

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

Радиоактивные металлы

Москва, 2007

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

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

Методические рекомендации по применению Классификации запасов месторождений и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых. Радиоактивные металлы.

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.

ископаемых (радиоактивных металлов)

I. Общие сведения

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

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. У р а н. Металл светло-серого цвета, легко поддается обработке, сравнительно мягкий, на воздухе темнеет, покрываясь пленкой оксида. Кларк урана – $2,5 \cdot 10^{-4}$ %, т.е. выше кларков многих редких металлов (Mo, W, Hg). Атомный номер $Z=92$, атомная масса $A=238,029$. Существует в трех кристаллических модификациях. Плотность $18,7-19,5 \cdot 10^3$ кг/м³, твердость по Бринеллю $19,6-21,6 \cdot 10^2$ Мн/м² ($200-220$ кгс/мм²), слабый парамагнетик (удельная магнитная восприимчивость $1,72 \cdot 10^{-6}$). Температура плавления 1135 С°. Радиоактивен, в порошке пирофорен, в растворах токсичен.

Уран химически весьма активный элемент. Он быстро окисляется на воздухе, разлагает воду при 102 С°, легко реагирует со всеми неметаллами, образует ряд интерметаллических соединений. Уран относится к III группе периодической системы Менделеева, открывая, наряду с торием, семейство актиноидов, представленное в основном трансурановыми, искусственно получаемыми элементами (плутоний, америций, кюрий и др.). Однако по химическим свойствам уран имеет много общих черт с элементами IV группы (Mo, W, Cr). Он поливалентен, в четырехвалентном состоянии амфотерен и склонен к изоморфизму с Ca, Ti, Th и редкими землями. В шестивалентном состоянии в нейтральных и кислых растворах образует комплексный уранил-ион $(UO_2)^{+2}$.

Большинство соединений четырехвалентного урана нерастворимо в воде. В то же время большинство солей уранила – сульфаты, нитраты, карбонаты – хорошо растворимы. Различная растворимость урана в четырех и шестивалентном состоянии определяет условия его миграции и является главным фактором образования его концентраций в природе.

Фторид шестивалентного урана (гексафторид) возгоняется при 56 С° и используется в процессе обогащения природного урана изотопом ^{235}U .

Природный уран состоит из смеси трех изотопов: ^{238}U (99,2739 %), ^{235}U (0,7024 %) и ^{234}U (0,0057 %). Периоды полураспада этих изотопов соответственно равны: $4,51 \cdot 10^9$

лет, $7,13 \cdot 10^8$ лет и $2,48 \cdot 10^5$ лет.

Изотопы урана ^{238}U и ^{235}U в результате радиоактивного распада образуют два радиоактивных ряда: уран-радиевый и актино-урановый. Конечными продуктами распада рядов являются устойчивые изотопы ^{206}Pb , ^{207}Pb и гелий. Из промежуточных продуктов практическое значение имеют радий ^{226}Ra и радон ^{222}Rn .

С течением времени, через интервал равный примерно десяти периодам полураспада наиболее долгоживущего дочернего продукта, в радиоактивном ряду урана наступает состояние устойчивого радиоактивного равновесия, при котором число распадающихся в единицу времени атомов всех элементов ряда одинаково.

Р а д и й (^{226}Ra) щелочноземельный металл, гомолог бария, является в ряду распада ^{238}U основным гамма-излучателем. Чистый уран испускает только слабопроникающие альфа-лучи. Период полураспада радия 1590 лет. Радиоактивное равновесие между ураном и радием наступает через $8 \cdot 10^5$ лет и наблюдается в древних, хорошо сохранившихся породах и минералах. При радиоактивном равновесии одному грамму урана соответствует $3,4 \cdot 10^{-7}$ грамма радия. В равновесном ряду интенсивность гамма-излучения пропорциональна содержанию урана, что позволяет осуществлять экспресс-анализ урановых руд, а также их сортировку и радиометрическое обогащение. Однако в незамкнутых природных системах равновесие между ураном и радием может нарушаться, поскольку эти элементы имеют различную миграционную способность.

Состояние равновесия системы принято выражать коэффициентом радиоактивного равновесия:

$$K_{pp} = 2,94 \cdot 10^8 C_{\text{Ra}} / C_{\text{U}},$$

где C_{Ra} и C_{U} – содержания радия и урана в %.

Необходимость изучения состояния радиоактивного равновесия составляет одну из особенностей разведки и оценки урановых месторождений.

Р а д о н (^{222}Rn) представляет собой инертный газ, хорошо растворимый в воде. Период полураспада радона очень мал – 3,8 суток. Поэтому его высокая миграционная способность обычно не приводит к изменению соотношения между гамма-активными продуктами и ураном. Однако при бурении разведочных скважин в обводненных ураноносных породах может происходить отжатие буровым раствором пластовых вод с растворенным радоном из окколоскважинного пространства, за счет чего интенсивность измеряемого каротажем гамма-излучения окажется ниже соответствующей содержанию урана. Необходимость изучения и учета этого явления составляет еще одну особенность разведки и оценки некоторых типов урановых месторождений.

Урановые руды выделяют радон в окружающую среду (эманзируют). Именно радон, попадая из рудничной атмосферы в легкие человека и распадаясь там на твердые более долгоживущие продукты, является одним из главных факторов радиационной опасности на уранодобывающих предприятиях.

Способность руд к эманированию требует специального изучения (оценки удельного радоновыделения – УЭР), а проходка подземных горных выработок на урановых месторождениях, – специальных мер безопасности (усиленная вентиляция, бетонирование обнаженных поверхностей и др.).

Минералогия урана исключительно разнообразна. Известно около 300 урановых и урансодержащих минералов, однако основную массу промышленных руд обычно составляют следующие (табл.1).

Важнейшие урановые минералы

Минералы	Химический состав (формула)	Содержание урана и тория (в скобках), %
Уранинит	(U,Th)O _{2x}	62–85 (до 10)
Настуран	UO _{2x}	52–76
Урановые чер- ни	UO _{2x}	11–53
Браннерит	(U, Th)Ti ₂ O ₆	35–50 (до 4)
Коффинит	U (SiO ₄) _{1-x} (OH) _{4x}	60–70
Давидит	(Fe,Ce,U)(Ti,Fe,V,Cr) ₃ (O,OH) ₇	1–7
Нингиоит	CaU(PO ₄) ₂ ·2H ₂ O	20–30
Карнотит	K ₂ (UO ₂) ₂ (VO ₄) ₂ ·3H ₂ O	52–66
Торбернит	Cu (UO ₂) ₂ (PO ₄) ₂ ·12H ₂ O	48
Отенит	Ca(UO ₂) ₂ (PO ₄) ₂ ·10H ₂ O	48–54
Уранофан	Ca[UO ₂ (SiO ₃ OH)] ₂ ·5H ₂ O	55–58
Цейнерит	Cu (UO ₂) ₂ (AsO ₄) ₂ ·12H ₂ O	55
Тюямунит	Ca (UO ₂) ₂ (VO ₄) ₂ ·8H ₂ O	57–65
Казалит	Pb[UO ₂ SiO ₄]·H ₂ O	42–50

В некоторых типах месторождений основным носителем урана является ураноносный фторапатит, в котором уран изоморфно замещает Са.

4. Т о р и й. Пластичный металл серебристо-белого цвета, на воздухе медленно окисляется. Атомный номер 90, атомная масса 232,038. Существует в двух кристаллических модификациях. Плотность $11,72 \cdot 10^3$ кг/м³, твердость по Бринеллю 450–700 Мн/м² (45–70 кгс/мм²), парамагнитен (удельная магнитная восприимчивость $0,54 \cdot 10^{-6}$). Температура плавления 1750 С°. Разлагает воду при 200 С°, на холоде медленно реагирует с азотной, серной, плавиковой кислотами, легко растворяется в соляной кислоте и царской водке. Радиоактивен.

Природный торий практически состоит из одного долгоживущего изотопа ²³²Th с периодом полураспада $1,39 \cdot 10^{10}$ лет (содержание ²³⁸Th, находящегося с ним в равновесии, ничтожно – $1,37 \cdot 10^{-8}$ %). Конечный продукт ряда распада стабильный ²⁰⁸Pb. Продукты, способные обусловить нарушение равновесия в ряду отсутствуют. Один из промежуточных продуктов – инертный газ торон (Tn) крайне короткоживущий (полураспад 54 сек). Радиоактивное равновесие между торием и основным его гамма-излучателем мезоторием (MsTh₂) наступает через 75 лет.

В природных соединениях Th исключительно четырехвалентен. Большинство его соединений нерастворимо. В поверхностных условиях мигрирует только путем механического переноса минералов. Накапливается в россыпях.

Несмотря на относительно высокий кларк ($8 \cdot 10^{-4}$ %), торий склонен к рассеянию. Собственные его минералы редки. В качестве изоморфной примеси встречается в различных минералах редких земель и тантала-ниобия. Наиболее практически важные минералы приведены в таблице 2.

В заметных количествах в настоящее время торий не добывается. Применение его в технике незначительно (в виде тугоплавкого оксида и для легирования некоторых специальных сплавов).

Наиболее важные минералы тория

Минерал	Хим. состав (формула)	Содержание Th (U) в %
---------	-----------------------	-----------------------

Монацит	(Ce, Th, U) PO ₄	<10 (<6)
Лопарит	(Ce, Na, Ca, Th) (Ti, Nb)O ₃	< 3
Пироклор	(Ca,Na,Th,TR,U) ₂ - (Nb,Ta,Ti) ₂ O ₆ (O,OH,F) _{1-m n} H ₂ O	<5 (<7)
Торит	(Th,U)SiO ₄	65–80 (1–2)
Торианит	(Th,U)O ₂	58–90 (1–30)

Месторождений собственно ториевых руд неизвестно. Наиболее перспективным источником получения больших его количеств являются россыпи монацита. Возможно также попутное получение тория при разработке пироклоровых карбонатитов, щелочных лопаритоносных пород, других редкоземельно-редкометалльных месторождений. Массовое производство тория будет сопряжено с проблемой сбыта сопутствующих металлов, часть из которых пользуется весьма ограниченным спросом (редкоземельные).

5. Уран и торий являются сырьем для изготовления ядерного топлива с целью производства электрической и тепловой энергии (АЭС, АСТ, АТЭЦ), опреснения морской воды, получения вторичного ядерного горючего, других искусственно приготавливаемых делящихся веществ и изотопов, трития, восстановителей для металлургической промышленности, новых видов химической продукции и научных исследований. Ядерные реакторы находят применение как транспортные силовые установки.

Из природных изотопов, свойствами, необходимыми для использования в качестве атомного топлива, обладает только изотоп урана ²³⁵U. Однако в атомных реакторах, путем облучения нейтронами, из изотопа ²³⁸U может быть получен искусственный изотоп – плутоний (²³⁹Pu), а из ²³²Th – изотоп ²³³U, также обладающие свойствами атомного горючего. При этом в специальных типах реакторов-размножителей процесс может осуществляться так, что количество вновь образующегося атомного топлива будет превышать количество ²³⁵U, затраченного на поддержание работы реактора.

Некоторая часть урановых руд используется для производства радия, соединения урана применяются в медицине, химии, фотографии, электротехнике и др. Торированные катоды применяются в электронных лампах, а оксидно-ториевые – в магнетронах и мощных генераторных лампах. Добавка 0,8–1 % ThO₂ к вольфраму стабилизирует структуру нитей накаливания. Двуоксид тория используется как огнеупорный материал, а также как элемент сопротивления в высокотемпературных печах. Торий и его соединения широко применяют в составе катализаторов в органическом синтезе, для легирования магниевых и других сплавов, которые приобрели большое значение в реактивной авиации и ракетной технике.

6. По характеру урановой минерализации руды разделяются на следующие основные типы:

- настурановые и уранинитовые;
- коффинит-настуран-черниевые;
- браннеритовые и настуран-браннеритовые (настуран-коффинит-браннеритовые);
- руды со сложными урансодержащими, торийсодержащими и редкоземельными минералами (монацит, лопарит, торит, эвдиалит, сфен, пироклор, гаттчетолит и т.п.);
- настуран-апатитовые;
- уранослюдковые .

7. Геологические условия, в которых формируются месторождения радиоактивных руд, многообразны. Количество геолого-промышленных типов этих месторождений и их роль, как сырьевой базы, изменяются в течение достаточно коротких промежутков времени. Отдельные геолого-промышленные типы в настоящее время утрачивают свое промышленное значение (урано-битумный, железо-урановый и др.) в связи с отработкой соответствующих месторождений. Получают промышленное значение геолого-

промышленные типы, не игравшие ранее существенной роли в производстве урана и тория, что вызвано достижениями в разработке новых способов добычи, переработки и использования минерального сырья (селен-урановые в проницаемых отложениях, редкометальные торий-урановые в щелочных массивах, карбонатитах и др.). Такие изменения должны учитываться при планировании и производстве геологоразведочных работ.

Известные на сегодняшний день в стране и за рубежом геолого-промышленные типы месторождений радиоактивного сырья отражены в таблицах 3 и 4. Основные объемы мировой добычи урана обеспечиваются месторождениями типа структурно-стратиграфических «несогласий», «песчаникового» и жильного типов, на долю которых приходится 80 % мирового производства. В России 98 % добываемого урана добывается на месторождениях жильного типа, связанных с вулканическими структурами (Стрельцовский тип).

8. Урановые месторождения в областях тектоно-магматической активации докембрийских щитов.

Урановые месторождения зоны натрового метасоматоза (альбитизации) в гранитоидах и гнейсах Украинского кристаллического щита: Мичуринское, Ватутинское, Северинское, Ново-Константиновское и др. Оруденение контролируется зонами катаклаза, микробрекчирования и трещиноватости в альбититах. Рудные залежи сложной линзообразной, столбообразной, плитообразной формы с крутым и пологим падением, протяженностью по простиранию от первых сотен метров до 1 км, падению – десятки-сотни метров (до 0,5 км) при средней мощности от первых до десятков метров. Рудные залежи характеризуются сложным внутренним строением при значениях коэффициента рудности 0,75–0,85; границы рудных тел выделяются по данным опробования. Руды алюмосиликатные, монометальные, вкрапленные и тонкопрожилковые, бедные и рядовые, слабо- и среднеконтрастные.

Первичные урановые минералы – настуран, уранинит, коффинит, браннерит, ненадкевит, давидит; развиты вторичные минералы урана. Вредные примеси представлены CaO, MgO, CO₂, P₂O₅, цирконием. По запасам урана месторождения относятся к крупным и средним, а по сложности геологического строения – в основном к 3 группе в соответствии с Классификацией запасов.

При разведке месторождений используется комбинированная горно-буровая система с преобладанием скважин.

Урановые месторождения зоны натрового метасоматоза в складчатых нарушениях среди железо-магнезиальных пород – железистых кварцитов и сланцев: Желтореченское, Первомайское, Кременчугское. Месторождения контролируются пликативной и дизъюнктивной тектоникой. Урановая и железорудная минерализация генетически связана с процессами железистого, натрового и карбонатного метасоматоза. Урановые рудные тела залегают как совместно, так и отдельно с железными рудами и имеют пласто-, линзо- и столбообразную форму. Протяженность рудных залежей по простиранию составляет сотни метров, реже до 1,5 км, падению – первые сотни метров при мощности до 10 м и более. Внутреннее строение крупных залежей сравнительно простое с почти сплошным оруденением. Урановые руды алюмо-силикатные и железоксидные, вкрапленные и прожилковые. Главные рудные минералы – уранинит, настуран, силикаты урана, магнетит и гематит. По содержанию урана руды относятся к рядовым, а по содержанию железа (выше 50 %) – к богатым. Руды слабо- и среднеконтрастные. По масштабу уранового оруденения месторождения относятся к средним и соответствуют 2 группе сложности.

Таблица 3

Промышленные типы месторождений урана с основными типами руд

Промышленные типы месторождений	Морфологический тип и комплекс вмещающих пород	Природный (минеральный) тип руд	Среднее содержание U в руде, %	Попутные компоненты	Промышленный (технологический) тип руд	Примеры месторождений
1	2	3	4	5	6	7
Эндогенный в областях тектономагматической активизации докембрийских щитов	Плито-, стобо- и линзообразные залежи в гнейсах, мигматитах и гранитах	Урановый. Коффинит-настуран-браннеритовый, уранинит-браннеритовый	0,1	–	Энергетический урановый (сортировочный, гидрометаллургический)	Мичуринское, Ватутинское и Северинское (все Украина)
	Пласто-, и линзообразные залежи в железомagneзиальных сланцах и железистых кварцитах	Урановый. Гематит-магнетит-настуран-уранинитовый	0,2	Fe до50 %	Энергетический железо-урановый (сортировочный, гидрометаллургический, пирогидрометаллургический)	Желтореченское, Первомайское (Украина)
	Штокверки и линзы в гранитоидах, мигматитах и пегматитах	Урановый и торий-урановый. Браннерит-уранинитовый, коффинит, браннеритовый, настуран-браннеритовый	0,04–0,07	Au, Ag, Mo	Энергетический урановый с золотом и серебром (сортировочный, флотационно-гидро-пирометаллургический)	Южное и Лозоватское (Украина), Россинг (Намибия)
	Плито-, жило- и линзообразные залежи в кристаллических сланцах, мигматитах, гранитах	Золото-урановый. Браннеритовый	0,15	Au	Энергетический урановый с золотом (сортировочный, гидрометаллургический)	Дружное, Курунг, Снежное (Эльконкский рудный район)
Эндогенный в зонах структурно-стратиграфических несогласий	Линейные залежи и жилы в кристаллических сланцах, гнейсах фундамента и песчаниках осадочного чехла	Урановый, никель-урановый Арсенидно-сульфидно-коффинит-настурановый	0,3–12	Au, Ni, Cu, Ag	Энергетический урановый золото-никельсодержащий (гидрометаллургический)	Сигар-Лейк и Роки-Лейк (Канада), Джабилука, Набарлек (Австралия)
Эндогенный в структурах тектонической активизации складчатых об-	Столбо-, линзо- и жилообразные залежи в песчаниках, углеродистых сланцах, диабазов, гранитах и из-	Урановый, Коффинит-фторопатит-браннерит-настурановый	0,12	TR	Энергетический урановый (сортировочный, гравитационно-гидрометаллургический)	Грачевское, Косачинское и Восток (все Казахстан)

1	2	3	4	5	6	7
ластей	вестняках	Урановый фосфор-урановый, молибден-урановый аршиновит-молибденит-браннерит-настурановый, апатит-уранинитовый	0,08-0,1	Mo, Au, Zr, P ₂ O ₅ 25–30	Энергетический урановый (сортировочный, гидрометаллургический)	Маньбайское Заозерное (Казахстан)
	Пласто- и линзообразные залежи в углисто-кремнистых сланцах	Урановый. Настуран-коффинитовый, урановые черни-настурановый	0,05	V	Энергетический урановый (сортировочный, гидрометаллургический)	Шмирхау, Ройст и Беервальде (Германия)
	Жильные и линзообразные залежи в амфиболитах, углеродисто-кремнистых сланцах	Урановый. Сульфидно-арсени-дно-настурановый с самородн. серебром, карбонат-коффинит-настурановый	0,4	Ag до200г/т Bi, Ni, Co, Sn, Zn, Pb, W, Mo	Энергетический урановый с серебром (сортировочный, гидрометаллургический)	Шлема-Альберода, (Германия), Пршибрам (Чехия)
Эндогенный в вулканно-тектонических структурах складчатых областей	Штокверки, линзо- жило- и пластообразные залежи в вулканитах, гранитоидах, туфопесчаниках, мраморах	Молибден-урановый Настурановый, настуран-коффинитовый, иордизит-настурановый, Сульфидно-настурановый	0,12–0,5	Mo, Pb, Bi, Zn	Энергетический , металлургический молибден-урановый (сортировочный, гидрометаллургический)	Стрельцовское, Тулукуевское, Аргунское, Бота-Бурум, Кызылсай
Экзогенный в морских глинах платформенного чехла	Пласты и линзы в серых и черных глинах с костным детритом	Редкометалльно-урановый Редкометалльно-ураноносный костный фосфат	0,05	Sc, Y, TR, Re	Энергетический урановый (сортировочный, гравитацион-но-гидрометаллургический)	Степное, Меловое (Казахстан)
Экзогенный в водопроницаемых толщах платформенного чехла	Ленто- и лин-зообразные залежи, роллы в сероцветных песчаниках и гравеллитах	Урановый Коффинитовый, урановые черни-настурановый	0,1–0,2	Se, V, Mo, Re	Энергетический урановый (скважинное подземное выщелачивание – гидрометаллургический)	Учкудук и Сургалы (Узбекистан), Буденновское (Казахстан)

1	2	3	4	5	6	7
	Ленто- и линзообразные залежи в углисто-глинистых сероцветных песчаниках, песках и гравелитах	Урановый Урановые черни-коффинит-настурановый	0,02–0,1	–	Энергетический урановый (скважинное подземное выщелачивание – гидрометаллургический)	Долматовское, Хохловское, Хиагдинское, Имское, Девладовское (Украина)
	Лентообразные залежи в бурых углях, углистых песчаниках и сланцах	Урановый Молибденит-коффинит-урановые черни-настурановый	0,03–0,1	Mo, Se, Re	Энергетический урановый (сортировочный, гидрометаллургический, пирогидрометаллургический)	Нижне-Илимское и Кольджатское (Казахстан)
	Линзо-, пласто-, лентообразные залежи и роллы в красноцветных и пестроцветных песчаниках, глинистых сланцах	Битум-урановый и ванадий-урановый Урановые черни-коффинит-настурановый	0,n	V	Энергетический урановый (сортировочный, гидрометаллургический)	Майлисайское, (Кыргызстан), Адамовское (Украина), Амброзия-Лейк (США)

Таблица 4

Промышленные типы торийсодержащих месторождений с основными типами руд

Промышленные типы месторождений	Структурно-морфологический тип и комплекс вмещающих пород	Природный (минеральный) тип руд	Среднее содержание в руде ThO ₂ , %	Основные компоненты	Промышленный (технологический) тип руд	Примеры месторождений
Торийсодержащие коренные руды	Пластообразные залежи (стратифицированные) в агапитовых нефелиновых сиенитах	Торий – редкоземельный Лопаритовый	0,02	TR, Ta, Nb, Zr, U	Химико-металлургический редкоземельно-редкометалльный с ураном и торием (сортировочный, гравитационно-флотационно-гидрометаллургический)	Ловозерское
Коры выветривания карбонатитов	Пластообразные залежи в корях выветривания карбонатитов	Торий – редкометалльный Пироклоровый, монацит-пироклоровый	0,01–0,05	Nb, Ta, TR, P	Металлургический тантал-ниобиевый с торием (сортировочный, флотационно-гидрометаллургический)	Томтор, Белозиминское, Араша (Бразилия)
Россыпной прибрежно-морской и континентальный	Пластовые залежи в береговых пляжных и донных отложениях	Редкоземельно-ториевый Монацит-циркон-рутил-ильменитовый	Монацит n.100 г/м ³	Zr, Ti, TR	Металлургический титан-цирконий- редкоземельно-ториевый (гравитационно-электростатический-магнитно-гидрометаллургический)	Туганское, Лукояновское, Малышевское (Украина), россыпи Австралии, Индии, США
	Пластовые аллювиальные залежи	Редкоземельно-ториевый Монацит-торит-касситеритовый	Монацит n.100 г/м ³	TR, Sn	Металлургический олово- редкоземельно-ториевый (гравитационно-электростатический-магнитно-гидрометаллургический)	Россыпи Юго-Восточной Азии, Африки и Южной Америки
	Пластовые ложково-аллювиальные залежи	Цирконий-ториевый. Циркон-монацитовый	Монацит n.100 г/м ³	Монацит n.10- n.100 г/м ³	Zr	Металлургический цирконий-ториевый (гравитационно-электростатический-магнитно-гидрометаллургический)
Торит-изоферро-платиновый		Торит n.10- n.100 г/м ³	Торит n.10- n.100 г/м ³	Pt	Металлургический платина-ториевый (гравитационно-гидрометаллургический)	Кондерское

Золото-урановые месторождения зон калиевого метасоматоза вдоль протяженных разломов Алданского щита в аляскитовых гранитах, мигматитах и пегматоидах: Дружное, Курунг, Снежное и другие. Рудные тела имеют жилообразную форму, протяженность до 700 м, мощность 2–5 м, при общем вертикальном размахе оруденения до 1,5–2 км; кулисообразно или четковидно располагаются в зонах дробления и метасоматоза и обычно не имеют геологических границ. Урановая минерализация образует цемент брекчиевых швов, прожилки и вкрапленность внутри зон метасоматоза. Руды алюмосиликатные с повышенным содержанием серы и углекислоты, коффинит-браннеритовые, смолково-браннеритовые, в отдельных случаях уранинит-ториевые, комплексные, содержат золото (0,8 г/т), серебро (10 г/т), молибден (0,08 %) в виде молибденита и иордизита, серу (2,5 %). По содержанию урана руды в целом рядовые, высоко- и среднеконтрастные.

По масштабу оруденения месторождения относятся к уникальным и крупным, а по сложности геологического строения – в основном ко 2 группе. Разведка месторождений производится скважинами, обязательно в сочетании с горными выработками с целью подтверждения сплошности оруденения по простиранию и падению.

9. Золото-никель-урановые месторождения в зонах карбонатно-магнезиального метасоматоза вблизи поверхностей несогласия различных структурных этажей (геосинклинального и платформенного) в углеродсодержащих породах: Рейнджер-1, Джабилука, Набарлек (Северная территория Австралии), Раббит-Лейк, Мидуэст-Лейк, Ки-Лейк, Клаф-Лейк и др. (Канада). Месторождения этого типа контролируются зонами разломов. Урановое оруденение, как правило, локализуется в оперяющих трещинах крупных нарушений, трещинах разрыва, межпластовых зонах дробления, а также в структурах обрушения (коллапса) карстогенных образований. Оруденение развивается выше и ниже поверхности несогласия. Наиболее богатое оруденение обычно находится над горизонтами углеродистых сланцев либо в них самих. Вмещающими оруденение породами являются измененные гнейсы, графитовые и амфиболовые сланцы, их брекчии, прослой доломитов и песчаников. Рудовмещающие породы повсеместно хлоритизированы, проявлена также серицитизация и аргиллизация пород. Рудные тела представлены сложнопостроенными линзо- и пластообразными залежами. По внутреннему строению залежи близки к сложным штокверкам. Протяженность рудных тел достигает 800–1500 м при ширине от 10 до 200 м и глубине распространения до 90–120 м. Месторождения этого типа имеют значительные, иногда уникальные запасы и высокое качество руд. Содержание в богатых рудах урана достигает 8–30 % при среднем содержании в рядовых рудах 0,15–0,25 %. Руды алюмосиликатные, комплексные. Кроме урана в рудах выявлены высокие содержания золота (до 12–16 г/т), никеля (0,9–4,8 %), меди (0,1–0,4 %), серебра (45–70 г/т). Рудные минералы представлены настураном, сульфидами и арсенидами Co – Ni, гематитом, лимонитом, пиритом, сфалеритом, халькопиритом.

По масштабам оруденения и сложности геологического строения месторождения в основном могут быть отнесены ко 2 и 3-й группам.

10. Месторождения в структурах тектоно-магматической активизации складчатых областей.

Торий-фосфор-урановые, молибден-урановые и урановые месторождения в зонах низкотемпературного натрового метасоматоза по терригенным породам фанерозоя в блоках с геантиклинальным режимом развития и вблизи срединных массивов. Заозерное, Тастыколь, Маныбайское, Грачевское, Косачино, Глубинное и др.

Оруденение контролируется послойными, секущими дизъюнктивными нарушениями, трубообразными и линейными зонами брекчированных пород, определяющих,

наряду с пликативными структурами и составом пород, форму рудных тел, представленных пластообразными, линзообразными, трубообразными, жилообразными телами и штокверками. Размеры рудных залежей весьма разнообразны и составляют по простиранию от десятков метров до одного километра, падению – десятки и сотни метров, а в отдельных залежах – до 1 км, мощности – от первых метров до первых сотен метров. Руды фосфор-урановой формации фосфатные и карбонатные, реже алюмосиликатные, молибден-урановой и урановой формаций – алюмосиликатные, по содержанию урана рядовые и бедные, вкрапленные. Основными рудными минералами являются: для фосфор-урановых руд – фтор-апатит, коффинит, аршиновит, браннерит, ферриторит, ториацит, циркон (малакон); молибдено-урановых и урановых – преимущественно настуран, урановые черни, коффинит, молибденит, иордзит. Содержание пятиоксида фосфора изменяется от 2 до 25 %, тория – в пределах 0,01–0,13 %, молибдена – 0,02–0,04 %, циркония – до 0,5–0,9 %.

Вредными примесями являются карбонаты, цирконий и углистое вещество. По радиометрической контрастности руды относятся к средне- и слабоконтрастным. По количеству запасов месторождения относятся к средним, а по сложности геологического строения – ко 2 и 3 группам. Детальная разведка месторождений осуществляется комбинированными горно-буровыми системами.

Урановые, ванадий-урановые месторождения в углеродисто-кремнистых породах нижнего и среднего палеозоя: Роннебургское рудное поле (Шмирхау, Ройст и др.), Рудное и др. Рудные залежи согласные со складчатостью в осветленных породах между зоной окисления и цементации, осложненные секущими и послойными тектоническими нарушениями. Границы рудных тел устанавливаются по данным опробования. Размеры рудных тел по простиранию изменяются от первых десятков до сотен метров, по ширине – с первых до сотен метров при мощности обычно первые метры, реже первые десятки метров. Руды алюмосиликатные и карбонатные, прожилково-вкрапленные и вкрапленные, рядовые и бедные. Основными урановыми минералами являются урановые черни, урансодержащее гумусовое вещество, уранованадаты и фосфаты урана. Подавляющая часть ванадия связана с корвуситом, навахойтом, фольбортитом. Среднее содержание ванадия в руде 1,1 %, молибдена 0,02–0,03 %. Вредной примесью является цирконий (0,01–0,3 %).

По масштабу оруденения месторождения относятся к крупным и мелким, а по сложности строения – к 3 группе. Детальная разведка месторождений осуществляется главным образом горными выработками в сочетании со скважинами.

Кварц-карбонатно-смолоквые жильные месторождения с никелем, кобальтом, серебром, висмутом в краевых или центральных частях срединных массивов, в экзоконтактовых зонах гранитоидных интрузивов среди роговиков, скарнов, амфиболитов и других метаморфизованных пород. Пршибрам, Яхимовское, Обершлема-Альберода, Нидершлема-Альберода в Рудных горах. Рудные скопления внутри жил образуют рудные столбы, размещение которых контролируется трещинной тектоникой, экранирующими структурами и литологическим составом пород. Руды в основном карбонатные, реже алюмосиликатные, весьма богатые и богатые и характеризуются высокой радиометрической контрастностью. Минералы рудных жил представлены настураном, карбонатами, кварцем, реже флюоритом, сульфидами, самородными серебром и висмутом, диарсенидами никеля и кобальта, никелином. Помимо урана промышленное значение могут иметь серебро, висмут, кобальт, никель, которые являются попутными полезными компонентами, а также попутные (основные) полезные ископаемые, представленные оловом в пологих скарновых залежах, свинцом и цинком в зонах послойных нарушений

и сидеритовых жилах, вольфрамом, молибденом и оловом в кварц-вольфрамитовых и кварц-касситеритовых жилах с молибденитом.

По масштабу оруденения месторождения этой формации относятся к крупным и уникальным, а по сложности геологического строения – к 3 группе. Детальная разведка подобных месторождений производится горными выработками. Обычные способы рядового опробования сопровождаются валовым опробованием (экспресс-анализом руды в шахтных вагонетках) для определения продуктивности (выход металла на 1 кв. м. площади рудного тела, кг/кв. м.).

11. Месторождения в вулкано-тектонических структурах позднеорогенного или активизированного этапов развития складчатых областей в связи с проявлением вулканизма андезит-липаритовой формации и зонами аргиллизации.

Молибден-урановые месторождения преимущественно в вулканогенных породах: Месторождения Стрельцовского рудного поля, Джидели, Чаули и др. Рудные поля приурочены к вулкано-тектоническим депрессиям, выполненным вулканогенными и осадочными породами. Оруденение развивается на различных стратиграфических уровнях, подчиняясь структурному и литологическому контролю. Рудные залежи представлены крутопадающими линейными штокверкоподобными, жилообразными и пологими пластообразными формами и их комбинациями. Протяженность рудных залежей по простиранию колеблется от первых десятков метров до 1 км, по падению – от первых десятков до нескольких сотен метров, ширина штокверкоподобных и пластообразных залежей составляет первые десятки – сотни метров, мощность оруденения – от первых до десятков метров (для пластовых – доли метра, первые метры). Руды алюмосиликатные, комплексные молибдено-урановые, рядовые и средние, реже богатые, прожилково-вкрапленные, вкрапленные, брекчиевые, контрастные. Содержание молибдена в комплексных рудах отдельных месторождений составляет 0,02–0,20 %. Среди минералов руд выделяются настуран, коффинит, реже браннерит, иордизит, молибденит, ильземанит, флюорит, кварц, карбонаты.

По масштабу оруденения отдельные месторождения относятся к крупным и средним, реже мелким, а по сложности геологического строения соответствуют 3 группе. Детальная разведка месторождений осуществляется комбинированными горно-буровыми системами с применением большого объема горных выработок и подземного бурения.

Молибден-урановые месторождения в экстрезивных, эффузивных и жерловых фациях вулканитов и породах фундамента, контролирующихся зонами разломов, карбонизации, гематитизации и окварцевания: Алатаньга, Каттасай, Бота-Бурум, Кызыл-Сай.

Месторождения представлены рудами сульфидно-смолковой и молибден-урановой формации жильного и штокверкоподобного типа с прерывистым резко неравномерным распределением оруденения. Оруденение контролируется структурными, литологическими факторами и физико-механическими особенностями пород. Руды алюмосиликатные, вкрапленные, прожилково-вкрапленные, прожилковые, средне- и высококонтрастные, по качеству рядовые и богатые, по составу комплексные. Размеры рудных залежей по простиранию и падению составляют десятки, сотни метров при мощности от долей метра до нескольких метров. Рудные минералы представлены настураном, урановыми чернями, сульфидами свинца, цинка, молибдена, меди, железа, висмута, сульфосолями; жильные минералы – карбонатами, флюоритом, баритом. Промышленных концентраций достигают молибден (0,02–0,20 %), свинец (0,6 %), висмут (0,4 %), цинк (0,4 %), флюорит.

По масштабу оруденения месторождения этого типа относятся к мелким и сред-

ним, а по сложности геологического строения – к 3 и 4 группам. Детальная разведка их осуществляется в основном горными выработками на нескольких горизонтах.

12. Месторождения в морских глинах платформенного чехла.

Редкоземельно-фосфор-урановые осадочного типа в морских глинах с костными остатками фауны: Меловое, Томак, Тасмурун, Степное. Оруденение связано со скоплениями костного детрита рыб, состоящего, в основном, из фосфата кальция (апатит) и заключенного в темных глинах. Большая часть урана, редких земель и фосфора содержится во фтор-апатите, и лишь небольшая часть урана образует комплексные урано-фосфатные соединения. Рудные залежи представляют собой стратифицированные пласты крупного размера с пологим падением, выдержанной небольшой мощностью (0,3–1,5 м) и равномерным распределением урана. Руды фосфатные, бедные, неконтрастные, комплексные и состоят в основном из глинистых минералов (до 70 %), сульфидов железа и костного детрита (20 % и более). Промышленную ценность представляют уран, редкие земли и фосфор. По масштабу оруденения месторождения этой формации относятся к крупным, а по сложности геологического строения – к 1 и 2 группам. Детальная разведка месторождений выполняется главным образом скважинами.

13. Месторождения в водопроницаемых толщах платформенного чехла.

Урановые месторождения в проницаемых породах в связи с зонами пластового окисления в областях молодых орогенов (водородные месторождения): Учкудук, Сугралы, Мынкудук, Канжуган, Северный Карамурун, Букинай и др. Оруденение приурочено к сероцветным, в основном проницаемым породам артезианских бассейнов. Рудные залежи имеют в разрезе форму роллов – удлиненных серповидных пластов или линз, а в плане, как правило, лент, окаймляющих фронт распространения пластово-окисленных пород. Размеры их по простиранию достигают первых километров, в отдельных случаях – первых десятков километров, ширине – нескольких десятков – сотен метров, мощности – первых метров. Руды алюмосиликатные, вкрапленные, комплексные, неконтрастные, преимущественно бедные и рядовые. Рудными минералами являются: урановые черни, коффинит, настуран. Попутными полезными компонентами (ископаемыми) являются селен (до 0,07 %), представленный главным образом самородным гамма-селеном, молибден (0,04–0,06 %), рений.

Разработка месторождений осуществляется способом подземного выщелачивания и традиционным горным способом, переработка руд – преимущественно по сернокислотно-сорбционной технологии. К факторам, осложняющим процесс выщелачивания, относятся наличие в них карбонатов, фосфора, органического вещества и пониженные фильтрационные свойства руд, а также отсутствие водоупорных горизонтов.

По запасам месторождения относятся к средним и крупным, а по сложности геологического строения – ко 2 группе. Детальная разведка месторождений, предполагаемых к разработке СПВ, производится исключительно скважинами, а в случае горного способа добычи руд – в основном скважинами поверхностного бурения с применением в отдельных случаях горных выработок.

Урановые месторождения в отложениях палеодолин платформенного этапа развития стабилизированных областей в связи с зонами грунтового и пластового окисления (водородные месторождения): Девладовское, Братское, Санарское, Семизбай, Хиагдинское, Долматовское.

Месторождения приурочены к палеоруслам в нижележащих породах. Оруденение формируется на границе зон грунтового окисления с сероцветными породами, богатыми органическим веществом, представлено мелкими и средними линзовидными, пластообразными и лентообразными залежами протяженностью в сотни метров – первые кило-

метры, шириной в десятки и первые сотни метров, мощностью от долей метра до первых метров. Руды алюмосиликатные, бедные, неконтрастные, тонковкрапленные. Урановая минерализация в основном связана с пелитоморфной глинисто-углистой массой цемента песков и обуглившимися растительными остатками и представлена урановыми чернями с незначительным количеством настурана и урановых слюдок. Разработка месторождений может осуществляться способом ПВ либо открытым способом. По масштабу месторождения относятся к мелким, а по сложности геологического строения – к 3 группе. Детальная разведка этих месторождений производится скважинами.

Угольно-урановые месторождения в связи с зонами пластового и грунтового окисления (водородные месторождения): Кольджатское, Нижне-Илийское. Месторождения приурочены к угленосным отложениям мезо-кайнозойских впадин на палеозойском фундаменте. Урановое и сопутствующее оруденение сформировано кислородными палеогрунтовыми и пластовыми водами на восстановительном геохимическом барьере в кровле и почве угольных пластов и в первично-сероцветных осадочных породах (песчаники, конгломераты). В углях оруденение представлено пологими и горизонтально залегающими выдержанными лентообразными и линзообразными залежами, а в песчано-конгломератных отложениях – сложными телами ролловой, ролло-пластообразной и линзо-пластообразной формы. Размеры основных рудных залежей по простиранию составляют несколько км, достигая первых десятков км, по ширине – первые сотни метров, мощность – 0,5–2,4 м. Оруденение располагается на нескольких стратиграфических и гипсометрических уровнях. К основным полезным ископаемым относятся уран, бурые энергетические угли; к попутным компонентам – молибден (0,04–0,07 %), селен (0,02 %), рений (4 г/т), серебро (6 г/т), германий (10 г/т), залегающие совместно с урановыми рудами. Руды каоцитобитовые (в углях), силикатные (в терригенных породах), настуран-коффинит-германиевые, рядовые и бедные, неконтрастные, тонковкрапленные. Рудная минерализация представлена настураном, урановыми и уран-молибденовыми чернями, коффинитом, уранофаном, пиритом, молибденитом, иордзитом, ильземанитом, повеллитом, ферримолибдитом, селенидами меди, свинца и серебра, самородным селеном и др.

По количеству запасов месторождения относятся к крупным, а по сложности геологического строения – к 1 и 2 группам (каоцитобитовые руды) и 3 группе (силикатные руды). Детальная разведка месторождений осуществляется в основном скважинами с поверхности с применением относительно небольшого объема горных выработок.

Битумо- урановые месторождения в красно- и пестроцветных, преимущественно карбонатных породах в пределах купольных структур нефтегазоносных бассейнов: Майли-Су, Майлисайское. Оруденение залегает согласно с вмещающими породами на нескольких горизонтах в молассоидной терригенной толще в виде полос значительной протяженности (3–5 км), внутри которых участки с промышленными рудами образуют мелкие линзы площадью от сотен до первых десятков тысяч квадратных метров при мощности 0,3–2 м. Уран связан с органическим веществом, асфальтитами, смолами, настураном и чернями. Руды этих месторождений каоцитобитовые, тонковкрапленные, рядовые и бедные, неконтрастные. Попутными (основными) полезными ископаемыми являются нефть и газ. По сложности геологического строения месторождения относятся к 3 группе, а по запасам – к мелким. Детальная их разведка производилась преимущественно скважинами с применением небольшого объема горных работ.

14. Комплексные ураносодержащие месторождения

Древние золотоносные и ураноносные конгломераты в базальных слоях вулканогенно-осадочных отложений пологих синклиналей либо палеодолин, нарушенных сборо-

сами, дайками основного и среднего состава: Витватерсранд (ЮАР), Элиот-Лейк, Блайнд-Ривер (Канада), Жакобина (Бразилия). Оруденение контролируется литолого-фациальными особенностями пород и локализовано в прослоях кварцевых конгломератов. Вмещающие породы серицитизированы, хлоритизированы, пиритизированы.

Уран-золото-медное месторождение среди гранитных и полимиктовых гематитизированных и хлоритизированных брекчий Олимпик-Дам (Юго-Западная Австралия).

Уран-торий – редкометальные месторождения в многофазных щелочных интрузивах: Илимауссак (Гренландия), Посусди-Калдас (Бразилия), Ловозерское.

15. Разнообразие геологических типов урановых месторождений затрудняет их классификацию, в связи с чем в МАГАТЭ* принято классифицировать урановые месторождения, присваивая типам условные названия, в соответствии с некоторым характерным признаком включаемых в них месторождений. Такие признаки оказываются разнообразными, а получаемая классификация не отвечает принципу системности, однако она отличается простотой и краткостью наименований выделяемых типов, что весьма удобно в практических целях. Согласно такой классификации, в настоящее время поставка уранового сырья на мировой рынок обеспечивается за счет следующих типов месторождений (табл. 5):

Таблица 5

Типы месторождений уранового сырья

Наименование типа	Страны, в которых этот тип является ведущим	Годовая добыча (2002 г)	
		тыс. т	%
«Песчаниковый»	Казахстан, Узбекистан, США, Нигерия	9,8	27,2
«Несогласия»	Канада, Австралия	15,4	42,7
Жильно-штокверковый	Россия, Китай	3,8	10,6
Метасоматический («альбититовый»)	Украина	1,3	3,6
«Гранитный»	Намибия	2,0	5,6
U – конгломераты	ЮАР	0,8	2,2
«Брекчиевый»	Австралия	2,4	6,7
Другие типы		0,5	1,4

Как видно из таблицы 5, основную добычу урана в мире в настоящее время обеспечивают три типа месторождений: «песчаниковый», «несогласия» и «жильный», на которые в сумме приходится 80 % мирового производства. В России 98 % всего добываемого урана пока получается из месторождений жильного типа (Стрельцовский район), осваиваются месторождения «песчаникового» типа в палеодолинах (Урал, В.Сибирь), к потенциально промышленным относятся жильно-штокверковые месторождения уран-титанатовых (браннерит) руд в зонах калиевых метасоматитов на Алданском щите, жильные месторождения уранофановых руд в гранитах Забайкалья, а также месторождения ураноносного костного детрита в Калмыкии.

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

16. По размерам и форме рудных тел, изменчивости их мощности, сложности внутреннего строения и особенностям распределения урана урановые месторождения соответствуют 2-, 3-й или 4-й группам «Классификации запасов месторождений и про-

* Международное агентство по атомной энергии при ООН.

гнозных ресурсов твердых полезных ископаемых», утвержденной приказом МПР России от 11 декабря 2006 г. № 278.

Ранее, как группа 1 рассматривались месторождения ураноносного костного детрита (Меловое и другие), ныне находящиеся на территории Казахстана. Их эксплуатация прекращена, а подобные месторождения в России (в Калмыкии), в связи с небольшими площадными размерами и меньшей мощностью, должны рассматриваться как группа 2

Ко 2 группе относятся месторождения (участки) сложного геологического строения с изменчивой мощностью, сложным внутренним строением рудных залежей, но относительно высокой сплошностью промышленного оруденения, при различной изменчивости содержания урана. Среди них выделяются два типа месторождений (участков):

крупные и средние крутопадающие жилообразные залежи, (площадь от первых кв. км, до многих сотен тыс. кв. м), с относительно выдержанной мощностью, устойчивыми элементами залегания и высокой сплошностью промышленных руд (коэффициент рудоносности $K_p = 0,7-1,0$). Мощность рудных залежей, как правило, 3–5 м, но их положение контролируется выдержанными тектоническими элементами или зонами развития метасоматитов. Содержание урана неравномерное, колеблется в пределах от первых сотых до 0,2–0,5 %, при коэффициенте вариации $V > 100$ %.

К этому типу относятся наиболее крупные жильные месторождения браннеритовых руд Эльконского района на Алдане (Южное и др.).

крупные и средние по размерам (сотни-десятки тыс. кв. м) пологозалегающие пластовые залежи ураноносного костного детрита. Положение залежей в разрезе четко контролируется горизонтами темных пиритоносных глин, с выдержанной мощностью. Рудные тела практически сплошные ($K_p \approx 1,0$), с низким (первые сотые %), но относительно равномерным ($V < 100$ %) содержанием урана.

К этому типу относится Шаргадыкское месторождение в Калмыкии.

К 3 группе относятся месторождения (участки) очень сложного строения, с рудными залежами, характеризующимися невыдержанными элементами залегания, сложной формой, изменчивой мощностью и весьма неравномерным распределением урана.

Среди них выделяются три типа месторождений (участков):

крупные и средние (сотни-десятки тыс. кв. м), сложные, ветвящиеся по падению и простиранию, жилообразные и штокверкообразные залежи, различной мощности (от долей м, до десятков м), средней сплошности ($K_p = 0,4-0,8$), при весьма неравномерном содержании урана ($V \gg 100$ %). К этому типу относится большинство месторождений Стрельцовского урановорудного района (Стрельцовское, Антей, Октябрьское, Аргунское и др.);

крупные и средние (сотни-десятки тыс. м²) пластообразные залежи, приближенно контролируемые литологическими границами, осложненные тектоническими нарушениями, при относительно выдержанной мощности, высокой и средней сплошности ($K_p = 0,6-1,0$), при неравномерном (сотые –десятые %) содержании урана ($V > 100$ %). К этому типу относятся пластовые месторождения Стрельцовского района (Дальнее, Новогоднее, Юбилейное), а также Оловское месторождение и некоторые месторождения песчаникового типа, пригодные для разработки только горным способом (Приморское);

крупные и средние (площадь десятки-сотни тыс. кв. м) лентообразные, слабо извилистые в плане залежи, сложного строения по мощности (роллы, сочленяющиеся линзы, пласты), контролируемые зонами окисления-восстановления в палеодолинах. Сплошность промышленных руд в плане (для отработки СПВ) высокая ($K_p = 0,7-1$), но в разрезе низкая. Содержания урана низкие, относительно равномерные ($V < 100$ %). К этому типу относятся месторождения Далматовское, Хиагдинское и др.

К 4 группе относятся месторождения (участки) весьма сложного геологического строения с залежами жильного или пластового типов малых размеров (десятки тыс. кв. м), весьма сложной морфологии, с прерывистым внутренним строением ($K_p < 0,5$) и весьма неравномерным содержанием урана ($V > 100\%$). К ним относятся мелкие (протяженностью в десятки метров) маломощные (до 0,5 м) жилы с гнездовым распределением оруденения в плоскости жил, линзообразные, столбообразные и штокверкообразные залежи невыдержанной мощности с весьма сложным и прихотливым распределением оруденения, крайне изменчивой формой и крайне неустойчивыми элементами залегания. Площадь рудных залежей достигает первых десятков тысяч квадратных метров при резко изменчивой мощности – от долей метра до первых десятков метров. Границы оруденения устанавливаются исключительно по опробованию. К этому типу могут быть отнесены отдельные молибдено-урановые и урановые месторождения в зонах березитизации (Ишимское, Шокпак) и жерловых фациях вулканитов (Кызыл-Сай), рассматриваемые ранее в качестве 3 группы. В настоящее время месторождения этой группы не разведуются. Однако, с ростом цен на уран, возможно вовлечение в разведку и освоение некоторых резервных месторождений данной группы.

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

18. С целью более объективного отнесения месторождений к соответствующей группе сложности геологического строения могут использоваться количественные показатели изменчивости основных свойств оруденения: коэффициент рудоносности, коэффициент вариации мощности рудных тел и содержаний в них полезных компонентов, показатель сложности рудных тел (см. приложение 1).

III. Изучение геологического строения месторождений и вещественного состава руд

19. По разведанному месторождению необходимо иметь топографическую основу, масштаб которой соответствует особенностям геологического строения и рельефу местности. Обычно топографические карты составляются в масштабах 1:1000–1:10 000. Все пройденные горные выработки (канавы, шурфы, штольни, шахты) и буровые скважины, а также профили геофизических работ и естественные обнажения рудных тел и минерализованных зон, должны иметь инструментальную топографическую привязку. По подземным горным выработкам должны быть выполнены маркшейдерские съемки. Маркшейдерские планы обычно выполняются 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 рудных тел и построены проложения их стволов на плоскости планов и разрезов.

20. Геологическое строение месторождения должно быть детально изучено и отображено на геологической карте масштаба 1:1000–1:10 000 (в зависимости от размеров и сложности месторождения), геологических разрезах, планах, проекциях, а в необходимых случаях – на блок-диаграммах и моделях. Указанные планы и разрезы во всех случаях составляются в масштабах не менее 1:2000–1:1000, а при необходимости – в более крупном. Для месторождений пластового типа с субгоризонтальным залеганием рудомещающих слоев, перекрытых непродуктивными отложениями, если их отработка намечается СПВ, допускается представление геологических карт поверхности в более мелком масштабе (до 1:50 000).

По месторождениям, намечаемым к обработке СПВ, кроме геологических карт, составляются гидрогеологические карты, фациально-геохимические карты продуктивных горизонтов в масштабе 1:10 000–1:25 000, а также планы изогипс продуктивных горизонтов, с отображением рудоконтролирующих элементов и контуров рудных залежей, в масштабах не мельче 1:2000–1:5000. Разрезы на этих месторождениях могут составляться в разных масштабах по вертикали и горизонтали. Вертикальный масштаб при этом должен выбираться таким, чтобы отразить внутреннее строение рудных залежей с необходимой детальностью (вплоть до 1:200).

Геологические и геофизические материалы по месторождению должны давать представления о размерах и форме рудных залежей, условиях их залегания, внутреннем строении и сплошности оруденения, характере выклинивания рудных залежей, распределении урана в них, особенностях изменения вмещающих пород и взаимоотношениях рудных залежей с вмещающими породами, складчатыми структурами и тектоническими нарушениями в степени, необходимой и достаточной для обоснования подсчета запасов. На участках детализации и горизонтах горных выработок должны быть получены необходимые данные о размерах, форме и условиях залегания собственно рудных тел (с коэффициентом рудоносности, близким к 1,0), входящих в состав рудных залежей, запасы которых подсчитываются с применением коэффициента рудоносности. Следует также обосновать геологические границы месторождения и поисковые критерии, определяющие местоположение перспективных участков, в пределах которых оценены прогнозные ресурсы кат. P_1 *.

21. Выходы на поверхность и приповерхностные части рудных тел и минерализованных зон должны быть изучены горными выработками и неглубокими скважинами с применением геофизических и геохимических методов и опробованы с детальностью, позволяющей установить морфологию и условия залегания рудных залежей, глубину развития и строение зоны окисления, степень окисленности руд, особенности изменения вещественный состав и технологические свойства первичных, смешанных и окисленных руд и провести подсчет запасов отдельно по промышленным (технологическим) типам. При этом следует иметь в виду, что окисление первичных урановых руд обычно улучшает показатели их гидрометаллургического передела, но ухудшает показатели радиометрической сепарации. Содержание урана в рудах приповерхностной части месторождений может быть как несколько повышенным, так и пониженным относительно первичных руд, в зависимости от конкретных условий.

22. Разведка урановых месторождений на глубину проводится горными выработками и скважинами, группируемыми в системы, позволяющие отстраивать серии вертикальных или горизонтальных разрезов (планов) с минимальными искажениями.

Разведка месторождений, намечаемых к разработке горным способом, и представленных залежами крутого падения, обычно осуществляется подземными горными выработками и буровыми скважинами. При этом значительная часть скважин может буриться из подземных выработок. При разведке под такой способ обработки месторождений с субгоризонтальными залежами, основным разведочным средством обычно являются

* 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, отвечающими требованиям инструкций к картам этого масштаба, а также другие графические материалы, обосновывающие оценку прогнозных ресурсов полезных ископаемых района. Указанные материалы должны отражать размещение рудоконтролирующих структур и рудовмещающих комплексов пород, месторождений и рудопроявлений урана, а также участков, на которых оценены прогнозные ресурсы полезных ископаемых.

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.

скважины с поверхности, а горные выработки служат для решения специальных задач (отбор крупнообъемных проб, изучение горнотехнических условий, детализация и проверка данных бурения).

Месторождения, намечаемые к разработке СПВ разведываются исключительно скважинами. Особенности условий залегания и внутреннего строения рудных залежей, распределения оруденения в разрезе продуктивного проницаемого горизонта, минерального и химического состава руд выявляются по данным скважин на участках детализации, которые должны характеризовать оруденение разных морфологических типов. На этих же участках осуществляются опытные и опытно-промышленные геотехнологические исследования по подземному выщелачиванию.

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

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

23. По скважинам колонкового бурения должен быть получен максимальный выход зерна хорошей сохранности в объеме, обеспечивающем выяснение с необходимой полнотой особенностей залегания рудных тел и вмещающих пород, их мощности, внутреннего строения рудных тел, характера окolorудных изменений, распределения природных разновидностей руд, их текстуры, структуры, радиологических свойств и представительность материала для опробования. По рудным интервалам всегда следует добиваться предельно высокого выхода зерна. Скважины, с выходом менее 70 % должны браковаться и перебуриваться. На месторождениях, разведываемых под СПВ, по части скважин необходимо получать особо качественный зерн с ненарушенной структурой для отбора образцов на лабораторные испытания выщелачиваемости. Следует отметить, что получение качественного зерна на месторождениях для СПВ, залегающих в рыхлых породах, обычно требует специальных мер и инструмента (двойные-тройные колонковые трубы, специальные режимы бурения и пр.).

Достоверность определения линейного выхода зерна следует систематически контролировать весовым или объемным способами.

Представительность зерна для определения содержаний урана и мощностей рудных интервалов должна быть подтверждена исследованиями возможности его избирательного истирания. Для этого необходимо по основным типам руд сопоставить результаты опробования зерна и шлама (по интервалам с их различным выходом) с данными опробования контрольных горных выработок, скважин ударного, пневмоударного и шарошечного бурения, а также колонковых скважин, пробуренных эжекторными и другими снарядами с призабойной циркуляцией промывочной жидкости. При низком выходе зерна или избирательном его истирании, существенно искажающем результаты опробования, следует применять другие технические средства разведки. При существенном ис-

кажении содержания урана в керновых пробах необходимо обосновать величину поправочного коэффициента к результатам кернового опробования на основе данных контрольных выработок.

На месторождениях со сложными радиологическими условиями и изменчивым радиоактивным равновесием должны быть выделены однородные по содержанию радиоактивных элементов и радиоактивному равновесию геохимические зоны. Каждая из них должна характеризоваться представительным количеством выработок, равномерно освещающих всю ее площадь. Рудный материал, используемый для минералогической и количественной оценки радиоактивных элементов (урана, радия, тория, калия), должен представительно характеризовать изучаемые руды по мощности и содержанию. Для этих целей используется керн с ненарушенной структурой, характеризующий соответствующую геохимическую разновидность оруденения.

Для месторождений, представленных практически равновесными рудами, радиологические свойства изучаются по более редкой сети опробования. На комплексных месторождениях, в случае невозможности использования геофизического опробования для количественного определения содержания полезных компонентов, керновое опробование производится по всем интервалам с повышенным содержанием попутных компонентов как в контуре урановых руд, так и за их пределами.

Для повышения достоверности и информативности бурения необходимо использовать методы геофизических исследований в скважинах, рациональный комплекс которых определяется, исходя из конкретных геологических условий месторождений и современных возможностей геофизических методов.

Во всех буровых скважинах обязательно производится гамма-каротаж (ГК). Целесообразность и условия применения других видов каротажа определяются задачами, возникающими при изучении различных месторождений, и устанавливаются в каждом конкретном случае.

На месторождениях в проницаемых породах для картирования проницаемых и водоупорных горизонтов к выявлению в проницаемых рудных интервалах глинистых пропластков может применяться электрокаротаж методами КС и ПС.

При исследовании технологических, наблюдательных, контрольных и других скважин на опытных участках ПВ кроме гамма-каротажа могут применяться методы прямого определения содержания урана в частности, каротаж нейтронов деления (КНД), термометрия и индукционный каротаж. С помощью метода КНД-М контролируется процесс выщелачивания, определяется степень извлечения и остаточное содержание урана в недрах. Индукционным каротажом (в необсаженных скважинах) исследуется растекание закачиваемого раствора. При проектировании и подготовке участка для опыта ПВ предусматриваются наблюдательные скважины.

При разведке урано-угольных месторождений в комплексе с гамма- и электрокаротажом обязательно применение гамма-гамма-каротажа плотностного (ГГК-П) и селективного (ГГК-С). По результатам ГГК-П и электрокаротажа определяются границы и мощность, а по данным ГГК-С – вещественный состав угольного пласта.

Для контроля диаметра буровых скважин применяется кавернометрия. Так как при интерпретации гамма-каротажа вводятся поправки на диаметр скважины, кавернометрия проводится прежде всего в пределах рудных интервалов. При устойчивости среднего диаметра скважин в руде, доказанной на представительном количестве скважин, объем кавернометрии может быть сокращен до 10 % от общего метража бурения по руде.

Инклинометрия выполняется в вертикальных скважинах глубиной более 100 м и во всех наклонных, включая подземные. Замеры азимутальных и зенитных углов скважин

производятся не более чем через 20 м с контролем и повторными измерениями в объеме 5–10 %. При наличии в разрезе сильно магнитных пород достоверность измерений азимутальных углов инклинометрами с магнитной стрелкой должна быть заверена измерениями гироскопическими инклинометрами. При наличии подсечений стволов скважин горными выработками результаты замеров проверяются данными маркшейдерской привязки.

Для пересечения крутопадающих рудных залежей под большими углами целесообразно применять искусственное искривление скважин и бурение многозабойных скважин, а при наличии горизонтов горных работ – веера подземных скважин. Бурение по руде целесообразно производить одним диаметром.

24. Горные выработки являются основным средством детального изучения условий залегания, морфологии, внутреннего строения рудных тел, их сплошности, вещественного состава руд, характера распределения основных компонентов, а также контроля данных бурения, геофизических исследований и отбора технологических проб. На месторождениях с прерывистым распределением оруденения определяется степень рудонасыщенности, ее изменчивость, типичные формы и характерные размеры участков кондиционных руд для оценки возможности их селективной выемки. Одно из важнейших назначений горных выработок – установление степени избирательного истирания керна при бурении скважин с целью выяснения возможности использования данных скважинного опробования и результатов геофизических исследований для геологических построений и подсчета запасов. Горные выработки следует проходить на участках детализации, а также на горизонтах месторождения, намеченных к первоочередной отработке.

При разведке тел малой мощности штреки и восстающие желательны проходить непосредственно по руде. В случаях когда, из-за сильного эманирования руд, проходка таких выработок затруднена, допускается вскрытие рудных тел длинными шпурами (скважинами), не реже, чем через 2–5 м, из полевых выработок. Тела значительной мощности по простиранию прослеживаются ортами (рассечками), располагаемыми не реже, чем через 25 м. Орты могут чередоваться с горизонтальными скважинами.

Прослеживание мощных тел по падению обычно производится веерами подземных скважин, с пересечением через 10–25 м. Как исключение, выборочная детализация участков залежей относительно простой формы и пологого залегания, может осуществляться скважинами с поверхности. При этом расстояние между пересечениями рудного тела не должно превышать 10–25 м.

При разведке месторождений, намечаемых для отработки СПВ, необходимая детализационная информация обеспечивается выборочным сгущением сети скважин, вплоть до соответствующей эксплуатационным сетям. На этих же участках осуществляются опытные и опытно-промышленные геотехнологические исследования по подземному выщелачиванию. Вместе с тем, характер процесса подземного выщелачивания определяет значительно менее жесткие требования к детальности представлений о распределении урановой минерализации в разрезе недр, что позволяет использовать более редкие разведочные сети. На таких месторождениях сплошность оруденения и его изменчивость по простиранию и падению должны быть изучены в достаточном объеме на представительных участках – по маломощным рудным телам непрерывным прослеживанием штреками и восстающими, а по мощным жилообразным и штокверкообразным рудным телам – пересечением ортами, квершлагами, подземными скважинами в сочетании с прослеживающими горными выработками.

25. Расположение разведочных выработок и расстояния между ними должны быть

определены для каждого структурно-морфологического типа рудных залежей с учетом их размеров, особенностей геологического строения, характера распределения урана и возможности использования геофизических методов (наземных, скважинных, шахтно-рудничных) для оконтуривания рудных залежей и изучения сплошности оруденения.

Приведенные в табл.6 обобщенные сведения о плотности сетей, применявшихся при разведке месторождений урановых 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 6

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

Группа месторождений	Характеристика рудных тел	Виды выработок	Расстояния между пересечениями рудных тел выработками для категорий запасов, в м.			
			В		С ₁	
			по простиранию	по падению	по простиранию	по падению
2-я	Пластовые, линзообразные в плане, практически сплошные ($K_p \approx 1$), с устойчивой мощностью и равномерным содержанием ($V < 100\%$).	скважины	200–100	50–25	200–100	100–50
	Жилообразные, крупные, крутопадающие, высокой сплошности ($K_p = 0,7–1$), с неравномерным содержанием ($V < 100\%$)	штреки	–	120–60	–	–
		орты	25–10	25–10	–	–
3-я	Жилообразные и штокверковые, крутопадающие, средней сплошности ($K_p = 0,4–0,8$), с весьма неравномерным содержанием ($V > 100\%$)	восстающие скважины	120	–	–	–
		штреки	–	–	–	60–80
		орты, восстающие скважины	–	–	50–25	25–10
4-я	Пластообразные, средней и высокой сплошности ($K_p = 0,6–1$), с неравномерным содержанием ($V > 100\%$)	штреки	–	–	–	60–120
		орты	–	–	50–25	50–25
		скважины	–	–	100–50	50–25
4-я	Пластообразные, лентообразные, высокой сплошности в плане ($K_p = 0,6–1$) и низкой в разрезе, с относительно равномерным содержанием ($V < 100\%$).	скважины*	–	–	200–100	50–25
		штреки	–	–	–	40–60
		орты, восстающие	–	–	25–10	25–10
			–	–	40–60	–

*Для отработки СПВ
На **оцененных месторождениях** разведочная сеть для категории С₂ по сравнению с сетью для категории С₁ разрежается в 2–4 раза в зависимости от сложности геологического строения месторождения

26. Для подтверждения достоверности запасов отдельные участки месторождения

должны быть разведаны более детально. Эти участки следует изучать и опробовать по более плотной разведочной сети, по сравнению с принятой на остальной части месторождения. На разведанных месторождениях запасы на таких участках или горизонтах месторождений 2-й группы должны быть разведаны по категории В, а на месторождениях 3 и 4-й группы – категории С₁. На разведанных 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 С₁, а на месторождениях 4-й может приближаться к плотности сети эксплуатационного опробования.

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

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

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

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

27. Все разведочные выработки и выходы рудных тел или зон на поверхность должны быть задокументированы по типовым формам. Результаты опробования выносятся на первичную документацию и сверяются с геологическим описанием. Документация горных выработок обязательно сопровождается радиометрической съемкой документируемых поверхностей по сети не реже 0,5 x 0,5 м, а керны – сплошным радиометрическим промером. Результаты замеров фиксируются в документации.

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

28. 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.

29. 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. Отбор проб керна и бороздовых проб производится по методикам и схемам, разработанным для каждого месторождения или по аналогии с однотипными месторождениями.

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

30. Мощность рудных интервалов и концентрация в них урана, используемые для подсчета запасов, определяются, как правило, по данным гамма-каротажа и гамма-опробования.

Методика проведения, контроля и интерпретации результатов всех видов каротажа и радиометрического опробования определяются соответствующими инструкциями.

Для интерпретации результатов радиометрических методов необходимо изучить состояние радиоактивного равновесия, а также распределение тория и калия. Такое изучение осуществляется по результатам анализов проб, отбираемых из горных выработок и керна скважин обычными способами.

Для определения поправок на нарушение радиоактивного равновесия между радием и ураном, а также между радоном и радием в околоскважинном пространстве (отжатие фильтратом промывочной жидкости) могут быть использованы также данные, полученные методом каротажа нейтронов деления.

Для определения содержаний попутных полезных компонентов и вредных примесей могут использоваться как обычные методы опробования, так и методы ядерно-геофизического опробования стенок горных выработок и ядерно-геофизического каротажа скважин*. Применение геофизических методов опробования и использование их результатов при подсчете запасов регламентируется соответствующими методическими документами.

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

сеть опробования должна быть выдержанной, плотность ее определяется геологическими особенностями изучаемых участков месторождения и обычно устанавливается, исходя из опыта разведки месторождений – аналогов, на новых объектах устанавливается экспериментальным путем. Пробы необходимо отбирать в направлении максимальной изменчивости оруденения; в случае пересечения рудных тел разведочными выработками (в особенности скважинами) под острым углом к направлению максимальной изменчивости (если при этом возникают сомнения в представительности опробования)

* 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

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.

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, других свойств руд и уточняется по результатам радиометрических промеров, а в скважинах – также длиной рейса. Она не должна превышать установленную условиями минимальную мощность для выделения типов или сортов руд, а также максимальную мощность внутренних пустых и некондиционных прослоев, включаемых в контур руд.

Способ отбора проб в буровых скважинах (керновый, шламовый) зависит от используемого вида и качества бурения. При опробовании керна скважин, особенно при неполном его выходе, рекомендуется предварительно осуществлять увязку данных гамма-каротажа и промера керна, с совмещением характерных максимумов и минимумов, для уточнения положения материала керна по глубине. Интервалы с разным выходом керна (шлама) опробуются отдельно; при наличии избирательного истирания керна опробованию подвергаются как керн, так и измельченные продукты бурения (шлам, пыль и др.); мелкие продукты отбираются в самостоятельную пробу с того же интервала, что и керновая проба, обрабатываются и анализируются отдельно. При небольшом диаметре бурения и весьма неравномерном распределении минералов урана в пробу берется весь керн.

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 или по стенкам в зависимости от условий залегания залежи. Расстояния между опробуемыми забоями в прослеживающих выработках должны быть подтверждены экспериментальными данными. В горизонтальных горных выработках при крутом залегании рудных тел линии гамма-профилирования и все пробы размещаются на постоянной, заранее определенной высоте. Принятые параметры проб должны быть обоснованы экспериментальными работами. Должны быть проведены работы по изучению возможного выкрашивания ураносодержащих и попутных ценных минералов при принятом для горных выработок способе опробования.

Результаты геологического и геофизического опробования скважин и горных выработок следует использовать в качестве основы для оценки неравномерности оруденения в естественном залегании и прогнозирования показателей радиометрического обогащения, руководствуясь соответствующими методическими документами.

При этом для прогнозирования результатов крупнопорционной сортировки целесообразно принять постоянным шаг опробования при длине каждой секции (рядовой пробы) кратной 1 м. Для изучения покусковой контрастности руд необходимо использовать аппаратуру «направленного приема» с интерпретацией результатов гамма-каротажа и гамма-опробования по интервалам 5–10 см.

31. Качество опробования по каждому принятому методу и способу и по основ-

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

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

При геофизическом опробовании в естественном залегании контролируются стабильность работы аппаратуры и воспроизводимость метода при одинаковых условиях рядовых и контрольных измерений. Достоверность геофизического опробования определяется сопоставлением данных геологического и геофизического опробования по опорным интервалам с высоким выходом керна, для которого доказано отсутствие его избирательного истирания. При этом необходимо учитывать наличие неравновесных руд, тория, притоков радоновых вод, поглощения бурового раствора в рудных зонах. Кроме того, результаты интерпретации гамма-каротажа могут быть проконтролированы методом прямого определения содержания урана (КНД-М).

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

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

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

32. Обработка проб производится по схемам, разработанным для каждого месторождения с учетом характера распределения основных и попутных компонентов или принятым по аналогии с однотипными месторождениями. Основные и контрольные пробы обрабатываются по одной схеме.

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

Обработка контрольных крупнообъемных проб производится по специально составленным программам.

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

Изучение в рудах попутных компонентов производится в соответствии с «Рекомендациями по комплексному изучению месторождений и подсчету запасов попутных

полезных ископаемых и компонентов», утвержденными МПР России в установленном порядке.

Анализы рядовых проб выполняются на содержание урана и ценных попутных компонентов, встречающихся в близких концентрациях (чаще всего – молибдена). Содержания других попутных компонентов (фосфора, золота и др.), а также и вредных примесей (карбонаты, сера, органическое вещество и др.) могут определяться по групповым пробам. Также по групповым пробам оцениваются содержания тория и калия, и выполняются полные химические анализы для изучения вещественного состава и расчета эффективного атомного номера руд.

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

Для выяснения степени окисления первичных руд и установления границы зоны окисления должны выполняться фазовые анализы.

Для градуировки анализирующей лабораторной аппаратуры используются стандартные образцы, указанные в отраслевой или государственной нормативно-технической документации (НТД); при отсутствии таких указаний используются стандартные образцы предприятия (СОП), изготовленные из руд с элементным составом, аналогичным или близким к составу руд разведываемого месторождения.

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

35. Для определения величин случайных погрешностей необходимо проводить внутренний контроль путем анализа зашифрованных контрольных проб, отобранных из дубликатов аналитических проб, в той же лаборатории, которая выполняет основные анализы не позднее следующего квартала.

Для выявления и оценки возможных систематических погрешностей должен осуществляться внешний контроль в лаборатории, имеющей статус контрольной. На внешний контроль направляются дубликаты аналитических проб, хранящиеся в основной лаборатории и прошедшие внутренний контроль. При наличии стандартных образцов состава (СОС), аналогичных исследуемым пробам, внешний контроль следует осуществлять, включая их в зашифрованном виде в партию проб, которые сдаются на анализ в контрольную лабораторию. Пробы, направляемые на внешний контроль, должны характеризовать все разновидности руд месторождений и классы содержаний. В обязательном порядке на внутренний контроль направляются все пробы, показавшие аномально высокие содержания анализируемых компонентов.

36. Объем внутреннего и внешнего контроля должен обеспечить представительность выборки по каждому классу содержаний и периоду выполнения анализов.

При выделении классов следует учитывать параметры кондиций для подсчета запасов. В случае большого числа анализируемых проб (2000 и более в год) на контроль-

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

ные 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.

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

Относительная среднеквадратическая погрешность, определенная по результатам внутреннего геологического контроля, не должна превышать значений, указанных в табл.7. 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.

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

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

Таблица 7

Предельно допустимые относительные среднеквадратические погрешности анализов по классам содержаний радиоактивных и некоторых сопутствующих им в рудах элементов.

Компоненты	Классы содержаний, % (Se, Ag, Au, Ti, Ga, Ge, Re, г/т)	Допустимые среднеквадратические погрешности, %	Компоненты	Классы содержаний, % (Se, Ag, Au, Ti, Ga, Ge, Re, г/т)	Допустимые среднеквадратические погрешности, %
1	2	3	4	5	6
Уран	>1	4,0	CaF ₂	>50	2,5
	0,1–1	5,0		20–50	3,0
	0,03–0,1	6,5		10–20	5,0
	0,01–0,03	8,0		2–10	10
	0,01	15		0,5–2	17
Торий	>1	4,5	Мышьак	>2	3,0

1	2	3	4	5	6	
	0,1–1	6,0		0,5–2	6,0	
	0,03–0,1	8,5		0,05–0,5	16	
	0,01–0,03	10		0,01–0,05	25	
	<0,01	20		<0,01	30	
Радий в % равновес- ного урана	>1	4,0	Золото средней круп- ности (до 0,6 мм)	>128	7,5	
	0,03–0,1	5,0		64–128	8,5	
	0,1–1	6,5		16–64	13	
	0,01–0,03	8,0		4–16	25	
	<0,01	15		<4	30	
Железо общее	>45	1,0	Золото Дисперсное	>128	4,0	
	30–45	1,5		64–128	4,5	
	20–30	2,0		16–64	10	
	10–20	2,5		4–16	18	
	5–10	5,0		1–4	25	
	1–5	10		<1	30	
TiO ₂	>15	2,5	Цирконий в ок- сиде Zr O ₂	>3	3,5	
	4–15	6,0		1–3	6,0	
	1–4	8,5		0,1–1	15	
	<1	17		<0,1	30	
Сера	>40	1,0	BeO	>10	2,5	
	30–40	1,2		5–10	3,0	
	20–30	1,5		1–5	5,5	
	10–20	2,0		0,5–1	7,0	
	2–10	6,0		0,2–0,5	10	
	1–2	9,0		0,1–0,2	12	
	0,5–1	12		0,05–0,1	15	
	0,3–0,5	15		0,02–0,05	20	
	0,1–0,3	17		0,01–0,02	25	
	0,05–0,1	20		Селен	>5000	4,5
	<0,05	30	1000–5000		6,0	
Цинк	>10	2,5		500–1000	8,0	
	5–10	3,5		100–500	15	
	2–5	6,0		50–100	20	
	0,5–2	11		20–50	25	
	0,2–0,5	13		<20	30	
	0,1–0,2	17		Сумма редких земель	>10	4,5
	0,02–0,1	22			1–10	7,0
Свинец	>10	2,5		0,5–1	10	
	5–10	3,5		0,2–0,5	13	
	2–5	6,0		0,1–0,2	20	
	1–2	8,5		0,05–0,1	25	
	0,5–1	11		<0,05	30	
	0,2–0,5	13		Серебро	>500	2,5
	0,1–0,2	17			300–500	5,0
Медь	>5	2,5	P ₂ O ₅ в фосфори- тах, апатитах	100–300	7,0	
	3–5	4,5		30–100	12	
	1–3	5,5		10–30	15	
	0,5–1	8,5		1–10	22	
	0,2–0,5	13		0,5–1	25	
	0,1–0,2	17		30–40	1,3	
	0,05–0,1	25		20–30	2,0	
	0,01–0,05	30		10–20	3,5	
Никель	1–2	5,0		5–10	4,0	

1	2	3	4	5	6
	0,5–1	7,0	V ₂ O ₅	>1	8,0
	0,2–0,5	10		0,5–1	12
	0,02–0,2	20		0,2–0,5	15
Кобальт	>1	2,5		0,1–0,2	20
	0,5–1	3,5		0,01–0,1	25
	0,1–0,5	6,0		<0,01	30
	0,05–0,1	10	Рений	>40	18
0,01–0,05	25	20–40		19	
Молибден	>1	3,5		10–20	22
	0,5–1	6,0		5–10	24
	0,2–0,5	8,5		1–5	26
	0,1–0,2	13		<1	30
	0,05–0,1	18	Au крупное	>128	10
	0,02–0,05	23		64–128	12
Калий в оксиде K ₂ O	>5	6,5		16–64	18
	1–5	11		4–16	25
	0,5–1	15		<4	30
	<0,5	30			

П р и м е ч а н и е. Если выделенные на месторождении классы содержаний отличаются от указанных, то предельно допустимые относительные среднеквадратические погрешности определяются интерполяцией

39. По результатам выполненного контроля опробования – отбора, обработки проб и анализов, оценки стабильности работы аппаратуры, воспроизводимости результатов и др. – должна быть оценена возможная погрешность выделения рудных интервалов и определения их параметров.

40. Минеральный состав руд, их текстурно-структурные особенности и физические свойства должны быть изучены с применением минералого-петрографических, физических, химических и других видов анализа по методикам, утвержденным научными советами по минералогическим и аналитическим методам исследования (НСОММИ, НСАМ). При этом наряду с описанием отдельных минералов производится также количественная оценка их распространения.

Особое внимание уделяется ураносодержащим минералам, определению их количества, выяснению их взаимоотношений между собой и с другими минералами (наличие и размеры сростков, характер сростания), размеров зерен и их распределения по крупности.

В процессе минералогических исследований должно быть изучено распределение основных, попутных компонентов и вредных примесей и составлен их баланс по формам минеральных соединений. Наряду с рудами систематическому минералогическому изучению подвергаются также и продукты их обогащения.

41. При изучении месторождений для отработки способом ПВ должны быть получены данные о растворимости урановых и ураносодержащих минералов в химических реагентах, используемых для извлечения урана. В случаях, когда уран находится в виде нескольких минералов, различающихся по растворимости, должен быть составлен баланс распределения урана по растворимым и труднорастворимым минералам. При подземном выщелачивании должна быть изучена восстановительная емкость пород и руд. Определены и выявлены геохимическая зональность по этому признаку, содержание и природа различных восстановителей, соотношение закисного и окисного железа.

42. Определение объемной массы необходимо производить для каждой выделенной природной разновидности руд и внутренних некондиционных прослоев.

Объемная масса плотных руд и рудовмещающих пород определяется главным образом по представительным парафинированным образцам. Каждая разновидность руд и вмещающих пород должна быть охарактеризована не менее чем 30 образцами (пробами). При наличии горных выработок объемная масса определяется методом ослабления гамма-излучения не менее 20–30 конвертов по каждому выделенному промышленному типу руд. 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.

43. В результате изучения химического и минерального состава, текстурно-структурных особенностей и физических свойств руд, их вскрываемости при кислотном и карбонатном выщелачивании устанавливаются природные разновидности руд и предварительно намечаются промышленные (технологические) типы, требующие селективной добычи и раздельной переработки. Окончательное выделение промышленных (технологических) типов руд производится по результатам технологического изучения выявленных на месторождениях природных разновидностей.

IV. Изучение технологических свойств руд

44. Проведению технологических исследований руд должно предшествовать изучение возможности радиометрической крупнопорционной сортировки в транспортных емкостях добываемой горнорудной массы. Предварительные прогнозные технологические показатели получают расчетным путем при обработке данных опробования или каротажа в технологических контурах эксплуатационных блоков. Руководствуясь соответствующими нормативно-методическими документами, должны быть установлены: порционная контрастность руд выделенных природных разновидностей; физические признаки, которые могут быть использованы для разделения горнорудной массы; показатели радиометрической сортировки для порций разного объема.

Для экспериментального подтверждения технологических показателей крупнопорционной сортировки проводятся опытные горные работы с экспресс-анализом горнорудной массы в транспортных емкостях на рудоконтролирующей станции (РКС) и сортировкой на кондиционную, некондиционную руды и отвальную породу. Достоверность экспресс-анализа руды в транспортных емкостях и качество продуктов сортировки должно быть заверено контрольным валовым опробованием.

При положительных результатах необходимо уточнить промышленные (технологические) типы руд, требующие селективной добычи, или подтвердить возможность валовой выемки рудной массы, уточнить параметры системы отработки, а также определить возможность получения сортов богатой руды.

Исследования способности руд к радиометрической сепарации кускового материала включают испытания специально отобранных проб на лабораторных или полупромышленных сепараторах. При этом должны определяться гранулометрический состав руды после крупного дробления с оценкой распределения металла по классам, выход машинных классов при дроблении, технологические показатели радиометрической сепарации с получением кускового концентрата, отвальных хвостов и промпродукта, направляемого вместе с отсевом на переработку традиционными методами обогащения.

В результате должны быть определены целесообразность радиометрической сепарации

рации руд перед гидрометаллургической переработкой и возможность их разделения на сорта для заводской и кучной переработки. Одновременно, особенно на месторождениях с телами сложной морфологии, следует оценить возможность получения отвальных хвостов при сортировке руд, извлекаемых массовыми системами при повышенном разубоживании и целесообразность применения таких высокопроизводительных и дешевых систем.

В процессе разведки должна быть изучена в лабораторных, а при необходимости, в натуральных условиях возможность извлечения урана из добытых некондиционных руд способом кучного выщелачивания.

45. Технологические свойства руд изучаются в лабораторных и полупромышленных условиях на минералого-технологических, малых технологических, лабораторных, укрупненно-лабораторных и полупромышленных пробах. Лабораторные исследования проводятся на этапе поисков и оценки. На стадии разведки должны проводиться технологические исследования в полупромышленных условиях.

При имеющемся опыте промышленной переработки для легкооскываемых руд допускается использование аналогии, подтвержденной результатами лабораторных исследований. Для труднообогатимых или новых типов руд, опыт переработки которых отсутствует, технологические исследования руд, а в случае необходимости и продуктов их переработки, должны производиться по специальным программам, согласованным с заинтересованными организациями.

Отбор проб для полупромышленных технологических исследований следует выполнять в соответствии с существующими инструкциями по отбору урановых руд для технологических испытаний.

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

На 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.

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

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 и сортировки горнорудной массы на РКС. При полупромышленных испытаниях должна быть отработана вся схема переработки руд, начиная от рудоподготовки, включая измельчение и самоизмельчение руд, и кончая экстракционной переработкой товарных регенератов. Для месторождений в районах с действующими рудоперерабатывающими предприятиями полупромышленные испытания руд должны производиться по схеме предприятия, на котором предусматривается их переработка. Отбор проб для полупромышленных технологических исследований следует выполнять по согласованным про-

ектам и при участии представителей предприятия, которое будет проводить испытания.

47. Принципиальная возможность извлечения урана способом СПВ устанавливается геотехнологическими исследованиями на начальной стадии оценки месторождений.

Такие исследования выполняются в лабораториях на образцах керна с нарушенной и ненарушенной структурой, в объемах, достаточных для выбора схемы, предварительной оценки показателей извлечения и расхода реагентов. Однако смоделировать в лаборатории особенности протекания процесса в недрах практически невозможно. Поэтому на завершающей стадии оценочных работ, при окончательном определении промышленной ценности месторождения, необходимо проведение натуральных геотехнологических испытаний.

Такие испытания обычно проводятся по двухскважинной схеме, без передела продуктивных растворов, в условиях дебаланса откачки-закачки. Отношение дебитов откачки и закачки обычно выбирается порядка 3–5, что позволяет локализовать область циркуляции растворов. В процессе опыта систематически замеряются дебиты и опробуются откачиваемые растворы, по содержанию урана в которых, путем умножения на коэффициент дебаланса, оценивается вероятное содержание урана в промышленных растворах при СПВ. По общему объему растворов и среднему содержанию урана в них оценивается количество извлеченного в растворы металла, а по разности его с первоначальной оценкой в недрах – степень извлечения. Двухскважинные опыты позволяют получить достаточно надежные оценки всех параметров выщелачивания, за исключением показателей передела растворов. Отрицательный результат таких опытов чаще всего свидетельствует о невозможности отработки данного участка СПВ, а если участок достаточно типичен, то и месторождения в целом. Время, необходимое для проведения двухскважинных опытов, обычно составляет от 3 до 6 месяцев.

На стадии разведки приступают к проведению многоскважинных опытов, практически отвечающих опытной эксплуатации. Такие опыты проводят на малых группах элементарных ячеек (обычно 2–3 откачные и соответствующее количество закачных скважин), с введением в схему узла переработки растворов и с получением конечной продукции (насыщенного сорбента или желтого кека). Время проведения таких опытов составляет уже не менее 1–2 лет. В них отрабатываются оптимальные режимы и получаются все показатели, необходимые для проектирования предприятия.

Основными геотехнологическими параметрами при СПВ являются коэффициенты фильтрации и дебиты скважин по откачке, средняя концентрация урана в выходных растворах, степень извлечения металла из недр, удельные затраты реагента на кг урана, а также отношение масс рабочего раствора и прорабатываемых им пород (жидкого к твердому, Ж/Т), при котором достигается плановое извлечение.

Примерные значения этих параметров, позволяющие обосновать положительную или однозначно отрицательную оценку геотехнологических свойств месторождений, приведены в табл.8.

Опытные работы по СПВ на стадии разведки обязательно должны доводиться до конца, т.е. до достижения содержания в растворах, отвечающего промышленному минимуму, поскольку только в этом случае могут быть получены объективные оценки извлечения и всех других показателей, необходимых для дальнейших экономических расчетов.

Параметры для обоснования оценки геотехнологических свойств месторождения

Параметр	Значение, отвечающее положительной оценке	Значение, отвечающее отрицательной оценке
Коэффициент фильтрации (для воды), м/сут	> 1	< 0,5
Средняя концентрация урана в растворах, мг/л	> 40	<20
Отношение Ж/Т	1–3	>5–10
Удельные затраты реагента, кг H ₂ SO ₄ /кг U	< 100	>150–200
Степень извлечения урана от запасов в недрах, %	> 70	<50

48. Изучение возможности выщелачивания руд в горных выработках и кучах обычно ограничиваются лабораторными исследованиями. Как правило, эти способы могут рассматриваться только в качестве вспомогательных для утилизации попутно добываемых бедных руд или доработки их остаточных запасов в недрах на действующих предприятиях, поскольку значительные затраты на горное вскрытие и подготовку, при пониженной степени извлечения и низкой интенсивности отработки, не могут быть скомпенсированы. Однако при появлении месторождений, для которых подземное выщелачивание с горным вскрытием будет рассматриваться в качестве основного способа разработки, их разведка должна включать расширенные геотехнологические исследования, с проведением натуральных испытаний.

49. 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, а также кучного выщелачивания отвалов РКС.

По каждому из сортов и типов руд должны быть определены минеральный и химический составы исходной руды и продуктов ее обогащения, представлены данные по дробимости и измельчаемости руд и необходимой степени измельчения материала, данные ситовых анализов исходной руды и продуктов обогащения, выхода машинных классов, сведения о плотности, насыпной массе и влажности исходной руды и продуктов, определены технологические показатели переработки: для процесса выщелачивания – величина извлечения урана, для процессов флотации и гравитации – выход концентрата, его качество, метод переработки концентрата, извлечение основных и попутных компонентов в отдельных операциях и сквозное извлечение, расход реагентов, необходимость обезвреживания промстоков. Качество продуктов переработки и концентратов должно соответствовать существующим стандартам и техническим условиям.

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 определить условия, возможность и экономическую целесообразность их извлечения. Для попутных полезных ископаемых и компонентов, требующих иных способов извлечения, по сравнению с технологией извлечения урана, технология переработки руд и их продуктов должна быть изучена в соответствии с требованиями Методических рекомендаций по применению Классификации запасов к месторождениям этих полезных ископаемых.

Должна быть изучена возможность использования оборотных вод, а также отходов, переработки минерального сырья и даны рекомендации по очистке промстоков.

50. Основным способом переработки урановых руд является гидрометаллургический передел, которому, в зависимости от конкретных особенностей руд, могут предшествовать: радиометрическое обогащение (покусковая или мелкопорционная сортировка); механическое обогащение (гидроциклонирование, избирательное измельчение, обогащение в тяжелых суспензиях и др.); другие способы обогащения (флотация, термическая обработка и др.).

Механическому обогащению подвергаются урановые руды, в которых урансодержащие минеральные образования резко отличаются по физико-механическим свойствам от минералов вмещающих пород (например, слюдовые руды в гранитах и сланцах, фоссилизированный ураноносный костный детрит в глинах и др.).

Радиометрическому обогащению подвергаются урановые руды, обладающие достаточной радиометрической контрастностью и механическими свойствами, определяющими высокий выход обогатимых классов крупности при дроблении (обычно +25 мм или +15 мм).

Прочие способы предварительного обогащения применяются для урановых руд при необходимости извлечения попутных компонентов или удаления вредных примесей.

Попутными полезными компонентами в рудах урановых месторождений могут являться молибден, фосфор, золото, серебро, ванадий, рений, селен, сера (при высоком содержании и целесообразности получения сульфидного концентрата для попутного сернокислотного производства), редкие земли, флюорит (при высоком содержании) и др. Руды некоторых зарубежных месторождений (Канада, Австралия) содержат в промышленных концентрациях также никель, кобальт. В рудах месторождения Падма (Карелия) отмечены платиноиды.

Вредными примесями являются карбонаты (при кислотной схеме переработки), сера (при карбонатной схеме), цирконий, мышьяк, флюорит (при невозможности его утилизации, как ценного компонента), органическое вещество (при содержании, препятствующем окислению) и др.

51. Гидрометаллургическая переработка урановых руд производится по кислотной или карбонатной схемам, с применением при необходимости интенсифицирующих агентов (нагрев, давление, добавка окислителей). Выбор схемы переработки и её экономические показатели определяются химическим составом руд и типом урановой минерализации.

По вещественному составу урановые руды подразделяются на алюмосиликатные, карбонатные, сульфидные, фосфатные (табл.9).

Таблица 9

Типы вещественного состава урановых руд.

Тип руды	Разновидности типа	Определяющий компонент	
		Вид	Содержание, %
1	2	3	4
Алюмосиликатный	–	Силикаты и алюмосиликаты	>95
Карбонатный	низкокарбонатный	Карбонаты	6–12
	среднекарбонатный		12–15
	высококарбонатный		>25
Сульфидный	малосульфидный	Сульфиды	3–10
	среднесульфидный		10–25
	высокосульфидный		>25
Фосфатный	малофосфатные	P ₂ O ₅	3–10

1	2	3	4
	среднефосфатные		10–20
	высокофосфатные		>20
Каустобиолитовые	Ураноносные угли и твердые битумы	–	
	Углистые и битуминозные сланцы, песчаники и другие породы	–	

По содержанию урана руды разделяются на три сорта: *богатые* (более 0,3 % урана), *рядовые* (0,1–0,3 %) и *бедные* (<0,1 %).

По типу урановой минерализации руды разделяются на следующие основные типы:
настурановые и уранинитовые (оксидные);
коффинит-настурановые;
браннеритовые, настуран-браннеритовые и настуран-коффинит-браннеритовые (титанатовые);
апатитовые и настуран-апатитовые;
уранофановые и слюдковые.

Руды оксидного, коффинит-настуранового и слюдкового типов легко вскрываются, как при кислотной, так и при карбонатной схеме. Титанатовые, фосфорные и уранофан-уранотитовые руды могут перерабатываться только по кислотной схеме. При этом, среди титанатовых руд встречаются, как относительно легко вскрываемые, так и весьма упорные разновидности.

По содержанию попутных компонентов урановые руды могут быть разделены на две основные группы: руды, в которых уран и попутные компоненты входят в состав одних и тех же минералов (уран и ванадий в карнотите, фосфор и уран в апатите); и руды, в которых уран и прочие компоненты заключены в разных минералах (Ni-Co в сулфоарсенидах, Mo, Au и Ag в сульфидах и иных формах). Руды первой группы поступают на гидрометаллургический передел, независимо от наличия попутных компонентов, а последние могут быть извлечены в виде чистых химических продуктов. Руды второй группы могут предварительно обогащаться методами гравитации или флотации, с выделением попутных компонентов в самостоятельные концентраты. Молибден, который часто бывает связан с нефлотируемыми иордизитом и ильземанитом, извлекается в едином с ураном гидрометаллургическом процессе.

Кислотный метод получил наибольшее распространение как более экономичный и обеспечивающий высокое извлечение урана. При взаимодействии с кислотами урановые минералы образуют комплексный катион UO_2^{+2} , устойчивый даже в слабокислых средах. На большинстве предприятий используют H_2SO_4 , реже применяют соляную и азотную кислоты. Наиболее благоприятными для кислотного выщелачивания являются руды, сложенные преимущественно силикатами, алюмосиликатами, кварцем и содержащие лишь небольшие количества карбонатов (4.5 %), фосфатов, сульфидов, свободных оксидов железа и органического вещества. В разбавленных кислотах хорошо разлагаются все вторичные минералы урана. Уранинит, настуран и черни выщелачиваются в присутствии окислителя. Достаточно высокое извлечение урана из углей, асфальтита и других органических веществ достигается лишь после обжига.

Тантало-ниобиевые, циркониевые, редкоземельные минералы, ураносодержащие титанаты требуют для разложения и извлечения урана применения концентрированных кислот и повышенных температур вскрытия.

Карбонатное выщелачивание проводится в автоклавах и пачуках. При взаимодействии с растворами щелочей уран избирательно в виде комплексного уранил-

карбонатного иона переходит в раствор, в то время как карбонаты и силикаты остаются в кеках. Селективность процесса обеспечивает получение слабо загрязненных растворов. С целью полного вскрытия урановых минералов требуется измельчение до $-0,06$ мм. Для растворения оксидов четырехвалентного урана необходимо применение окислителей. Плохо разлагаются в щелочах силикаты урана, ниобо-тантало-титанаты и уранаты. Карбонатный способ непригоден, если руды содержат много гипса и гумусовых веществ.

Извлечение урана из растворов и пульп производится сорбционно-экстракционным способом. Процесс сорбции из осветленных пульп осуществляется в ионообменных колоннах. Для десорбции урана со смолы используют растворы серной и азотной кислоты, сульфата аммония, хлорида натрия. Параллельно из осветленных растворов и растворов перечистки десорбентов уран извлекается жидкостной экстракцией. Сопутствующие урану ценные компоненты извлекаются вместе с ураном на стадии выщелачивания, затем выделяются на стадиях сорбции, десорбции и экстракции, реже методами химического осаждения и кристаллизации.

Осаждение химического концентрата закиси – окиси урана (U_3O_8) из концентрированных растворов производится аммиаком, реже перекисью водорода.

Товарной продукцией горно-химических комбинатов, осуществляющих весь цикл добычи и переработки уранового сырья, обычно является закись-окись урана (U_3O_8), требования к которой устанавливаются ТУ 95 1981–89. Извлечение урана из руды в закись – окись колеблется в пределах 85–97 % соответственно для содовых и кислотных схем. Для отдельных предприятий, особенно при СПВ, товарной продукцией может являться и т.н. «желтый кек» (аммоний-уранил-трикарбонат – АУТК), качество которого определяется ТУ 95 2776–2001.

Дальнейшая переработка атомно-энергетического сырья включает аффинаж, с получением особо чистых (ядерная чистота) соединений, производство гексафторида урана, обогащение по изотопу ^{235}U , получение двуокиси НОУ и, наконец, производство на ее основе тепловыделяющих элементов АЭС (ТВЭЛ-ов).

52. Отработка урановых месторождений способом СПВ, а также выщелачивание руд на месте залегания в горных выработках и в кучах, производятся с применением тех же реагентов.

Кислотный способ при подземном и кучном выщелачивании не требует добавки специальных окислителей, хотя их применение может интенсифицировать процесс. Карбонатная схема требует обязательного введения в раствор окислителя, причем в качестве такового уже не может использоваться пирролюзит, применяемый в заводских условиях. В качестве окислителя при СПВ чаще всего используют кислород воздуха или чистый кислород, вводимые путем аэрации растворов. Более эффективным, но дорогим и сложным в эксплуатации (пожаро, взрывоопасность) окислителем является пергидроль. Сравнительные характеристики кислотной и карбонатной схем СПВ приведены в таблице 10:

Таблица 10

Сравнительные характеристики кислотной и карбонатной схем

Характеристика	Кислотная схема	Карбонатная схема
1	2	3
Основной реагент	H_2SO_4	Na_2CO_3 , $NaHCO_3$, $(NH_4)_2CO_3$
Окислитель	Не обязателен	O_2 , H_2O_2
Концентрация основного реагента окислителя: O_2	5–30 г/л –	0,5–10 г/л 100–300 мг/л

1	2	3
H ₂ O ₂	–	0,1–3 г/л
рН растворов	0,8–1,2	8–11
Вредные факторы	Карбонаты > 2,5 % CO ₂	Сульфиды, >1 %
Общая эффективность процесса	Высокая	Пониженная
Материал труб и арматуры	Полиэтилен, пластики, нерж.сталь	Допустим черный металл
Экологически вредный фактор	Оставление в недрах кислотных растворов	Извлечение на поверхность активного Ra

Чаще используется кислотная схема, обеспечивающая более высокую интенсивность процесса. Карбонатная схема выступает в качестве конкурирующей, при повышенной карбонатности пород и руд или при иных факторах, осложняющих применение кислотной схемы. В таких случаях выбор оптимальной схемы определяется экономическими расчетами.

V. Изучение гидрогеологических, инженерно-геологических, экологических и других природных условий месторождений.

53. Изучение гидрогеологических условий месторождений производится с учетом специфики их отработки (горным способ или СПВ).

54. Гидрогеологические исследования при горном способе отработки месторождений проводятся с целью изучения условий их обводненности, оценки возможных водопритоков в горные выработки, определения мероприятий по осушению, условий сброса или хранения шахтных вод, а также влияния осушительных мероприятий на окружающую среду.

В процессе исследований по каждому водоносному горизонту, участвующему в обводненности месторождения, устанавливается его мощность, литологический состав, типы коллекторов, условия питания, взаимосвязь с другими водоносными горизонтами и поверхностными водами. Определяется положение уровней подземных вод и другие параметры. По данным опытных откачек и режимных наблюдений рассчитываются возможные водопритоки в эксплуатационные горные выработки, проходка которых предусмотрена в технико-экономическом обосновании (ТЭО) кондиций, и разрабатываются мероприятия по их защите от подземных вод. По подземным водам, участвующим в обводнении, изучаются химический состав, содержание радиэлементов и бактериологическое состояние вод, их агрессивность по отношению к бетону, металлам, полимерам. Оценивается возможность использования этих вод для водоснабжения или извлечения из них ценных компонентов, а также возможное влияние их дренажа на действующие и проектируемые в районе водозаборы и другие инженерные сооружения, связанные с использованием подземных и поверхностных вод.

Возможность отвода шахтных и дренажных вод должна быть согласована с местными органами по регулированию использования и охраны вод, государственного санитарного надзора, земельного контроля, а при использовании природных вод для рыбоводства и рыболовства – органами рыбнадзора. При невозможности утилизации откачиваемых подземных вод и противопоказаниях на их отвод в речную сеть, должны быть разработаны рекомендации по организованному их хранению в поверхностных, природных или искусственных ёмкостях, указаны возможные варианты строительства инженерных хранилищ шахтных вод.

Утилизация дренажных вод предполагает подсчёт эксплуатационных запасов. Под-

счёт эксплуатационных запасов дренажных вод производится, руководствуясь соответствующими методическими документами.

55. Гидрогеологические исследования при разведке месторождений под отработку СПВ проводятся с целью прогноза гидродинамики процесса СПВ, обоснования систем расположения и дебитов технологических скважин, прогноза изменения гидродинамических условий в процессе эксплуатации, оценки возможного взаимного влияния водозаборов подземных вод и системы СПВ, а также экологических последствий СПВ.

В процессе изучения должны быть выделены литолого-фильтрационные типы пород, изучены их фильтрационные свойства, оценено соотношение водопроницаемости руд и безрудных пород, определены дебиты скважин, оборудованных на рудные интервалы. Установлены режимы подземных вод (напорный или безнапорный) и величины напоров, качество водоупоров в кровле и подошве рудовмещающего горизонта, глубина залегания уровня, направление и скорость движения; химический состав и агрессивность подземных вод, влияние на гидродинамические условия горизонтов основных разрывных нарушений.

По результатам исследований даются прогнозы растекания продуктивных растворов за пределы геотехнологических полигонов, оценивается влияние процесса на существующие и проектные водозаборы, участки с утвержденными уполномоченным экспертным органом запасами и др. объекты. Определяется также вероятность естественной нейтрализации растворов и необходимость принудительных мер рекультивации водоносных горизонтов после завершения эксплуатации.

56. Инженерно-геологические исследования при разведке месторождений также производятся с учетом способ их отработки (горным или СПВ).

57. Инженерно-геологические исследования при разведке месторождений под горный способ проводятся с целью информационного обеспечения проекта разработки (расчета основных параметров карьера и целиков, типовых паспортов буровзрывных работ и крепления) и повышения безопасности ведения горных работ.

В процессе исследований должны быть определены плотность, твердость, сопротивление сжатию, разрыхляемость и другие необходимые характеристики руд, рудовмещающих пород, перекрывающих и подстилающих отложений, для естественного и водонасыщенного состояния. Должны быть изучены инженерно-геологические особенности массивов пород месторождения и их анизотропия, трещиноватость, тектоническая нарушенность, текстурные особенности, закарстованность, состояние в зоне выветривания, а также охарактеризованы современные геологические процессы, которые могут осложнить разработку месторождения. Особое внимание необходимо уделять участкам ослабленных пород (зоны разломов, пльвунные породы и др.). Должны быть собраны данные о сейсмичности района, возможных участках схода лавин, селеопасных направлениях и т.д. В районах с развитием многолетнемерзлых пород определяется температурный режим пород, положение верхней и нижней границ мерзлотной толщи, контуры и глубины распространения таликов, характер изменения физических свойств пород при оттаивании, глубина слоя сезонного оттаивания и промерзания. Инженерно-геологические исследования необходимо производить 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.)

В результате инженерно-геологических исследований должны быть получены материалы, позволяющие приступить к проектированию карьера или подземного рудника.

58. Инженерно-геологические исследования при разведке месторождений для отработки СПВ выполняются с целью дифференциации среды по проницаемости для технологических растворов и изучения условий создания крупных скважинных систем.

В процессе исследований должны быть изучены гранулометрический состав, фильтрационные и водно-физические свойства пород; категория пород по буримости, степень устойчивости пород при бурении и оборудовании скважин (поглощение промывочной жидкости, проявление пучащих и плавунных свойств пород и др.). При изучении гранулометрического состава, основной показатель – содержание глинистой фракции, определяющее относительную проницаемость слоев, обязательно изучается по разрезу дифференцированно. Кроме опробования керна, для послойной оценки фильтрационных свойств пород, используются специальные виды каротажа (электрическими методами КС и ПС, расходомерия.).

Устанавливается температурный режим в интервале залегания оруденения, а также условия поверхности, определяющие размещение скважинных систем и трубопроводов (необходимость и объем планировочных работ, строительства подъездов и др.). Собираются сведения о возможных геодинамических явлениях и процессах в районе месторождения, качестве тампонажа разведочных скважин, климатических условиях, почвенном и растительном покрове.

59. Принципиальные схемы добычи и переработки урановых руд горным способом и СПВ приведены в приложении 2 и 3.

60. Горная разработка месторождений урана производится открытым, подземным и комбинированным способами. Применяемые способы разработки зависят от горно-геологических условий залегания рудных тел, принятых горнотехнических показателей и схем добычи руды. При комбинированном способе границу разработки открытым способом устанавливают при помощи предельного коэффициента вскрыши, исходя из равенства себестоимости добычи полезного ископаемого тем и другим способом.

При добыче урановых руд открытым способом на месторождениях жильно-штокерного типа, залегающих в скальных породах применяется буро-взрывная технология и автотранспорт. На месторождениях песчаникового типа в рыхлых породах – прямая экскавация роторными комплексами и конвейерный транспорт. Крупные карьеры первого типа действовали на месторождениях Маныбай (Казахстан) и Тулукуевское (Россия), второго – на месторождениях Меловое (Казахстан) и Уч-Кудук (Узбекистан). В настоящее время действующие карьеры на территории стран СНГ отсутствуют. Максимальная глубина карьеров на урановых месторождениях достигала 200 м.

Подземным способом в России в настоящее время эксплуатируются месторождения Стрельцовского района. Глубина отработки до 800 м. Применяются системы с закладкой и с обрушением. Наиболее глубокие подземные рудники (до 2000 м) действовали на жильных месторождениях Рудных гор в Германии (Шлема-Альберода и др.). В настоящее время добыча на них прекращена.

Специфика горной разработки определяется двумя факторами:

возможностью радиометрического экспресс-опробования на всех стадиях процесса добычи – при отбойке, погрузке и транспортировке горной массы и, как следствие, организации ее сортировки также на всех указанных операциях;

необходимостью соблюдения специальных мер радиационной безопасности при

добыче и транспортировке руд, а также при последующей рекультивации земель.

Сортировка на стадии отбойки осуществляется путем радиометрического каротажа взрывных шпуров или скважин, с последующим выбором режима взрывания, обеспечивающего необходимую селективность выемки.

Сортировка в процессе погрузки может эффективно осуществляться при открытой добыче путем установки датчиков излучения непосредственно на ковшах экскаваторов.

Сортировка в транспортных емкостях (самосвалах, вагонетках) производится путем их пропускания через специальные рудосортировочные комплексы с выделением нескольких сортов. Обычно выделяются следующие сорта: фабричный, непосредственно направляемый на переработку на гидрометаллургическом заводе; сепарируемый, направляемый на предварительную покусковую радиометрическую сепарацию; кучный – направляемый в специальные штабеля для последующего кучного выщелачивания; практически пустая порода.

Специальные меры безопасности заключаются в усиленной вентиляции выработок, принятии мер по снижению эманирования пород, руд и шахтных вод (бетонирование выработок, прикрытие водостоков), пылеподавлении, систематическом контроле уровня радиации и дозиметрическом контроле персонала.

61. Подземное выщелачивание урана скважинными системами представляет собой наиболее прогрессивный и экологически безопасный способ эксплуатации урановых месторождений. При этом способе в минимальной степени нарушается земная поверхность, исключается нахождение персонала под землей, резко сокращается его численность, относительно легко осуществляется автоматизация управления процессом. Главными условиями применения скважинного подземного выщелачивания (СПВ) являются высокая естественная проницаемость и обводненность рудовмещающей среды. Таким требованиям обычно отвечают рыхлые, слабо литифицированные, водонасыщенные осадочные образования, проведение горных выработок в которых чаще всего крайне затруднено или даже невозможно.

Способом СПВ могут обрабатываться руды с весьма низким содержанием урана (первые сотые %), причем в процесс вовлекаются практически любые его концентрации, вплоть до близкларковых. При СПВ также практически не сказывается значительная неравномерность распределения урановой минерализации по мощности фильтрующего горизонта, поскольку растворами неизбежно прорабатывается все проницаемое пространство. Поэтому для оценки месторождений часто используется показатель продуктивности залежей в плане, рассчитываемый через суммарный метропроцент по пересечению.

СПВ осуществляется путем вскрытия продуктивного пласта специальными технологическими скважинами, в одни из которых подается раствор реагента, а из других производится откачка промышленного раствора. На поверхности раствор пропускается через сорбционные установки, доукрепляется реагентом и снова подается в недра. Диаметры откачных скважин 150–390 мм, закачных 150–200 мм. В качестве водоподъемных средств используются эрлифты и погружные насосы. Расстояние между скважинами определяется фильтрационными свойствами рудного пласта и колеблется в пределах первых десятков метров.

Производительность элементарной выщелачивающей ячейки (обычно 1 откачная и 2–6 закачных скважин) зависит от фильтрационных свойств и продуктивности пласта, но в среднем относительно не велика (1 – 3 т урана в год). Поэтому для достижения высокой производительности необходимо создание систем в сотни-тысячи скважин. Содержание урана в растворах также зависит от ряда условий, но обычно находится в пре-

делах 40–200 мг/л. С течением времени, по мере выщелачивания урана из объема ячеек, содержание в растворах постепенно снижается. Время отработки участков обычно составляет 1–3 года.

На экономику СПВ сильно влияет глубина залегания руд, т.к. с ее ростом увеличиваются удельные затраты на бурение эксплуатационных скважин. При этом, глубины порядка >600–700 м оказываются критическими, т.к. могут потребовать применения станков повышенной мощности, что резко и скачкообразно удорожает бурение.

Основными факторами, определяющими принципиальную возможность отработки месторождений СПВ, являются проницаемость и обводненность рудовмещающей среды, минеральный состав руд, обеспечивающий их вскрываемость применяемыми растворами, взаимоотношение дифференциальной проницаемости пласта и распределения урановой минерализации. Так, наличие в разрезе высокопроницаемых слоев, при приуроченности минерализации к менее проницаемым, может определять циркуляцию растворов преимущественно по безрудной среде и, как следствие, низкую концентрацию урана в них и резко пониженное извлечение его из недр. Отсутствие водоупоров, ограничивающих рудоносный горизонт, вызывает растекание растворов по безрудному разрезу, что также снижает концентрацию в них урана и увеличивает удельный расход реагентов, и т.п.

Разработка месторождений урана, залегающих в рыхлых обводненных породах, способом СПВ в настоящее время широко применяется в Казахстане (месторождения Уванас, Мынкудук, Канжуган, Карамурун и др.) и Узбекистане (Букинай, Лявлякан и др.). В России этим способом разрабатывается месторождение Даламатовское. Производительность отдельных предприятий СПВ составляет 200–600 т урана в год, хотя, в благоприятных условиях, может, по-видимому, быть и больше. Глубина отработки 150–500 м. Себестоимость урана, добываемого СПВ, в 3–6 раз ниже, чем при горном способе.

62. 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.

63. Необходимо показать местоположение площадей с отсутствием залежей полезных ископаемых, где могут быть размещены объекты производственного и жилищно-гражданского назначения, отвалы пустых пород, дать рекомендации по разработке мероприятий по охране недр, предотвращению загрязнения окружающей среды и рекультивации земель.

64. По районам новых месторождений следует обобщить данные о наличии сырья для производства строительных материалов.

65. Экологические исследования выполняются при любом намечаемом способе разработки месторождений и имеют для добывающих уран предприятий, как источников повышенной опасности, особое значение. Целью экологических исследований является информационное обеспечение проекта освоения месторождения в части природоохранных мер.

Специфика воздействия разработки месторождений урановых руд на окружающую среду определяется их радиоактивностью, способом разработки (подземным, открытым или СПВ), а также применением гидрометаллургического процесса переработки, с использованием больших количеств достаточно активных реагентов, которые при СПВ неизбежно попадают в недра.

При изучении исходного состояния окружающей среды должны быть установлены ее фоновые параметры: уровень естественной радиации, качество поверхностных и под-

земных вод и воздуха, состояние почвенного покрова, растительного и животного мира. При СПВ особое внимание уделяется состоянию подземных вод, которые в районе урановых месторождений, как правило, бывают изначально и естественно загрязнены радиоэлементами, что исключает или ограничивает их хозяйственное использование.

При оценке характера и степени воздействия предприятия на природную среду определяются:

объемы природных ресурсов, используемых в процессе деятельности или безвозвратно изымаемых на нужды предприятия (лесные и водные ресурсы, земли для размещения основных и вспомогательных производств, отвалов вскрышных и вмещающих горных пород, некондиционных руд и т.д.);

предполагаемые виды химического и физического воздействия, намечаемого к строительству объекта на окружающую среду (запыление прилегающих территорий, загрязнение поверхностных и подземных вод и почв рудничными водами и промстоками, а воздуха – выбросами в атмосферу газов и аэрозолей), размеры зон влияния источников загрязнения, продолжительность и динамика функционирования, интенсивность, степень и опасность их воздействия.

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. Отвалы не утилизируемых убогих руд и минерализованных пород, а также хвостохранилища перерабатывающих комплексов, имеющие повышенную радиоактивность, должны быть рекультивированы в соответствии с действующими нормативами радиационной безопасности.

При СПВ практически все вредные отходы оказываются естественно захороненными. Главную экологическую опасность при этом способе представляет миграция загрязненных реагентами подземных вод. Как показывает имеющийся опыт, при такой (обычно весьма медленной) миграции неизбежно происходит постепенная саморекультивация загрязненных вод за счет поглощения и нейтрализации реагентов содержащимися в породах нейтрализаторами и сорбентами (карбонаты, цеолиты, глинистые минералы, органика). Прогноз возможности и темпов такой саморекультивации необходимо сделать на основании проведенных исследований.

В процессе СПВ по мере отработки полигонов, на них должны создаваться системы мониторинга состояния подземных вод, причем эти системы должны продолжать действовать и после ликвидации предприятий, что следует учитывать еще при их проектировании.

Специального изучения требуют факторы, влияющие на здоровье персонала уранодобывающих горных предприятий (пневмокониозоопасность, радиоактивность, геотермические условия и др.). Удельное эквивалентное радоновыделение (УЭР) в горных выработках должно быть изучено с полнотой, достаточной для проектирования рудничной вентиляции.

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

67. 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

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

69. Запасы подсчитываются по подсчетным блокам, запасы руды в которых не должны превышать, как правило, годовую (на предприятиях СПВ 3-х летнюю) производительность будущего предприятия. Участки рудных тел, выделяемые в подсчетные блоки, должны характеризоваться:

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

однородностью геологического строения и 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 и т.д.);

общностью горнотехнических условий разработки. По падению (при СПВ обычно по простиранию) рудных тел подсчетные блоки следует разделять с учетом намечаемой последовательности отработки запасов.

70. При подсчете запасов должны учитываться следующие дополнительные условия, отражающие специфику месторождений урановых руд:

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

Контур запасов категории В должен быть проведен по разведочным выработкам без экстраполяции, а основные геологические характеристики рудных тел и качество руды в пределах этого контура определены по достаточному объему представительных данных. Промышленные (технологические) типы руд должны быть оконтурены.

Применение коэффициента рудоносности при подсчете запасов категории В, как правило, не допускается.

На разрабатываемых месторождениях запасы категории В подсчитываются по данным эксплуатационной разведки и горно-подготовительных выработок.

На месторождениях, намечаемых для отработки СПВ, запасы категории В при разведке, как правило, не подсчитываются. К этой категории могут относиться запасы полигонов, разбуренных сетями эксплуатационных скважин и подготовленные для заправки реагентов.

К категории C_1 относятся запасы на участках месторождений, в пределах которых выдержана принятая для этой категории сеть разведочных выработок, а достоверность полученной при этом информации подтверждена результатами, полученными на участках детализации, или данными эксплуатации на разрабатываемых месторождениях. При подсчете запасов категории C_1 на месторождениях урана допускается применение коэффициента рудоносности, при условии, что его величина составляет для месторожде-

ний 2 группы $>0,7$, а 3–4 групп $> 0,4$. Контуры запасов категории C_1 , как правило, определяются геологически обоснованной ограниченной экстраполяцией.

Запасы категории C_2 подсчитываются по конкретным рудным телам или рудоносным зонам, контуры которых определены по разреженным (относительно принятой для запасов категории C_1) разведочным сетям, а также путем экстраполяции по простиранию и падению от разведанных запасов более высоких категорий, при наличии подтверждающих экстраполяцию единичных пересечений.

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

При разделении запасов полезных ископаемых по категориям в качестве дополнительного классификационного показателя могут использоваться количественные и вероятностные оценки точности и достоверности основных подсчетных параметров.

Запасы урановых руд подсчитываются в метрических тоннах (тыс. тонн, млн. тонн), запасы урана – в тоннах металлического урана. Содержания урана оцениваются в весовых %, а площадная продуктивность при СПВ – в кг урана на 1 кв.м площади (через суммарные величины метропроцентов всех кондиционных рудных прослоев в пределах мощности продуктивного пласта).

При подсчете запасов для СПВ к балансовым должны относиться только запасы в проницаемых породах и породах, не являющихся углями. Интервалы руд, заключенные в глинистых прослоях и линзах углей из числа учитываемых балансовых исключаются, независимо от содержания урана. Показатели для отнесения рудных интервалов к проницаемым (предельное содержание глинистой фракции) или углям (предельное содержание органического углерода) оговариваются в кондициях.

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 и складирования для использования в будущем. При подсчете забалансовых запасов производится их подразделение в зависимости от причин отнесения запасов к забалансовым (экономических, технологических, гидрогеологических, экологических и др.).

При подсчете запасов для СПВ, концентрации урана, которые, согласно установленным кондициям, квалифицируются, как неизвлекаемые, учету в качестве забалансовых запасов не подлежат.

Запасы руды для горного способа добычи подсчитываются без учета влажности с указанием влажности сырой руды. Для влагоемких, пористых руд производится также подсчет запасов сырой руды.

Определение величины запасов руды при СПВ не требуется, поскольку ее извлечения при добыче не происходит. Однако для проектных расчетов необходимо знание объема прорабатываемого растворами пространства недр (фильтрующего продуктивного горизонта), а также массы (с естественной влажностью) слагающих его пород, которые следует подсчитать. Запасы урана могут рассчитываться непосредственно через площади блоков и удельную среднюю продуктивность в кг/м^2 .

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

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 урана по данным сгущения разведочной сети).

71. 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.

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 условиями.

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

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

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

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

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

73. В последние годы при подсчете запасов рудных месторождений находит применение метод математического (геостатистического) моделирования. При этом, занимаемое месторождением пространство недр представляется в виде системы ячеек (бло-

ков) стандартной формы и размера (обычно кубы или призмы, размером от первых м, до 10–20 м), для каждой из которых, с использованием некоторых интерполяционных формул, вычисляется оценка содержания компонента (иногда и других параметров). В соответствии с вычисленным значением и заданными условиями, каждая ячейка относится к промышленному контуру или исключается из него.

Вывод интерполяционных формул основывается на предположениях о статистической взаимозависимости величин параметра в смежных точках пространства, увеличивающейся с уменьшением расстояния между ними, и наоборот. Характер такой зависимости может постулироваться в виде некоторой функции (например, метод т.н. «обратных квадратов расстояний»), или определяться на основе анализа «вариограмм», представляющих собой функции, аппроксимирующие зависимость характеристик рассеяния от расстояния между наблюдениями, или, наконец, базироваться на сопоставительном анализе результатов разведки и отработки (эксплуатационной разведки).

Процедура оценки наиболее вероятного значения параметра в некоторой элементарной зоне пространства, с использованием разведочных проб, расположенных как внутри, так и вне ее, получила название «кригинга» («крайгинга»). Любая процедура такого рода приводит к некоторому занижению значений содержания в зонах влияния богатых проб (относительно его значений в самих пробах) и завышению в зонах влияния бедных проб, т.е. к сглаживанию. Т.к. в дальнейшем контур промышленных запасов отстраивается по сглаженным данным, результаты подсчета, относительно подсчета обычными способами, приводят к несколько увеличенным оценкам запасов руды, но уменьшенным – среднего содержания. При этом кригинг направлен, не на ограничение влияния выдающихся значений, (такие значения следует ограничивать независимо от его применения), а на уточнение доли бедных руд в балансовых запасах, поскольку эта доля, как показывает опыт, при обычных подсчетах, как правило, занижается.

Расчетные процедуры типа «кригинга» могут применяться и при обычных способах подсчета запасов, без построения ячеечных (блочных) математических моделей. Однако преимущество современных методов моделирования заключается в возможности прогноза структуры информационного массива для элементов разной геометрии и оценки вероятного положения промышленного контура при эксплуатационной разведке или отработке. Такой прогноз, хоть и осуществляется для конкретных точек пространства с относительно высокой погрешностью, позволяет получать более правильные (свободные от систематической ошибки) оценки средних параметров в оконтуриваемом объеме.

Следует учитывать, что наличие между стадиями разведки и отработки, стадии эксплуатационной разведки, на которой положение промышленного контура может быть уточнено, учитывается не во всех алгоритмах моделирования. Оценки запасов по таким моделям могут характеризоваться несколько «излишним» завышением доли бедных руд в балансовом контуре и снижением среднего содержания в рудах.

Построение достаточно адекватных моделей определяется также не только тем или иным используемым математическим аппаратом, но и правильным учетом геологических особенностей месторождения. Построению моделей всегда должен предшествовать анализ геологического строения объекта, на основании которого задаются элементы, определяющие особенности пространственного распределения руды: складки, разломы, контакты благоприятных и неблагоприятных пород, геохимические границы (например, зона окисления) и др., а также производится разделение признаков пространства на блоки, с различными параметрами эллипсоида сглаживания, принимаемого при моделировании.

Наилучшие результаты моделирование обеспечивает тогда, когда параметры моделей (радиусы влияния, анизотропия, вид и коэффициенты уравнений кригинга, или иной процедуры сглаживания) подбираются путем сравнения результатов расчетов по моделям с результатами эксплуатации (эксплуатационной разведки) по отработанным частям месторождений.

Моделирование представляет собой прогрессивную методику обработки исходной информации, в целом способствующую повышению достоверности получаемых выводов и снижению рисков принимаемых на их основе решений.

74. При компьютерном подсчете запасов должна быть обеспечена возможность просмотра, проверки и корректировки исходной базы данных (координаты разведочных выработок и рудных интервалов в них, данные опробования и др.), а также промежуточных результатов подсчетов и построений (средние параметры по пересечениям, горизонтам, разрезам, блокам). Методика подсчета должна позволять корректировать показатели кондиций, контуры блоков, их категоризацию и балансовую принадлежность, а также общие результаты подсчета в связи с замечаниями экспертизы.

Независимо от технологии самого подсчета запасов, исходную базу данных, включая результаты гамма-каротажа и гамма-опробования горных выработок, следует представлять в электронном виде, допускающем переинтерпретацию в случае возникновения необходимости в изменении кондиций.

75. 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.

При СПВ к попутным ценным компонентам могут относиться только компоненты, извлекаемые одновременно с ураном теми же растворами. Компоненты, извлечение которых требует применения иных по составу растворов, могут относиться к ценным, только если целесообразность их самостоятельного извлечения обоснована в ТЭО кондиций.

При горном способе добычи распространенным попутным компонентом является молибден. Извлечение молибдена из урановых руд происходит в едином с ураном технологическом процессе гидрометаллургическим методом. Поэтому на урановых месторождениях попутную ценность представляют любые по минеральной форме молибденовые концентрации, как сульфидные (молибденит, иордизит), так и окисленные (ильземаннит).

При СПВ к попутным ценным компонентам могут быть отнесены только ванадий, рений и скандий, переходящие в раствор при сернокислотной технологии и извлекаемые путем дополнительной сорбции на специальные сорбенты. Относительно широко распространенные в рудах некоторых месторождений селен и молибден, несмотря на иногда сопоставимые с ураном концентрации, к попутным относятся, как правило, не должны, т.к. требуют или совершенно иных растворов (Na_2S – селен), или растворов, с резко увеличенным окислительным потенциалом (Mo). Организация добычи СПВ этих компонентов может оказаться рациональной только при их концентрациях, превышающих концентрации урана более чем в 5 раз (примерное соотношение их стоимости), чего обычно не бывает.

76. 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 МПР России от 11 декабря 2006 г. № 278.

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

78. На оцененных месторождениях радиоактивных 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 другие экономические показатели определяются по укрупненным расчетам на базе проектов-аналогов.

На месторождениях, оцененных для СПВ, обычно необходимо проведение натуральных геотехнологических испытаний по упрощенным схемам (двухскважинные опыты).

Вопросы хозяйственно-питьевого водоснабжения горнодобывающих предприятий 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 течении не более 3-х 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 опытно-промышленной разработки (ОПР) должна быть обоснована в каждом конкретном случае с определением ее целей и задач.

Проведение ОПР диктуется обычно необходимостью выявления особенностей гео-

логического строения рудных тел (изменчивость морфологии и внутреннего строения), горно-геологических и инженерно-геологических условий отработки, технологии добычи руд и их обогащения (природные разновидности и технологические типы руд и их взаимоотношения), решение которых возможно только при вскрытии рудных тел на существенную глубину и протяженность.

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

79. На разведанных месторождениях геологоразведочные и, при необходимости, опытно-эксплуатационные работы должны обеспечивать оценку качества и количества запасов, изучение их технологических свойств, гидрогеологических и горнотехнических условий разработки, с полнотой, достаточной для обоснования решения о порядке и условиях их вовлечения в промышленное освоение, а также для проектирования строительства или реконструкции 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 для проектирования рациональной технологии их переработки, при извлечении всех полезных компонентов, имеющих промышленное значение, а также определения направления использования отходов производства, оптимального варианта их складирования или захоронения.

на месторождениях, разведываемых для СПВ, натурные геотехнологические испытания обычно выполняются по полной схеме, с переработкой растворов и получением готовой продукции;

запасы других, совместно залегающих, полезных ископаемых, включая породы вскрыши и подземные воды, с содержащимися в них компонентами, отнесенные на основании кондиций к балансовым, изучены и оценены в степени, достаточной для определения их количества и возможных направлений использования;

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

достоверность данных о геологическом строении, условиях залегания и морфологии тел полезного ископаемого, качестве запасов подтверждена на представительных для всего месторождения участках детализации, размер и положение которых определяется в каждом конкретном случае, в зависимости от геологических особенностей месторождений;

рассмотрено возможное влияние отработки запасов месторождения на окружающую среду и даны рекомендации по предотвращению или снижению прогнозируемого уровня отрицательных экологических последствий до требований соответствующих нормативных документов, а необходимые для этого затраты учтены при расчете параметров кондиций;

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 на разведанных месторождениях определяется недропользователем с учетом допустимого предпринимательского риска. Недропользователь также оценивает возможность полного или частичного использования запасов категории C_2 при проектировании отработки. Эта оценка рассматривается в процессе государственной экспертизы подсчета запасов, по результатам которой может быть принято и оформлено соответствующее разрешение. Определяющими факторами при этом являются особенности геологического строения рудных тел, их мощность и характер распределения в них урановой 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 требований настоящих рекомендаций и при утверждении запасов (балансовых и забалансовых) в установленном порядке.

VIII. Пересчет и переутверждение запасов

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

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

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

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

изменении требований промышленности к качеству минерального сырья;

когда общее количество балансовых запасов, списанных и намечаемых к списанию как неподтвердившихся (в процессе дополнительной разведки, эксплуатационной разведки и разработки месторождения), а также не подлежащих отработке по технико-экономическим причинам, превышает нормативы, установленные действующим положением о порядке списания запасов полезных ископаемых с баланса горнодобывающих предприятий (т. е. более 20 %).

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

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

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

разработке и внедрении новых технологий, существенно улучшающих экономику производства;

выявлении в рудах или вмещающих породах ценных компонентов 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 (ℓ_p) к общей длине пересечений в пределах продуктивной зоны (в границах промышленного оруденения – ℓ_o):

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

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

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

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

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

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

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.

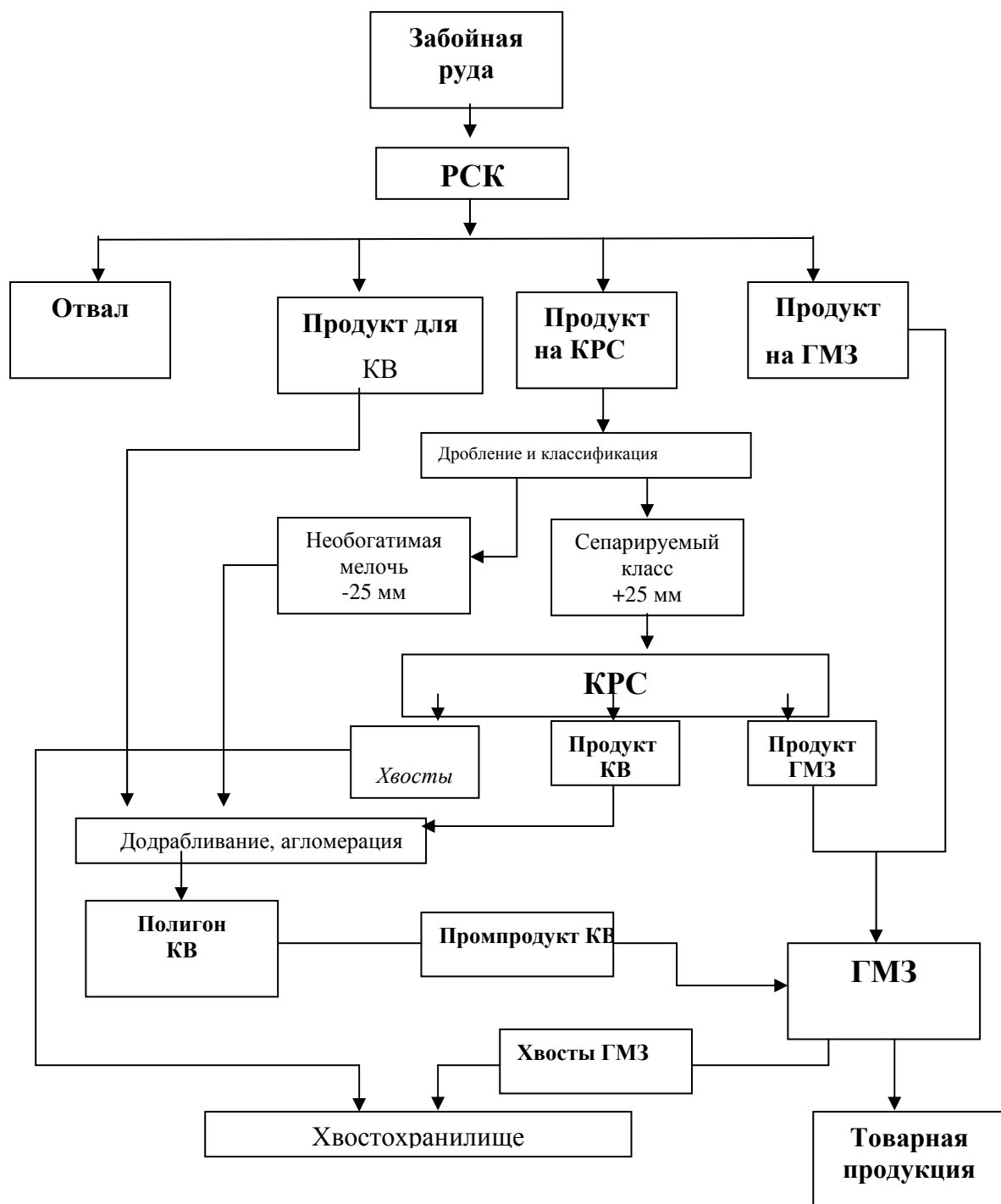
Количественные характеристики изменчивости основных свойств оруденения

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

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

Приложение 2 к Методическим рекомендациям по применению Классификации запасов месторождений и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых
(радиоактивных металлов)

Принципиальная схема добычи и переработки урановых руд (горный способ)



РСК – рудосортировочный комплекс (самосвалы, вагонетки);
КРС – комплекс радиометрической сепарации (покусковой);
КВ - кучное выщелачивание;
ГМЗ – гидрометаллургический завод.

Приложение 3 к Методическим рекомендациям по применению Классификации запасов месторождений и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых (радиоактивных металлов)

Принципиальная схема добычи урана СПВ.

