МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ
по геофизическому опробованию при подсчете запасов месторождений

МЕТАЛЛОВ И НЕРУДНОГО СЫРЬЯ

Москва, 2007

gost.e-ecolog.ru

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

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

Методические рекомендации по геофизическому опробованию при подсчете запасов месторождений металлов и нерудного сырья.

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

I. Общие сведения

1. Настоящие Методические рекомендации по геофизическому опробованию при подсчете запасов месторождений металлов и нерудного сырья (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 11 декабря 2006 г. № 278 (Зарегистрировано в Минюсте РФ 25 декабря 2006 г. N 8667), и содержат рекомендации по геофизическому опробованию при подсчете запасов месторождений металлов и нерудного сырья.

2. В настоящем документе приводятся рекомендации по геофизическому опробованию скважин, горных выработок, грубодробленного материала, шлама и керна, при соблюдении которых его результаты могут быть использованы самостоятельно или в сочетании с данными геологического опробования для решения следующих задач разведки и подсчета запасов месторождений металлов и нерудного сырья:

установление продуктивной минерализации в скважинах и горных выработках, выделение продуктивных интервалов, определение в них содержания полезных компонентов и вредных примесей и оконтуривание промышленных пересечений по мощности в соответствии с требованиями кондиций;

изучение внутреннего строения тел полезного ископаемого (выделение природных или технологических типов, породных и некондиционных прослоев, установление характера распределения анализируемых компонентов и др.);

определение объемной массы и влажности полезного ископаемого;

решение частных задач по уточнению геологического строения месторождения (в т.ч. по изучению изменчивости оруденения для обоснования и выбора способов и методики опробования), изучению инженерно-геологических и гидрогеологических условий их отработки, а также прогнозированию показателей радиометрического обогащения в процессе крупнопорционной сортировки и (или) покусковой сепарации добытого сырья.

В таблице приведен перечень основных геофизических методов опробования, применяемых при разведке месторождений металлов и нерудного сырья.

Таблица

Характеристика основных геофизических методов опробования, применяемых при разведке месторождений металлов и нерудного сырья

Метод	Определяемый элемент, параметр	Нижний предел количественных определений, %			Глубинность метода, см
		керн, дробленный материал	в горных выработках	в скважинах	
Плотностной гамма-гамма метод (ПГГМ)	Объемная масса пород и руд	н/о	$n \cdot 0{,}01$ г/см^3	$n \cdot 0{,}01$ г/см^3	5–10
Селективный гамма-гамма метод (СГГМ)	Cr	0,5	н/о	0,5–1,0	3–5
	Fe	0,5–1,0	0,5–1,0	1,0–2,0	3–5
	Pb, W, Hg, Ba, $\sum$ TR,	$n \cdot 0{,}05$	$n \cdot 0{,}1$	$n \cdot 0{,}1$	3–5
Рентгенорадиометрический метод (РРМ)	Pb, W, Hg	0,02–0,05	0,05–0,1	0,1–0,2	1–2
	$\sum$ TR, Ba, Sn, Sb, Ag, Nb, Sr, Rb	0,01–0,02	0,01–0,05	0,05–0,2	0,1–0,5
	Pd	От 1 г/т	н/о	н/о	0,1–0,5
	Pb, As, Zn, Cu, Ni, Co, Fe	0,05–0,1	0,1–0,2	0,1–0,5	0,05–0,1
	Mn, Cr	0,1	н/о	н/о	<0,05
	S	0,05–0,1	н/о	н/о	<0,05
	P_2O_5	1,0–2,0	н/о	н/о	<0,05
	$P_2O_5 = f(Sr, \sum TR)$	2,0–3,0	2,0–3,0	2,0–3,0	0,1–0,5
Гамма-нейтронный метод (ГНМ)	Be	н/о	$n \cdot 10^{-4}$	$n \cdot 10^{-3}$	10–15
Нейтрон-нейтронный метод (ННМ)	Li, B, Cd, Hg	н/о	0,01–0,05	0,05–0,1	10–20
	Влажность объемная	н/о	0,5–1,0	1,0–2,0	10–20
Нейтронно-гамма метод (НГМ)	Hg, Fe, Ni, Mn,Cr,	н/о	н/о	0,1–0,5	10–20
Нейтронно-активационный метод (НАМ)	Al, Si, Na, Ca	н/о	н/о	0,5–2,0	5–15
	Cu, Mn, F	н/о	н/о	0,1–0,5	5–15
	$P_2O_5 = f(F)$	н/о	н/о	1,0	5–15
Гамма-метод (ГМ)	U, Th	$(1{,}0–1{,}5) \cdot 10^{-4}$	$(1{,}0–1{,}5) \cdot 10^{-4}$	$(1{,}0–1{,}5) \cdot 10^{-4}$	10–20
	K	0,5–1,0	0,5–1,0	0,5–1,0	10–20
	$P_2O_5 = f(U, Th)$	1,0	1,0	1,0	10–20
Метод магнитной восприимчивости (ММВ)	Fe		0,5–1,0	1,0–2,0	10–20
Регистрация нейтронов деления	U	н/о	н/о	0,01–0,005	10–20

Примечание: н/о – не определяется (нет сведений об апробированных методиках).

3. Оценка возможности использования результатов геофизических исследований для решения указанных задач и выбор рационального комплекса методов производятся на стадии поисково-оценочных работ на основе анализаособенностей геологического строения месторождения, характера распределения продуктивной минерализации, вещественного состава и физических свойств полезного ископаемого и вмещающих пород, а также предполагаемой методики и техники разведки месторождения (соотношение объемов горных работ и бурения, виды горных выработок и способы бурения, плотность разведочной сети) и разрешающей способности применяемой геофизической аппаратуры.

Целесообразность применения геофизических методов в качестве рядового способа опробования, а также рациональное соотношение геологических игеофизических методов опробования устанавливаются на начальных этапах разведки месторождения путем сопоставления данных геофизического и геологического опробования опорных интервалов и пересечений тел полезного ископаемого. Принятый метод и способ опробования должен обеспечивать наибольшую достоверность результатов при достаточной производительности и экономичности.

4. Для геофизического опробования наряду с серийной аппаратурой могут использоваться опытные образцы приборов, а также аппаратура, изготовленная по индивидуальному проекту с соответствующим метрологическим обеспечением, и прошедшая внутриведомственные приемочные испытания.

5. Методика и задачи геофизического опробования, точность и достоверность установления подсчетных параметров, область применения методики апробируются Научно-методическим советом по геолого-геофизическим технологиям поисков и разведки твердых полезных ископаемых МПР России (НМС).

Оценка качества рядового геофизического опробования производится в процессе экспертизы материалов по подсчету запасов полезных ископаемых, представляемых на утверждение уполномоченному экспертному органу.

Возможность использования результатов геофизического опробования для подсчета запасов месторождений со сложными физико-геологическими и горно-геологическими условиями, а также возможность внедрения новых геофизических методов и способов опробования рассматривается экспертно-техническим советом уполномоченного экспертного органа после получения положительного заключения НМС.

6.Рядовое геофизическое опробование (техника и методика работ, приемы интерпретации, метрологическое обеспечение) проводится в соответствии с требованиями действующих инструкций, руководств и методических указаний (приложение 1), а результаты опробования отражаются в первичных и сводных табличных и графических материалах 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.

II. Условия применения геофизических методов опробования

7. В полезном ископаемом и вмещающих породах должны отсутствовать (или содержаться в количестве, не оказывающем влияния на результаты геофизического опробования) элементы-помехи или соединения, выделяющиеся признаками, характерными для анализируемого компонента. Например, для рентгенорадиометрического метода (РРМ) такими помехами являются соседние элементы таблицы Менделеева, для ней-

тронного гамма-метода (НГМ) – элементы с близкими сечениями радиационного захвата, для нейтронно-активационного метода (НАМ) – элементы с сонзмеримыми периодами полураспада, энергиями гамма-излучения, сечениями активации. При больших содержаниях элементов-помех рекомендуется разработать и обосновать методику устранения их влияния на результаты интерпретации геофизических материалов.

8. Нижний предел количественных определений концентраций (порог обнаружения) основных полезных компонентов при геофизическом опробовании не должен превышать содержаний в пробе, установленных кондициями для оконтуривания забалансовых запасов, а порог обнаружения вредных примесей – их максимально допустимого содержания в полезном ископаемом или его технологическом типе.

Если кондициями предусматривается оконтуривание запасов по условному бортовому содержанию, порог обнаружения каждого из компонентов, учитываемых при расчете этого содержания, не должен приводить к изменениям контуров тел полезного ископаемого в сравнении с результатами геологического опробования.

При подсчете запасов полезных ископаемых, локализованных в естественных геологических границах, порог обнаружения определяемого компонента должен обеспечить отсутствие статистически значимых систематических расхождений между средними содержаниями по полным пересечениям тела, установленными по данным геофизического и представительного геологического опробования.

В качестве нижнего предела количественных определений принимается концентрация компонента в секционном интервале опробования, относительная среднеквадратическая погрешность определения которой не превышает 30 %. Оптимальная длина интервалов опробования устанавливается для каждого месторождения исходя из опыта разведки месторождений-аналогов или экспериментальным путем с учетом данных об изменчивости оруденения (приложение 4). В некоторых случаях порог обнаружения может быть установлен по результатам измерений безрудных интервалов по формуле (1), приведенной в приложении 2.

9. Случайная относительная среднеквадратическая погрешность геофизических измерений не должна превышать 5–30 %. При этом рекомендуется ориентироваться на предельно допустимые среднеквадратические погрешности анализа по классам содержаний, приведенные в методических рекомендациях по применению Классификации запасов к месторождениям различных твердых полезных ископаемых, а также в приложении 3. Исключением являются классы с предельными ошибками анализа 1–4,5 %, для которых допускается погрешность геофизических измерений в размере ±5 %.

При значительной изменчивости оруденения, допуски к воспроизводимости геофизических измерений ($\varepsilon^*_{\text{в}}$) для конкретных объектов могут быть приняты на основании фактических данных по количественной оценке погрешности аналогии $\sigma_{\text{ан}}$ по соответствующим классам содержаний, природным типам руд и секционным пробам с близким линейным эквивалентом (приложение 4).

Требования к допускам при градуировочных измерениях и метрологических поверках ($\pm\Delta = \pm 0{,}64\ \varepsilon^*_{\text{в}}$), сходимости геофизических измерений (в пределах 5-30%), а также к предельному допуску по воспроизводимости геофизических измерений (<30 %) остаются неизменными

10. Систематические расхождения между данными геофизического и геологического опробования во всех классах содержаний анализируемых компонентов должны быть статистически незначимы. При значительном влиянии мешающих факторов (изменчивость размера зерен, слоистости пород и полезного ископаемого, их плотности, радиоактивности, пористости, электропроводности, эффективного атомного номера,

магнитной восприимчивости магнетита и др.) на результаты геофизического опробования обосновывается методика их учета.

11. Полезные компоненты и вредные примеси, содержание которых рассчитывается по корреляционным зависимостям от содержаний элементов (минералов)-индикаторов, определяемых геофизическими методами (например, кадмий по цинку на колчеданно-полиметаллических месторождениях, железо общее по железу магнитному на магнетитовых месторождениях, флюорит по фтору на месторождениях плавикового шпата, апатит по фтору, стронцию и редким землям на апатит-нефелиновых месторождениях, кобальт по железу, никелю и меди на сульфидных медно-никелевых месторождениях и др.), должны находиться в устойчивой корреляционной связи с этими индикаторами. Характер связи устанавливается для каждого природного типа полезного ископаемого. Прочность связи оценивается по значениям критерия достоверности корреляционной зависимости ($t_r > 2$) (или критерия значимости корреляционного отношения t_η), коэффициента корреляции ($r \geq 0{,}8$) или по результатам расчета коэффициентов и свободных членов уравнения регрессии по двум-трем выборкам, характеризующим полезное ископаемое на разных участках месторождения. Если различия в значениях коэффициентов и свободных членов не превышают удвоенных погрешностей их определения, связь считается достаточно устойчивой.

При необходимости определения в рудах попутных полезных компонентов и вредных примесей, которые на данном месторождении недостаточно надежно устанавливаются геофизическими методами, рекомендуется параллельно выполнять геологическое опробование в объеме, достаточном для достоверной оценки их запасов или определения качества руд, используя для этого, в первую очередь, пробы, отбираемые для внешнего геологического контроля результатов геофизического опробования (обычно 20 % объема рядового опробования).

12. Разрешающая способность геофизического метода должна обеспечить возможность определения минимальной промышленной мощности тела полезного ископаемого и максимально допустимой мощности породных и некондиционных прослоев, включаемых в подсчет запасов, с точностью ±20 см и ±10 % соответственно для мощностей более 2 м и менее 2 м.

13. В интервалах скважин и стенок горных выработок, выделенных в соответствии с кондициями (далее для краткости – «в пересечениях тела полезного ископаемого»), доля участков, по которым не обеспечивается достоверность геофизических определений из-за кавернозности скважин, неровности стенок горных выработок, наличия на них технологической смазки, глинистой корки, шлама и т.п., не должна превышать 10 % мощности пересечения. Эффективность принятых мер для очистки скважин и стенок горных выработок подтверждается результатами специальных исследований (геофизическими измерениями до и после чистки, телефотометрией и т.д.) в отдельных скважинах. При доказанной преимущественной приуроченности кавернозности и других перечисленных помех к внутренним породным и некондиционным прослоям допускается использовать результаты геофизического опробования по пересечениям, где доля этих участков возрастает до 30 %.

III. Геофизические измерения и интерпретация их данных

14. Геофизические измерения в скважинах и горных выработках, а также при опробовании грубодробленного материала (шлама) и керна выполняются аппаратурой, обеспеченной метрологическими поверками на имитаторах пород и руд, рабочих мерах со-

става или физических свойств, градуировочных устройствах, составленных из монолитных штуфных образцов или керна, в опорных градуировочных скважинах или горных выработках.

Измерения по каждой скважине, пересечению тела полезного ископаемого в горной выработке, а также при опробовании керна или грубодробленного материала начинаются и заканчиваются контрольными замерами поверочной модели. Тип используемых поверочных моделей, их число и периодичность промежуточных измерений определяются конкретной методикой работ. Отклонение контрольных замеров от замера, полученного при градуировке аппаратуры, не должно превышать $\pm 0{,}64\ \varepsilon^{д}_{гф}$, где $\varepsilon^{д}_{гф}$ допустимые относительные среднеквадратические погрешности геофизических измерений по классам содержания основных компонентов или компонентов-индикаторов (приложение 3).

Метрологические поверки выполняются в соответствии с «Методическими указаниями по оценке достоверности данных ядерно-геофизических методов на месторождениях твердых полезных ископаемых» РД41-06-125–90 или другими нормативными документами.

При оценке содержания полезных компонентов (минералов) и вредных примесей по корреляционным зависимостям от содержания элементов-индикаторов (определяемых компонентов или физических свойств руд) градуировка аппаратуры, метрологические поверки и оценка показателей качества геофизических измерений осуществляются по результатам определения содержания этих элементов-индикаторов (определяемых компонентов или физических свойств руд). Влияние дополнительных погрешностей, обусловленных характером корреляционных связей (п.10) при градуировке, метрологической поверке аппаратуры и оценке качества геофизических измерений должно быть исключено.

15. На каждый комплект аппаратуры заполняется метрологический паспорт-журнал, в котором фиксируются результаты подготовки, поверки и градуировки прибора, сведения о ремонтах, данные об имитаторах пород и руд, рабочих мерах физических свойств, контрольно-градуировочных устройствах, градуировочных скважинах и горных выработках.

16. Случайная погрешность геофизических измерений $\varepsilon^{с}_{1ф}$ устанавливается по данным основного и повторного циклов замеров (формула (2) в приложении 2), выполненных по одним и тем же интервалам в одинаковых условиях и практически одновременно (параллельные определения). Объем внутреннего геофизического контроля должен быть не менее 10 % от основного объема. Если случайные погрешности превышают предельно допустимые, количество повторных измерений (n) по пересечению тела полезного ископаемого в основном цикле измерений рекомендуется увеличить, руководствуясь формулой

$$n \geq (\varepsilon^{с}_{1ф} / \varepsilon^{д}_{1ф})^2.$$

Содержание анализируемого компонента по интервалу опробования в этом случае определяют как среднее арифметическое из серии повторных замеров.

Внешний контроль результатов геофизических измерений (измерения в другое время, другим оператором или комплектом аппаратуры) выполняется в объеме не менее 10 % от объема основных измерений, равномерно по времени. Отсутствие систематических расхождений между основными и контрольными измерениями устанавливается по критерию Стьюдента для уровня значимости 0,05 и количестве сопоставлений не менее 30 в каждом классе содержаний.

17. Расхождения глубин залегания тел полезного ископаемого, определенных по данным основного и контрольного (повторного) геофизических измерений, не должны превышать следующих значений:

Глубина скважин, м	Расхождение, м
До 500	0,5
500–1000	1,0
1000–2000	1,5

При этом данные каротажа подтверждаются контрольными замерами кабеля, допустимая погрешность разметки которого принимается равной ±10 см на каждые 100 м.

18. Масштабы регистрации измеряемых параметров должны обеспечивать выделение пересечений тел полезного ископаемого минимальной промышленной мощности с бортовым содержанием анализируемых компонентов, установленным кондициями для оконтуривания забалансовых запасов. При массовых измерениях на одном месторождении (участке) рекомендуется устанавливать единые масштабы регистрации.

19. Интервалы детализации должны включать в себя полное пересечение тела полезного ископаемого и выходить в породы кровли и подошвы на расстояние, превышающее максимальную мощность внутренних породных и некондиционных прослоев, установленную кондициями.

Детализационные измерения в скважинах рекомендуется проводить в масштабах глубин 1:200, 1:100, 1:50, 1:20 при мощности пересечений тел полезного ископаемого и внутренних породных и некондиционных прослоев соответственно более 10, 10–5, 5–2 и менее 2 м. При непрерывной цифровой регистрации шаг квантования по глубине не должен превышать 1/3 мощности насыщения для данного геофизического метода, составляя в основном 10 см, а для селективного гамма-гамма и рентгенорадиометрических методов – не более 5 см. Шаг детализационных измерений в горных выработках должен обеспечивать непрерывную характеристику интервала.

При необходимости выполняются работы для определения поправок на изменение диаметра скважины, плотности, влажности, электрической проводимости, радиоактивности, вещественного состава тел полезного ископаемого.

20. На диаграммах каротажа, графиках замеров в горных выработках и при непрерывных измерениях керна выделяются все участки, где регистрируемые сигналы отличаются от среднего фонового значения параметра более чем на утроенную величину средней квадратической погрешности его измерения.

Эти участки расчленяются на секционные интервалы с учетом особенностей распределения анализируемых компонентов (характера диаграмм геофизических измерений) и требований кондиций. При этом рекомендуется руководствоваться следующим:

секционный интервал опробования должен быть однородным по содержанию анализируемого компонента, а геофизические замеры по нему не искажены влиянием кавернозности (микрокавернозности), технологической смазки, глинистой корки, шлама и др. Интервалы скважины или горной выработки, в которых влияние ближней зоны на результаты геофизического опробования не может быть учтено путем введения поправок, выделяются как неинформативные и отражаются в дефектной ведомости;

длина секционного интервала должна быть больше мощности насыщения для данного геофизического метода (например, для метода НГК больше 0,5 м, метода НАК – больше 0,3–0,5 м, метода электромагнитного каротажа – больше трех размеров зонда и т.д.);

длина секционного интервала не должна превышать минимальной мощности тел полезного ископаемого и сортовых интервалов, а также максимальной мощности внут-

ренних породных и некондиционных прослоев, включаемых в контур подсчета запасов. При значительной мощности тела полезного ископаемого (более 20 м) и сравнительно однородном его строении длина интервала опробования может быть увеличена до 10–15 м.

В горных выработках ориентировка линий (профилей) геофизических замеров относительно элементов залегания тела полезного ископаемого, выбор длины секционных интервалов и другие методические приемы измерений (количество линий замеров на стенке, опробование одной или двух стенок, профильные или площадные измерения) должны соответствовать основным положениям методики опробования, принятым на разведуемом (разрабатываемом) месторождении.

При секционном опробовании интервалы должны быть соизмеримой длины, за исключением тех случаев, когда необходимо опробовать отдельные разности или типы полезного ископаемого, выделить внутренние породные прослои различной мощности и т. д.

В случае опробования комплексного полезного ископаемого секционные интервалы выделяются с учетом диаграмм каротажа или графиков замеров в горных выработках, характеризующих распределение полезного компонента, который составляет основную ценность данного полезного ископаемого или его промышленного (технологического) типа, а при необходимости – с учетом графиков (диаграмм) распределения условного компонента.

21. Границы тел полезного ископаемого или отдельных его участков (богатые и породные прослои) определяются в соответствии с требованиями действующих инструкций, руководств и методических указаний или в соответствии с отраслевой методикой, разработанной для конкретного объекта и апробированной в установленном порядке.

Оконтуривание запасов комплексного полезного ископаемого по бортовому содержанию условного компонента целесообразно выполнять с использованием графиков (диаграмм) распределения этого компонента по пересечению. Построение такого рода графиков необходимо, если в краевых или внутренних частях пересечений содержание компонента, учитываемого по переводным коэффициентам, не достигает бортового.

22. Количественная интерпретация результатов геофизических измерений выполняется на основе корреляционной зависимости (градуировочного графика) измеряемого параметра П от содержания определяемого компонента С в опорных пересечениях тела полезного ископаемого или эталонных моделях.

При линейной корреляционной связи вида $C = a\,П + b$ содержание компонента или элемента-индикатора по интервалу опробования определяется по уравнению регрессии.

При нелинейной связи $C = f(П)$ интерпретация производится с использованием либо непосредственно корреляционного графика (уравнения регрессии), либо двух-трех линейных функций, удовлетворительно аппроксимирующих выявленную зависимость.

IV. Установление корреляционной зависимости между измеряемым параметром и содержанием определяемого компонента

23. Корреляционная зависимость между показаниями геофизической аппаратуры и содержанием каждого определяемого компонента (градуировочный график) устанавливается путем статистической обработки результатов сопоставления данных геологического опробования и геофизических измерений по опорным интервалам в скважинах и горных выработках, а также по моделям, составленным из монолитных штуфных образ-

цов или керна. Использование модельных интервалов позволяет наиболее полно учесть геологические и геофизические особенности объекта и оценить их влияние на точность и достоверность опробования, сократить сроки разработки и апробации методики геофизического опробования. При этом корреляционную зависимость, установленную по монолитным образцам, необходимо подтвердить (или скорректировать) результатами геофизического и геологического опробования опорных интервалов скважин и горных выработок.

В качестве опорных интервалов в скважинах и горных выработках, принимаются пересечения тела полезного ископаемого или отдельные интервалы, характеризующие основные тела полезного ископаемого по простиранию и падению в пределах отдельных участков и месторождения в целом и удовлетворяющие следующим требованиям.

Геологическая документация разведочных выработок выполняется с детальностью, обеспечивающей отражение основных особенностей внутреннего строения тела полезного ископаемого (природные разновидности полезного ископаемого и его структурно-текстурные особенности, характер контактов тел полезного ископаемого и вмещающих пород, распределение полезных компонентов и степень их окисления, количество, местоположение и петрографический состав породных прослоев и т. д.).

Результаты геологической документации увязываются по глубине с однозначно установленными на диаграммах каротажа контактами тел полезного ископаемого, петрографических разновидностей пород разреза, внутренних породных прослоев, пропластков с повышенным содержанием компонентов и т. д. При увязке глубин за основу принимаются данные каротажа. Несоответствия между данными каротажа и геологической документации устраняются путем сопоставления диаграмм каротажа и графиков непрерывного геофизического опробования керна (для методов, где реализована эта возможность).

Несоответствие данных геологической документации и результатов геофизических измерений в горных выработках устраняется путем повторной документации выработок и контрольных геофизических измерений.

Керновые и бороздовые пробы отбираются по интервалам, выделенным на диаграммах каротажа (для рентгенорадиометрического и селективного гамма-гамма методов – в сопоставлении с графиками непрерывного геофизического опробования керна) и на графиках замеров по стенкам горных выработок, с учетом порейсового выхода керна и природного типа полезного ископаемого (интервал опробования должен быть представлен полезным ископаемым одного природного типа).

Если геологическое опробование в силу объективных причин было выполнено до проведения геофизических измерений, интервалы на диаграммах каротажа и графиках замеров в горных выработках должны соответствовать единичным или объединенным пробам. В этом случае для увязки интервалов геологического и геофизического опробования дополнительно используется аналогия диаграммы распределения содержания полезного компонента по геологическому или геофизическому опробованию керна и формы диаграмм геофизических измерений.

Надежное сопоставление данных геологического и геофизического опробования скважин обеспечивается при линейном выходе керна по опорным интервалам 100 %.

Если количество интервалов с полным выходом керна не обеспечивает статистическую представительность сопоставления этих данных, то в качестве опорных используются интервалы с предельным выходом керна, для которого доказано отсутствие избирательного истирания.

Предельный выход керна устанавливается для каждого природного типа полезного ископаемого по результатам сопоставления данных кернового опробования (по классам выхода керна) с данными бороздового, валового или технологического опробования. Кроме того, в качестве заверочных могут быть использованы результаты сопоставления данных геофизического опробования керна и стенок скважин, полученных одним и тем же методом, а также результаты сопоставления суммарных мощностей внутренних породных прослоев и характера их распределения, установленных по геологической документации и данным каротажа.

Отбор бороздовых проб и опробование керна в опорных интервалах выполняются с применением механических пробоотборников и кернорезного оборудования, исключающих избирательное выкрашивание полезных и непродуктивных (породообразующих, жильных и др.) минералов. Достоверность бороздового опробования заверяется более надежным способом, как правило, валовым.

Случайные погрешности кернового и бороздового опробования определяются по результатам основного и контрольного опробования, выполненного одним и тем же способом отбора, обработки и анализа проб. Основное и контрольное опробование по опорным интервалам целесообразно проводить со 100%-ным внутренним и внешним контролем аналитических работ, результаты которого должны соответствовать требованиям методических рекомендаций по применению Классификации запасов месторождений соответствующего полезного ископаемого.

24. Построение графиков корреляционной зависимости (градуировочных графиков) показаний аппаратуры от содержания анализируемого компонента выполняется с учетом следующих требований.

Диапазон содержаний определяемых компонентов в пробах, отобранных в опорных интервалах, должен охватывать все классы содержаний в каждом из выделенных природных типов полезного ископаемого. Число классов принимается не менее четырех. Для основных компонентов они отвечают бедным, рядовым, богатым балансовым, а также забалансовым запасам полезного ископаемого и минерализованным породам (содержание полезных компонентов ниже бортового содержания для забалансовых руд).

Каждый класс содержаний в каждом природном типе полезного ископаемого представляется не менее чем 11 интервалами (пробами) с линейным эквивалентом, соответствующим пробе оптимальной геометрии

В случае отсутствия достаточного количества опорных интервалов, отвечающих настоящим рекомендациям, в качестве опорных при гамма-гамма и рентгенорадиометрических методах исследования могут быть использованы их модели, составленные из монолитных образцов (штуфы, керн) полезного ископаемого, отобранных на изучаемом месторождении, или рядовые интервалы, достоверность результатов опробования которых подтверждена тем или иным фактическим материалом.

При построении корреляционных зависимостей учитывается вещественный состав полезного ископаемого, его структурно-текстурные особенности, а также технология проходки разведочных выработок. С этой целью на сводное поле корреляции выносятся точки с обозначением природного типа полезного ископаемого, угла встречи пластов в слоистых средах, глубины расположения интервала, номинального диаметра скважин и т.д. Для опорных интервалов, однородных по каждому из этих факторов, рассчитываются индивидуальные корреляционные зависимости.

Однородность сопоставительной выборки устанавливается по критерию $3S\Delta$ или критерию Смирнова ξ, при этом количество исключенных отдельных интервалов не должно превышать 5 % объема выборки. Исключенные интервалы вносятся в дефект-

ную ведомость с указанием причин грубых расхождений между данными геологического и геофизического опробования.

Критериями возможности использования на месторождении одного или нескольких уравнений регрессии являются величины систематических расхождений между данными геологического опробования и данными геофизических измерений, интерпретация которых выполнена с использованием всех зависимостей, установленных на месторождении. При отсутствии значимых систематических расхождений в качестве рабочего принимается уравнение, обеспечивающее наименьшую случайную погрешность геофизического опробования.

Подбор корреляционной зависимости выполняется в процессе расчета нескольких уравнений регрессии с применением полиномов 1-, 2-, ..., n-й степени. В качестве оптимального принимается уравнение с наименьшим количеством коэффициентов, для которого систематические расхождения во всех классах содержаний между данными геологического и геофизического опробования незначимы, случайные расхождения минимальны, а коэффициент корреляции r или корреляционное отношение Θ не менее 0.8.

Определение зависимости C = f(П), расчет коэффициентов регрессии, коэффициента корреляции или корреляционного отношения, их погрешностей и среднего квадратического отклонения данных опробования от уравнения (линии) регрессии, а также оценка достоверности выявленной связи выполняются по формулам и схемам, приведенным в соответствующих инструкциях с учетом требований пункта 11.

25. Оценка достоверности определения содержаний полезных компонентов или вредных примесей по принятым в качестве рабочих уравнениям регрессии производится в процессе дополнительного сопоставления данных рядового геологического и геофизического опробования по интервалам, в максимальной степени удовлетворяющим требованиям пункта 23. Данные по опорным интервалам, послужившие основой для построения корреляционных (градуировочных) графиков, в оценке достоверности рядового опробования не используются.

26. В качестве рабочих допускается использование уравнений регрессии, установленных для месторождения полезного ископаемого, аналогичного по минеральному и химическому составу, а также по структурным и текстурным особенностям полезного ископаемого изучаемому месторождению. Достоверность принятых корреляционных зависимостей оценивается в соответствии с пунктом 25.

V. Условия использования результатов геофизического опробования при подсчете запасов полезных ископаемых

27. Для использования результатов геофизического опробования при подсчете запасов полезных ископаемых необходимо, чтобы геолого-геофизические условия месторождения (участка) соответствовали требованиям раздела 2, а геофизические измерения и интерпретация их данных были выполнены с соблюдением положений разделов 3 и 4.

28. Геофизические методы принимаются в качестве рядового способа опробования, а их данные используются для подсчета запасов в случае одновременного выполнения следующих положений.

Нижний предел количественных определений концентраций полезных компонентов или вредных примесей соответствует положениям пункта 8.

Средние квадратические погрешности собственно геофизических измерений (сходимость и воспроизводимость измерений) удовлетворяют положениям пункта 16, а ре-

зультаты внешнего контроля, выполненного в объеме не менее 10 %, – подтверждают правильность измерений.

Точность определения минимальной кондиционной мощности тел полезного ископаемого (или максимальной мощности внутреннего породного прослоя) и глубины его залегания должна соответствовать положениям пунктов 11 и 17.

Систематические расхождения между данными геофизического и геологического опробования интервалов, удовлетворяющих положениям пункта 23, во всех классах содержаний анализируемых компонентов должны бытьстатистически незначимы. Оценки их значимости выполняются по критерию Стьюдента для уровня значимости 0,05 при объеме выборки не менее 20. При статистической обработке данные по отдельным интервалам рекомендуется группировать в классы по средним значениям между результатами геологического и геофизического опробования.

Количество контрольных сопоставлений по пересечениям тела полезного ископаемого или их частям, характеризующим природные типы полезного ископаемого, должно составлять не менее 10–20 % объема геофизического опробования в зависимости от сложности строения тел полезного ископаемого.

Равноточность геологического и геофизического методов опробования (в отношении случайных ошибок) подтверждается однородностью дисперсий данных обоих методов по секционным интервалам опробования пересечений тел полезного ископаемого, отвечающим положениям пункта 23. Проверка производится по критерию Фишера для уровня значимости 0,05 при количестве интервалов (проб) в выборках не менее 20 по каждому природному типу полезного ископаемого.

Количественная оценка относительных среднеквадратических погрешностей геофизического опробования по единичным интервалам в каждом классе содержаний производится по формуле (7) из приложения 2. Превышения случайных погрешностей геофизического опробования над случайными ошибками геологического опробования считаются статистически незначимыми, если доказана однородность дисперсий данных обоих способов опробования. При крайне неравномерном распределении определяемого компонента допускается сопоставление результатов опробования по объединенным пробам или по пересечениям тел полезного ископаемого.

29. В случае если по отдельным внутренним интервалам пересечений тела полезного ископаемого данные геофизического опробования не позволяют достоверно установить содержание анализируемого компонента из-за кавернозности стенок скважин, при определении среднего содержания по пересечению этим интервалам придаются следующие значения:

если на месторождении установлено преимущественное развитие кавернозности по внутренним породным прослоям, а данные дополнительных геофизических исследований (методами ГК, ГГК, кажущегося сопротивления и т. д.) и геологической документации керна (при любом его выходе) свидетельствуют об отсутствии промышленной минерализации во внутреннем интервале, по нему принимается среднее содержание компонента, характерное для указанных прослоев;

если закономерность в развитии кавернозности не устанавливается, а данные измерений дополнительными геофизическими методами и геологической документации керна указывают на наличие промышленной минерализации в пределах интервала, содержание анализируемых компонентов по нему принимается равным среднему по остальной части пересечения.

30. Наряду с опробованием скважин и горных выработок результаты ядерно-геофизических и магнитных исследований рекомендуется использовать для решения

ряда задач, не требующих строгого соблюдения отдельных положений настоящего раздела. В состав таких задач входят:

изучение характера изменчивости оруденения, и ее количественная оценка как основа для оптимального выбора геометрии измерений и требований к достоверности опробования, независимо от его способа (приложение 4 справочное);

определение коэффициента линейной рудоносности;

изучение избирательного истирания керна и выкрашивания материала при отборе бороздовых геологических проб;

уточнение глубин залегания, внутреннего строения и мощности тел полезного ископаемого;

выбор интервалов геологического опробования и сокращение его объема, в том числе, за счет исключения заведомо некондиционных интервалов;

оперативный контроль качества буровых работ; выявление разбуренных и пропущенных при опробовании интервалов и полуколичественная оценка содержания в их пределах полезного компонента;

получение данных для составления представительных групповых и технологических проб из кернового материала без предварительного лабораторного анализа;

оценка эффективности предварительного радиометрического обогащения; данная задача решается, руководствуясь соответствующими методическими документами.

прогнозная оценка извлечения железа в концентрат по соотношению $Fe_{маги}/Fe_{общ}$ и др.

В комплексе с другими геофизическими методами исследования скважин геофизические методы опробования могут успешно использоваться для литологического расчленения и корреляции геологических разрезов, выделения зон трещиноватости, разрывных нарушений, водоносных горизонтов, оценки пористости и прочностных свойств горных пород, изучения глубины развития коры выветривания, зоны окисления и др.

31. Оценка точности определения объемной массы и влажности, а также точности геофизических измерений, результаты которых используются для решения отдельных задач пункта 30 на количественном уровне (оценка изменчивости оруденения, определение коэффициента линейной рудоносности, параметров радиометрического обогащения, избирательного истирания или выкрашивания материала при отборе проб и др.), выполняется в соответствии с положениями настоящего документа.

VI. Содержание и оформление материалов геофизического опробования

32. В отчетах с подсчетом запасов, где используются результаты геофизических методов опробования, в составе материалов, предусмотренных «Методическими рекомендациями по составу и правилам оформления представляемых на государственную экспертизу материалов подсчёта запасов металлических и неметаллических полезных ископаемых», утвержденными МПР России в установленном порядке, следует рекомендуется дополнительно представляются материалы перечисленные в п.п.33-35.

33. Карта геологической изученности месторождения с указанием местоположения скважин и горных выработок, по которым пересечения тел полезного ископаемого или единичные их интервалы приняты в качестве опорных при построении корреляционных зависимостей и оценке достоверности геофизического опробования.

34. Сводная геолого-геофизическая документация скважин и горных выработок с опорными интервалами, исходные данные по которым использованы для построения корреляционных зависимостей и градуировочных графиков.

В сводной документации приводятся:

детальный геологический разрез по оси скважины (по линиям отбора проб из стенок горной выработки) с указанием порейсового выхода керна (геометрии борозды и техники ее отбора), мощности пересечений тела полезного ископаемого, внутренних прослоев пород и выхода керна по каждому из них, а также углов падения, глубины залегания кровли и подошвы тела полезного ископаемого, содержания полезных компонентов и вредных примесей по секционным геологическим пробам;

детальный геолого-геофизический разрез с сопоставлением диаграмм геофизических измерений в скважинах и непрерывных измерений керна в детализационном масштабе, графики геофизических измерений по линиям стенок горной выработки, диаграммы распределения анализируемых компонентов по данным исследований основным и дополнительными геофизическими методами с указанием мощности пересечений тела полезного ископаемого и внутренних прослоев пород, глубины залегания кровли и подошвы тела полезного ископаемого, а также интервалов с кавернозностью стенок скважины, по которым геофизическая информация не однозначна.

35. Текстовые приложения:

метрологический паспорт-журнал на каждый рабочий комплект аппаратуры;

таблица объемов буровых, горных и геофизических работ на месторождении (по стадиям, методам геофизических исследований в скважинах и горных выработках);

таблицы сопоставления основных, повторных и контрольных геофизических измерений с расчетами систематических и случайных (среднеквадратических) погрешностей;

исходные данные для увязки показаний приборов на имитаторах пород и руд, рабочих мерах состава или физических свойств, в градуировочных устройствах, составленных из монолитных штуфных образцов или керна, на опорных интервалах контрольно-градуировочных скважин или горных выработок;

таблицы сопоставления содержаний (при необходимости – метропроцента) полезных компонентов по данным анализа двух частей керна, сопряженных бороздовых, керновых и бороздовых (борозда по следу скважины), керновых и валовых;

таблицы сопоставления керновых, бороздовых и валовых проб с расчетами систематических и случайных погрешностей геологического опробования;

исходные данные геологического опробования и геофизических измерений, используемые для построения корреляционных зависимостей и градуировочных графиков;

таблицы сопоставления содержаний (метропроцента) полезных компонентов по данным геофизического и геологического опробования с расчетами систематических и случайных погрешностей геофизического опробования;

таблицы сопоставления мощностей пересечений тел полезного ископаемого и средних содержаний в них по результатам геологического и геофизического опробования;

исходные данные для оценки избирательного истирания керновых проб (таблицы сопоставления содержаний полезных компонентов, метропроцентов, мощностей тел полезного ископаемого и внутренних породных прослоев по классам выхода керна – по результатам геологического и геофизического опробования);

перечень дефектных интервалов, результаты геофизического опробования по которым не используются для подсчета запасов, с указанием причин;

журнал геофизического опробования с результатами оконтуривания тел полезного ископаемого по мощности в соответствии с установленными кондициями.

В расчетных таблицах средних содержаний анализируемых компонентов и мощностей тел полезного ископаемого по пересечениям, разрезам и подсчетным блокам указываются методы их определения (геофизическое или геологическое опробование).

Приложение 1

ДЕЙСТВУЮЩИЕ ИНСТРУКЦИИ И МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ТЕХНИКЕ И МЕТОДИКЕ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ РАБОТ

1. Инструкция по гамма-нейтронному каротажу скважин на бериллий при разведке месторождений редкометальных пегматитов. Утверждено 3 июля 1978 г. Научно-Методическим Советом по ядерно-физическим методам опробования.

2. Инструкция по нейтронному активационному каротажу. Утверждена 8 июля 1980 г. министерством геологии СССР.

3. Инструкция по гамма-нейтронному каротажу при опробовании бериллиевых руд. Утверждена Министерством геологии СССР 18 декабря 1981г.

4. Дополнение к инструкции по гамма-каротажу при поисках и разведке урановых месторождений. Утверждено 20 марта 1981 г. Заместителем министра геологии СССР.

5. Инструкция по опробованию флюоритовых руд ядерно-геофизическими методами каротажа. Утверждена 7 июля 1981 г. Заместителем министра геологии СССР.

6. Инструкция по опробованию фосфатных руд ядерно-геофизическими методами каротажа. Утверждена 25 ноября 1981 г. Заместителем министра геологии СССР.

7. Инструкция по нейтрон-нейтронному каротажу скважин на литий при разведке месторождений редкометальных пегматитов. Утверждена 16 сессией НМС по ядерно-физическим методам опробования полезных ископаемых в естественном залегании 3 июля 1979г

8. Инструкция по рентгенорадиометрическому каротажу скважин на рубидий и цезий при разведке месторождений редкометальных пегматитов. Утверждена НМС в 1983 г.

9. Инструкция по каротажу магнитной восприимчивости и электромагнитному каротажу. Утверждена 9 февраля 1983 г. министерством геологии СССР.

10. Инструкция по определению содержания суммы халькофильных элементов в ореолах рассеяния рентгенорадиометрическим методом. Утверждена НМС в 1983 г.

11. Инструкция по определению содержаний молибдена и циркония в комплексных уран-молибден-циркониевых рудах при рентгенорадиометрическом опробовании горных выработок с аппаратурой РРК-103. Утверждена 10 января 1984 г. Министерством геологии СССР.

12. Техническая инструкция по проведению геофизических исследований в скважинах. Утверждена Министерством геологии СССР 4 мая 1984г

13. Инструкция по рентгенорадиометрическому опробованию малосульфидных оловорудных месторождений. Утверждена 7 августа 1985 г. Научно-Методическим Советом по ядерно-физическим методам опробования.

14. Инструкция по РРК при поисках и разведке оловорудных месторождений. Утверждена 7 августа 1985 г. Министерством геологии СССР.

15. Инструкция по определению плотности горных пород и руд гамма-методом в обнажениях и горных выработках. Утверждена Министерством геологии СССР 24 июля 1987г

16. Инструкция по гамма-каротажу при поисках и разведке урановых месторождений Утверждена Министерством геологии СССР 24 июля 1987г.

17. Инструкция по проведению геофизических исследований рудных скважин. Утверждена 6 декабря 2000 г. министерством природных ресурсов Российской Федерации.

18. Методическое руководство. Гамма-спектрометрический метод определения содержания фосфора в представительных пробах и скважинах. Утверждено 29 мая 1975 г. Научно-Методическим Советом по ядерно-физическим методам опробования.

19. Методические рекомендации по применению рентгенорадиометрического метода исследования скважин на целестиновых месторождениях осадочного типа. Утверждены 26 мая 1978 г. Научно-Методическим Советом по ядерно-физическим методам опробования.

20. Методические рекомендации по рентгенорадиометрическому опробованию на селен и уран керна и неопробованных керновых проб месторождений гидрогенного типа. Утверждены 28 декабря 1984 г. министерством геологии СССР.

21. Методические рекомендации. Рентгенорадиометрический каротаж. Утверждены 22 декабря 1986 г. Научно-Методическим Советом по ядерно-физическим методам опробования.

22 Методические рекомендации по применению рентгенорадиометрического каротажа для определения содержаний серебра и мышьяка на золото-сереброрудных месторождениях. Утверждены Заместителем Министра геологии СССР В.М. Волковым 10 января1984г

23. Методические указания по магнитному методу опробования с аппаратурой РИМВ-2. Утверждены Управлением геофизических работ Министерства геологии СССР 20 декабря 1984г

24. Методические указания по применению рентгенорадиометрического каротажа и опробования керна для определения содержаний меди, цинка и свинца на колчеданно-полиметаллических месторождениях. Утверждены 22 августа 1986 г. Научно-Методическим Советом по ядерно-физическим методам опробования.

25. Методические рекомендации Рентгенорадиометрический каротаж. Утверждены 27 сессией НМС по ядерно-физическим методам опробования полезных ископаемых в естественном залегании 22 декабря 1986г.

26. Методические указания по магнитному опробованию при разведке и подсчете запасов железных руд преимущественно магнетитового состава. Утверждены НМС в 1987 г.

27. Методические рекомендации по применению рентгенорадиометрического каротажа для определения содержаний свинца и цинка на стратиформных полиметаллических месторождениях. Утверждены 17 декабря 1988 г. Министерство геологии СССР.

28. Методические рекомендации по определению достоверности бороздового и кернового опробования при разведке месторождений твердых полезных ископаемых. Утверждены 28 февраля 1989 г. ВИЭМСом, согласовано – Министерство геологии СССР.

29. Методические рекомендации по определению молибдена на молибденовых месторождениях штокверкого типа по данным РРК заполненных жидкостью скважин. Согласованы 4 сентября 1989 г. с Министерством геологии СССР.

30. Методические рекомендации №74. Управление качеством аналитических работ. Нормы погрешности при определении химического состава минерального сырья и классификация методик лабораторного анализа по точности результатов. Утверждены 19 ноября 1997 г. ВИМСом, согласованы - министерство природных ресурсов Российской Федерации.

31. ОСТ 41-08-205-99. Управление качеством аналитических работ. Порядок и содержание работы по аттестации методик количественного анализа минерального сырья

32. Изучение гранулометрического состава и контрастности полезных ископаемых для оценки возможности обогащения их с помощью радиометрических методов. Утверждены 21 апреля 1978 г. ВИМСом, одобрено Министерством геологии СССР.

33 Методические рекомендации по применению РРК для определения содержания свинца и цинка. Утверждены 17 декабря 1988 г. Министерством геологии СССР.

34. РД 41-06-125-90 «Оценка достоверности данных ядерно-геофизических методов опробования, получаемых при разведке месторождений твердых полезных ископаемых». Утвержден Министерством геологии СССР 12 июля 1990г

35 МУ 41-06-074-86 «Стандартные образцы для метрологического обеспечения геофизической скважинной аппаратуры. Утверждены 27 декабря 1987 г. заместителем министра геологии СССР Роговым В.Ф.

36. Требования к обоснованию достоверности опробования рудных месторождений. Утверждены 23 декабря 1992 г. Председателем ГКЗ Толкачевым М.В.

37. Требования к изучению радиометрической обогатимости минерального сырья при разведке месторождений металлических и неметаллических полезных ископаемых. Утверждены 23 ноября 1992 г. Председателем ГКЗ Толкачевым М.В.

Приложение 2

Расчетные формулы для статистической обработки результатов опробования

Условные обозначения:

n – количество интервалов опробования;

$C_{i\Gamma}$, $\overline{C}_{\Gamma}$ – содержание компонента в единичном интервале геологического опробования и среднее содержание по интервалам опробования;

$C_{i\Gamma\Phi}$, $\overline{C}_{i\Phi}$ – содержание компонента в единичном интервале геофизического опробования и среднее содержание по интервалам опробования;

C'_i, C''_i – содержание компонента в единичном интервале по данным основного и контрольного (повторного) опробования (измерения);

$П_{\Phi i}$- $П_{\Phi}$ – значение геофизического параметра по единичным измерениям в безрудных интервалах; среднее значение фонового параметра; $П_c$ – среднее значение параметра по эталонным интервалам или пробам с содержанием определяемого компонента $\overline{C}_{\Gamma}$, превышающим фоновое в 5 раз и более.

Порог обнаружения (минимальное пороговое содержание $C_{пр}$) анализируемого компонента по результатам опробования пород:

$$C_{пр} = 3\sqrt{\frac{\sum(П_{\Phi i} - П_{\Phi})^2}{n-1}} \cdot \frac{\overline{C}_{\Gamma}}{Пс} \qquad (1)$$

Относительная среднеквадратическая погрешность геофизических измерений, %:

$$\varepsilon^c_{\Gamma\Phi} = \frac{1}{C_{\Gamma\Phi}}\sqrt{\frac{\sum(C'_{\Gamma\Phi i} - C''_{\Gamma\Phi i})^2}{2n}} \cdot 100, \qquad (2)$$

Систематические расхождения между данными геологического и геофизического опробования:

$$\overline{\Delta} = \frac{\sum(C_{\Pi} - C_{\Gamma\Phi i})}{n} = \frac{\sum \Delta_i}{n} = \overline{C}_{\Gamma} - \overline{C}_{\Gamma\Phi}. \qquad (3)$$

Оценка дисперсии данных геологического S^2_{Γ} и геофизического $S^2_{\Gamma\Phi}$ опробования:

$$S^2_{\Gamma} = \frac{\sum(C_{\Pi} - \overline{C}_{\Gamma})^2}{n-1}, \qquad S^2_{\Gamma\Phi} = \frac{\sum(C_{\Gamma\Phi i} - \overline{C}_{\Gamma\Phi})^2}{n-1}. \qquad (4)$$

Относительная среднеквадратическая погрешность геологического опробования, %:

$$\varepsilon^c_{\Gamma} = \frac{1}{C_{\Gamma}}\sqrt{\frac{\sum(C'_{\Pi} - C''_{\Pi})^2}{2n}} \cdot 100 \qquad (5)$$

Относительное среднеквадратическое расхождение между данными геологического и геофизического опробования, %:

$$\varepsilon_{\Delta} = \frac{1}{C_{\Gamma}}\sqrt{\frac{\sum(C_{\Pi} - C_{\Gamma\Phi i})^2}{n}} \cdot 100, \qquad (6)$$

Относительная среднеквадратическая погрешность геофизического опробования

$$\varepsilon_{I\Phi} = \sqrt{\varepsilon_{\Delta}^2 - \varepsilon_{\Gamma}^2}\,. \qquad (7)$$

Расчетная величина критерия Стьюдента

$$t_{\Delta} = \frac{|\overline{\Delta}|\sqrt{n}}{S_{\Delta}}, \qquad (8)$$

где

$$S_{\Delta} = \sqrt{\frac{\sum(\Delta_i - \overline{\Delta})^2}{n-1}}\,. \qquad (9)$$

Расчетная величина критерия Фишера:

$$F = \frac{S_{I\Phi}^2}{S_{\Gamma}^2}. \qquad (10)$$

Расчетная величина критерия Смирнова:

$$o = \max\frac{|\Delta_i - \overline{\Delta}|}{S_{\Delta}}. \qquad (11)$$

Приложение 3

Предельно допустимые относительные среднеквадратические погрешности геофизических измерений по классам содержаний ($\varepsilon^2_{\text{ф}}$, %)

Компонент	Класс, %	$\varepsilon^2_{\text{ф}}$	Компонент	Класс, %	$\varepsilon^2_{\text{ф}}$	Компонент	Класс, %	$\varepsilon^2_{\text{ф}}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Li_2O	>1	7	Cr_2O_3	>5	5	Cd	>0,1	11
	0,5–1	10		1–5	6		0,02–0,1	22
	0,2–0,5	13		0,2–1	8		<0,02	30
	0,1–0,2	17		0,05–0,2	11	Sn	>5	5,0
	0,05–0,1	22	Mn	>3	5		1–5	6,0
	0,01–0,05	30		0,5–3,0	6		0,5–1	7,5
BeO	>5	5		0,2–0,5	10		0,2–0,5	10
	1–5	5,5		0,1–0,2	13		0,1–0,2	15
	0,5–1	7,0		0,05–0,1	20		0,05–0,1	20
	0,2–0,5	10		<0,05	30		0,02–0,05	25
	0,1–0,2	12	Fe	>10	5		<0,02	30
	0,05–0,1	15		5–10	6	Sb	>5	5
	0,02–0,05	20		1–5	10		2–5	6
	0,01–0,02	25		0,2–1	17		0,5–2,0	12
B_2O_3	>10	5		0,05–0,2	25		0,1–0,5	20
	3–10	7	Co	>0,5	5		<0,1	30
	1–3	10		0,1–0,5	6	BaO	>40	5,0
	0,1–1,0	22		0,05–0,1	10		20–40	6
	<0,1	30		0,01–0,05	25		10–20	9,0
F	>5	5	Ni	>1	5		5–10	12
	2–5	8		0,5–1,0	7,0		1–5	15
	1–2	10		0,2–0,5	10		0,5–1	17
	0,5–1	12		0,02–0,2	20		0,1–0,5	23
	0,2–0,5	15	Cu	>3	5		<0,1	30
	0,1–0,2	17		1–3	5,5	ΣTR_2O_3	>10	5
	0,05–0,1	21		0,5–1,0	8,5		1–10	7,0
	<0,05	30		0,2–0,5	13		0,5–1	10
Na_2O	>25	5		0,1–0,2	17		0,2–0,5	13

1	2	3	4	5	6	7	8	9
	5–25	6,0		0,05–0,1	25		0,1–0,2	20
	0,5–5	15		<0,05	30		0,05–0,1	25
	<0,5	30	Zn	>5	5		<0,05	30
Al_2O_3	>10	5		2–5	6,0	WO_3	>5	6
	5–10	8		0,5–2	11		2–5	7
	2–5	11		0,2–0,5	13		1–2	8
	1–2	15		0,1–0,2	17		0,5–1	9
	0,1–1	25		0,02–0,1	22		0,1–0,5	16
SiO_2	>20	5	As	>2	5		0,05–0,1	18
	5–20	7		0,5–2,0	6		0,02–0,05	25
	2–5	10		0,05–0,5	16	Au (крупное), г/т	>128	10
	1–2	12		0,01–0,05	25		64–128	12
	0,2–1	20		<0,01	30		16–64	18
	<0,2	30	Rb_2O	>1	12		4–16	25
P_2O_5	>1	5,0		0,5–1	15		<4	30
	0,3–1,0	7		0,2–0,5	17	Hg	>1	6,5
	0,1–0,3	11		0,1–0,2	22		0,2–1,0	8,5
	0,05–0,1	15		0,05–0,1	25		0,04–0,2	17
	0,01–0,05	22		0,01–0,05	30		0,01–0,04	20
	<0,01	30	Sr_2O	>40	5		0,005–0,01	25
S	>10	5		10–40	6	Pb	>5	5
	2–10	6		2–10	7,5		2–5	6,0
	1–2	9		0,5–2	16		1–2	8,5
	0,5–1	12		0,1–0,5	23		0,5–1	11
	0,3–0,5	15	Nb_2O_5	1–10	9		0,2–0,5	13
	0,1–0,3	17		0,5–1	11		0,1–0,2	17
	0,05–0,1	20		0,2–0,5	13	U	>1	5,0
	<0,05	30		0,1–0,2	16		0,1–1	5,0
K_2O	>5	6,5		0,05–0,1	20		0,03–0,1	6,5
	1–5	11		0,02–0,05	23		0,01–0,03	8,0
	0,5–1	15	V_2O_5	>1	8		0,01	15
	<0,5	30		0,5–1,0	12	Ag г/т	>300	5,0
CaO	>20	5		0,2–0,5	15		100–300	7,0
	10–20	6		0,1–0,2	20		50–100	12
	5–10	8		0,01–0,1	25		20–50	13
	1–5	10	Mo	>1	5		10–20	15
	0,5–1	15		0,5–1,0	6		1–10	22
	0,2–0,5	20		0,2–0,5	8,5		0,5–1	25
	<0,2	30		0,1–0,2	13			

1	2	3	4	5	6	7	8	9
TiO_2	>5	5		0,05–0,1	18			
	1–5	6,0		0,02–0,05	23			
	0,2–1	10						
	0,05–0,2	19						
	<0,05	30						

Приложение 4
(справочное)

Оценка изменчивости оруденения при метрологических исследованиях методов геологического и геофизического опробования.

При опробовании продуктивных пересечений, представленных рудами с высокой природной изменчивостью (прожилковое и гнездообразное оруденение), существенный вклад в погрешность как геологического, так и геофизического опробования привносит ошибка аналогии, обусловленная неоднородностью распределения рудного компонента, которая может заметно превышать технические погрешности обработки и анализа проб, а также инструментальные и методические погрешности геофизических измерений.

Ввиду неповторимости условий отбора керновых и бороздовых проб разделить влияние технических погрешностей геологического опробования и природной неоднородности объекта разведки невозможно.

Геофизическое опробование, благодаря высокой дискретности получаемых данных (шаг квантования 5-10 см при каротаже скважин и 1-2 см при непрерывном опробовании керна) и возможности неоднократного измерения одного и того же рудного объема, позволяет из суммарной ошибки опробования выделить ошибку, обусловленную природной изменчивостью оруденения. Наличие таких данных позволяет наиболее обоснованно выбрать для конкретного объекта оптимальную длину секционной пробы (интервала осреднения), а также обоснованно определить погрешность опробования и требования к технической погрешности геологического и геофизического опробования, в том числе в тех случаях, когда фактическая длина пробы отличается от линейного эквивалента пробы оптимальной геометрии.

Ошибка аналогии устанавливается по результатам серии измерений по двум смежным (разобщенным на заданное расстояние) сечениям рудного тела. По сопоставлению повторных замеров по одной и той же линии определяется «техническая» погрешность геофизических измерений, а по сопоставлению повторных замеров по разным смежным объемам суммарная погрешность. Погрешность аналогии $\sigma_{ан}$, для принятой геометрии замера вычисляется по формуле $\sigma_{ан} = \sqrt{\sigma^2_{\Sigma} - \sigma^2_{(г,ф)в}}$.

На практике такая схема может быть реализована только в определенных условиях, одним из которых является исключение влияния на результаты определения σ_{Σ} и $\sigma_{(г,ф)в}$ неконтролируемых погрешностей, обусловленных, в первую очередь, возможными нарушениями геометрии измерений и области замера при выполнения цикла геофизических измерений (основных и повторных) по смежным объемам.

Неизменность области замера может быть обеспечена только при непрерывных и контролируемых перемещениях блока детектирования по отношению к опробуемому объекту, т.е. только при непрерывных измерениях по стволу скважин (каротаж) или непрерывном опробовании керна (монолитных образцов). При точечных измерениях с шагом более 1/3 размера области равномерного обзора детектором опробуемой поверхности условие неизменности области замера не обеспечивается. Существенным и необходимым для сохранения геометрии измерений является стандартная форма ствола скважин. Керн и монолитные образцы, используемые для составных интервалов также должны иметь правильную (стандартную) форму (поверхность).

Приведенные выше условия, определяют ограниченные возможности выбора объектов для количественной оценки природной изменчивости:

-при опробовании рудных сечений с использованием бороздового опробования или геофизических методов с глубинностью 10-20см - это смежные стволы (на расстоянии 10-20 см.) короткометражных скважин. или соответствующим образом составленные из керна таких скважин или отобранных монолитных образцов эталонные интервалы. Выбор короткометражных скважин обусловлен необходимостью сохранения постоянного расстояния между смежными стволами, что при глубине скважин более первых метров практически невозможно.

- при опробовании рудных сечений по керну или геофизическими методами с глубинностью менее 3- 5см – это короткометражные скважины или эталонные интервалы, составленные из керна этих или рядовых геологических скважин. В этом случае, какие- либо требования к выходу керна не предъявляются. так как сопоставление результатов геофизических измерений и геологического опробования не является обязательным. Возможно частичное использование скважин бескернового бурения, если обеспечивается надежное выделение природных типов руд. Выбор короткометражных скважины обусловлен необходимостью контролировать положение скважинного прибора при основных и повторных измерениях по противоположным образующим (смежным объемам) ствола скважины с помощью специальных штанг.

gost.e-ecolog.ru