 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, содержаний, 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 должно быть достаточным для обоснования оптимальных интерполяционных формул (для двумерного моделирования – не менее нескольких десятков разведочных пересечений, для трехмерного – не менее первых сотен проб). Изучение свойств пространственных переменных рекомендуется производить на участках детализации.

Вычисление вариограмм производится на основе данных опробования по сквозным рудным пересечениям или составным пробам, длина которых согласуется с уступом карьера, и по интервалам опробования.

При построении блочной геостатистической модели месторождения максимально возможный размер элементарного блока выбирается исходя из планируемой технологии добычи, а 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 средних содержаний полезного компонента в блоках, рудных телах и по месторождению в целом без специальных приемов по уменьшению влияния ураганных проб, позволяет снизить ошибки оконтуривания рудных тел с весьма сложной морфологией и внутренним строением и оптимизировать технологию отработки месторождения. Вместе с тем, геостатистические методы подсчета запасов должны быть контролируемыми

в своем применении и подчинены особенностям геологического строения месторождения. Результаты геостатистического моделирования и оценивания должны проверяться (сравниваться) с результатами традиционных методов подсчета запасов на представительных участках.

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

68. 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.

69. 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.

70. На оцененных месторождениях никелевых и кобальтовых руд 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 устанавливаются на основе исследований лабораторных проб; капитальные затраты на строительство рудника, себестоимость товарной продукции и дру-

гие экономические показатели определяются по укрупненным расчетам на базе проективных аналогов.

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

Рассматривается и оценивается возможное влияние отработки месторождений на окружающую среду.

Для детального изучения морфологии оруденения, 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 горнотехнических условий отработки, технологии добычи руд и их обогащения (природные разновидности и технологические типы руд и их взаимоотношения). Решение этих вопросов возможно только при вскрытии рудных тел на существенную глубину и протяженность.

К ОПР необходимо также прибегать при внедрении новых методов добычи полезных ископаемых, как, например, скважинная гидродобыча разрыхленных руд с больших и малых глубин, а также при отработке новых нетрадиционных типов руд. Кроме того, ОПР целесообразна при освоении крупных и гигантских месторождений, на которых, прежде чем приступить к строительству крупных фабрик, разработанная технологическая схема испытывается и совершенствуется на небольших обогатительных фабриках.

71. 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 вовлечения в промышленное освоение, а также о проектировании строительства или реконструкции на их базе горнодобывающего производства.

Разведанные месторождения по степени изученности должны удовлетворять следующим требованиям:

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

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

запасы других совместно залегающих полезных ископаемых (включая породы вскрыши и подземные воды) с содержащимися в них компонентами, отнесенные на основании кондиций к балансовым, изучены и оценены в степени, достаточной для определе-

ния их количества и возможных направлений использования;

гидрогеологические, инженерно-геологические, геокриологические, экологические, горно-геологические и другие природные условия изучены с детальностью, обеспечивающей получение исходных данных, необходимых для составления проекта разработки месторождения с учетом требований природоохранного 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 до требований соответствующих нормативных документов;

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 и оформляется в виде рекомендации. 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) их качеств;

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 –  $\lambda_0$ ):

$$K_p = \frac{\lambda_p}{\lambda_0} \quad (1.1)$$

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

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

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

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

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

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.

Таблица

#### Количественные характеристики изменчивости основных свойств оруденения

Группа месторождений	Показатели изменчивости объектов разведки			
	формы			содержания
	$K_p$	$q$	$V_m, \%$	$V_C, \%$
1	2	3	4	5



1	2	3	4	5
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.