

**Зависимость техники разведки от условий месторождений
на примере**

ТЕХНИКА РАЗВЕДКИ РАДИОАКТИВНЫХ РУД



г.Пермь, 2017 г.

РАДИОАКТИВНЫЕ МЕТАЛЛЫ, разведываемые и разрабатываемые



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 (плотность золота – 19320 кг/м³).

Слабый парамагнетик (удельная магнитная восприимчивость $1,72 \cdot 10^{-6}$).

Температура плавления 1135 С°.

Радиоактивен, в растворах токсичен.

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.

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.

Состояние равновесия системы принято выразить коэффициентом радиоактивного равновесия:

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

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.



Т о р и й - металл серебристо-белого цвета, на воздухе медленно окисляется. Атомный номер 90, атомная масса 232,038. Существует в двух кристаллических модификациях.

Плотность $11,72 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ (плотность золота – 19320 кг/м^3).

Кларк тория - $8 \cdot 10^{-4} \%$.

Температура плавления 1750 С° .

Разлагает воду при 200 С° .

Природный торий практически состоит из одного долгоживущего изотопа ^{232}Th с периодом полураспада $1,39 \cdot 10^{10}$ лет (содержание ^{238}Th , находящегося с ним в равновесии, ничтожно – $1,37 \cdot 10^{-8} \%$). Конечный продукт ряда распада стабильный ^{208}Pb . В природных соединениях Th исключительно четырехвалентен. Большинство его соединений нерастворимо. В поверхностных условиях мигрирует только путем механического переноса минералов. Накапливается в россыпях.

Торий склонен к рассеянию. Собственные его минералы редки. В качестве изоморфной примеси встречается в различных минералах редких земель и тантала-ниобия.

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

Радон (^{222}Rn) - инертный газ, хорошо растворимый в воде.

Период полураспада радона очень мал – 3,8 суток.

При бурении разведочных скважин в обводненных ураноносных породах может происходить отжатие буровым раствором пластовых вод с растворенным радоном из околоскважинного пространства, за счет чего интенсивность измеряемого каротажем гамма-излучения окажется ниже соответствующей содержанию урана.

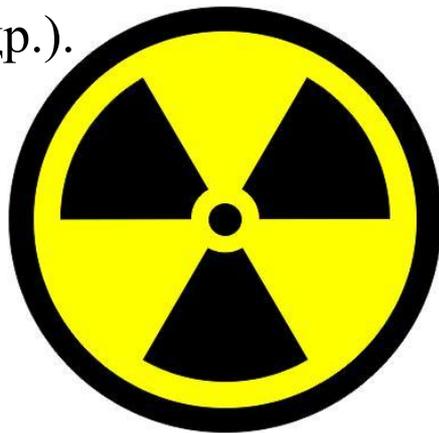
Урановые руды выделяют радон в окружающую среду (эманерируют).

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.).



МИНЕРАЛЫ УРАНА И ТОРИЯ

Известно около 300 урановых и урансодержащих минералов, однако основную массу промышленных руд обычно слагают следующие:

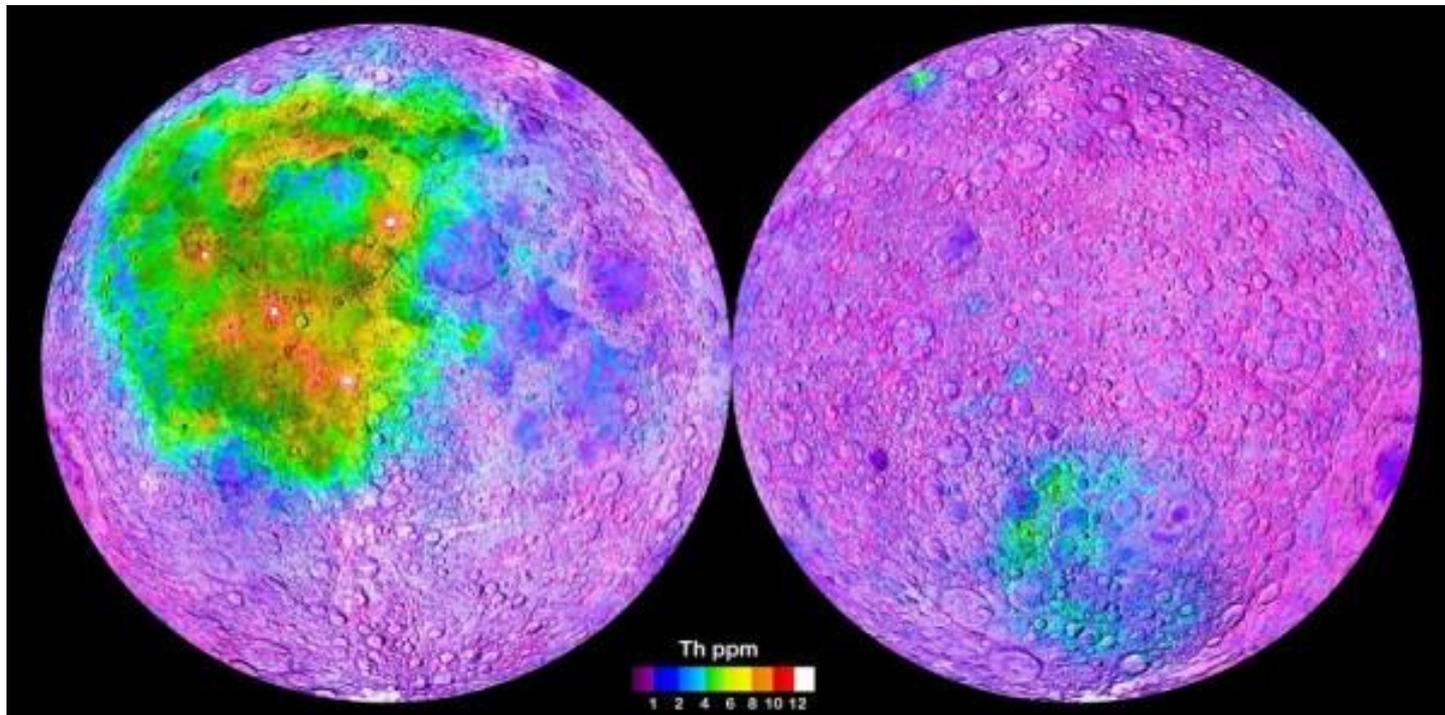
<i>Минералы</i>	<i>Химический состав (формула)</i>	<i>Содержание урана и тория (в скобках), %</i>
Уранинит	$(U,Th)O_{2x}$	62–85 (до 10)
Настуран	UO_{2x}	52–76
Урановые черни	UO_{2x}	11–53
Браннерит	$(U, Th)Ti_2O_6$	35–50 (до 4)
Коффинит	$U (SiO_4)_{1-x} (OH)_{4x}$	60–70
Давидит	$(Fe,Ce,U)(Ti,Fe,V,Cr)_3(O,OH)_7$	1–7
Нингиоит	$CaU(PO_4)_2 \cdot 2H_2O$	20–30
Карнотит	$K_2(UO_2)_2(VO_4)_2 \cdot 3H_2 O$	52–66
Торбернит	$Cu (UO_2)_2(PO_4)_2 \cdot 12H_2 O$	48
Отенит	$Ca(UO_2)_2(PO_4)_2 \cdot 10H_2 O$	48–54
Уранофан	$Ca[UO_2(SiO_3OH)]_2 \cdot 5H_2 O$	55–58
Цейнерит	$Cu (UO_2)_2(AsO_4)_2 \cdot 12H_2 O$	55
Тюямунит	$Ca (UO_2)_2(VO_4)_2 \cdot 8H_2 O$	57–65
Казалит	$Pb[UO_2SiO_4] \cdot H_2 O$	42–50

МИНЕРАЛЫ ТОРИЯ

<i>Минерал</i>	<i>Хим. состав (формула)</i>	<i>Содержание Th (U) в %</i>
Монацит	$(\text{Ce, Th, U})\text{PO}_4$	<10 (<6)
Лопарит	$(\text{Ce, Na, Ca, Th})(\text{Ti, Nb})\text{O}_3$	< 3
Пирохлор	$(\text{Ca, Na, Th, TR, U})_2(\text{Nb, Ta, Ti})_2\text{O}_6(\text{O, OH, F})_{1-m} n \text{H}_2\text{O}$	<5 (<7)
Торит	$(\text{Th, U})\text{SiO}_4$	65–80 (1–2)
Торианит	$(\text{Th, U})\text{O}_2$	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.

Лунные аномалии тория



$10-12 \cdot 10^{-4} \%$, а кларк тория на Земле $8 \cdot 10^{-4} \%$

$$1 \cdot 10^{-4} \% = 1 \cdot 10^{-6}$$

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ

1. Топливо-энергетическое сырье – ядерное топливо
2. Сырье для ядерного и термоядерного оружия – военная промышленность
3. Иные виды промышленности (медицина, электроника и пр.)

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.

Некоторая часть урановых руд используется для производства радия, соединения урана применяются в медицине, химии, электротехнике и др. Торированные катоды применяются в электронных лампах, а оксидно-ториевые – в магнетронах и мощных генераторных лампах. Добавка 0,8–1 % ThO_2 к вольфраму стабилизирует структуру нитей накаливания. Двооксид 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.



В США используют для АЭС высокообогащенный уран, извлеченный из российских атомных боеголовок. Его смешивают с природным ураном, получая таким образом пригодное для АЭС низкообогащенное топливо. За последние 12 лет в качестве топлива для легководных реакторов было использовано 500 тонн высокообогащенного урана из 20000 ядерных боеголовок, что эквивалентно 10% всей выработки электроэнергии в США.

По характеру урановой минерализации руды разделяются на:

1. Настурановые и уранинитовые;

2. Коффинит-настуран-черниевые;

**3. Браннеритовые и настуран-браннеритовые
(настуран-коффинит-браннеритовые);**

**4. Руды со сложными урансодержащими,
торийсодержащими и редкоземельными минералами
(монацит, лопарит, торит, эвдиалит, сфен, пирохлор,
гаттчетолит и т.п.);**

5. Настуран-апатитовые;

6. Уранослюдковые .

ГЕОЛОГО-ПРОМЫШЛЕННЫЕ ТИПЫ

Все началось в 40-50 года XX века из-за Второй Мировой войны.

И сейчас количество и качество геолого-промышленных типов УРАН-ТОРИЕВЫХ месторождений постоянно меняются.

Урано-битумный, железо-урановый утратили свое значение в связи с отработкой.

Появились новые типы: селен-урановые в проницаемых отложениях, редкометальные торий-урановые в щелочных массивах, карбонатитах и др. Могут быть установлены и новые.

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)*.

Жильное или штокверкового типа

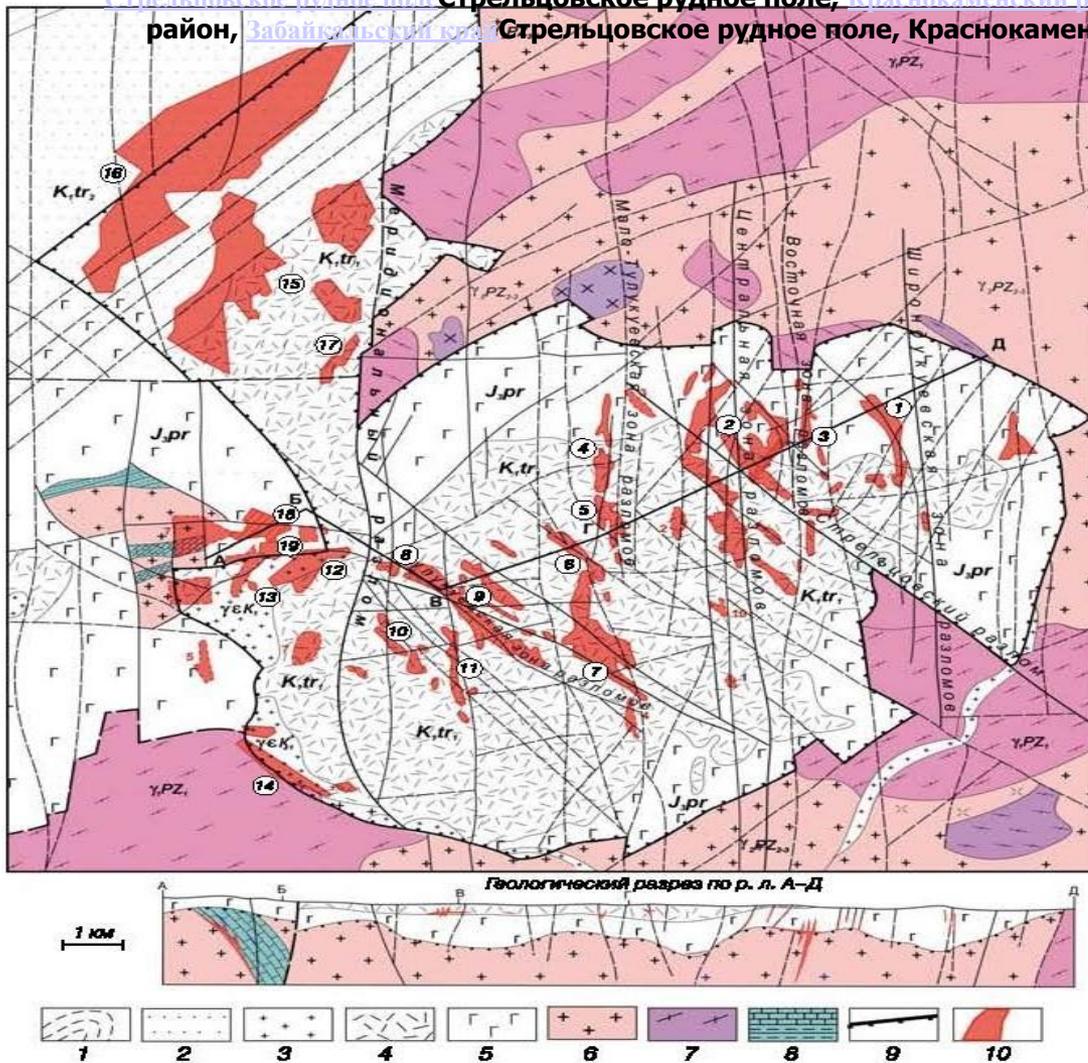


Рис. 1. Геологическая карта Стрельцовского рудного поля:

1 — кутинская свита; 2 — тургинская свита (верхняя толща); 3 — породы субвулканической фации; 4 — тургинская свита (нижняя толща); 5 — приаргунская свита; 6 — граниты варийского интрузивного цикла; 7 — граниты каледонского интрузивного цикла; 8 — мрамор и кристаллические сланцы; 9 — контур Стрельцовской кальдеры; 10 — месторождения (по номерам в кружках): 1 — Широудкуйское; 2 — Стрельцовское; 3 — Антей; 4 — Октябрьское; 5 — Лучистое; 6 — Мартовское; 7 — Мало-Тулукеевское; 8 — Тулукеевское; 9 — Юбилейное; 10 — Весеннее; 11 — Новогоднее; 12 — Пятилетнее; 13 — Красный Камень; 14 — Юго-Западное; 15 — Дальнее; 16 — Полевое; 17 — Безречное; 18 — Аргунское; 19 — Жерловое

Кальдера 15x10 км, площадь 120 км².

Два структурных этажа: нижний сложен гранитами палеозойского возраста с ксенолитами раннепротерозойских метаморфических пород, верхний сложен комплексом осадочных и вулканогенных пород, суммарной мощностью 500-600 до 1400 м).

в пределах рудного поля выявлено 19 месторождений урана. 16 из них признаны промышленными.

До 2008 года на месторождениях поля было добыто около 130 тыс. т урана.

Балансовые запасы урана (категорий А+В+С1+С2) на 01.01.2008 г составляли 140,8 тыс. т.

Разработку месторождений ведёт ОАО «Приаргунское производственное горно-химическое объединение» («ППГХО»). В 2011 году добыча урана 2200 т урана

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	
1.1. Эндогенный в областях тектоно-магматической активизации докембрийских щитов	Эндогенный тип	Плито-, стобо- и линзообразные залежи в гнейсах, мигматитах и гранитах	Урановый. Коффинит-настуран-браннеритовый, уранинит-браннеритовый	0,1	–	Энергетический урановый (сортировочный, гидрометаллургический)	Мичуринское, Ватугинское 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-гидропирометаллургический)	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, гидрометалургический)	Дружное, Курунг, Снежное (Эльконкский рудный район)
1.2. Эндогенный в зонах структурно-стратиграфических несогласий	Линейные залежи и жилы в кристаллических сланцах, гнейсах фундамента и песчаниках осадочного чехла	Золото-никель-урановый Арсенидно-сульфидно-коффинит-настурановый	0,3–12	Au, Ni, Cu, Ag	Энергетический урановый золото-никельсодержащий (гидрометалургический)	Сигар-Лейк и Роки-Лейк (Канада), Джабилука, Набарлек (Австралия)	
1.3. Эндогенный в структурах тектонической активизации складчатых областей	Столбо-, линзо- и жилообразные залежи в песчанниках, углеродистых сланцах, диабазах, гранитах и известняках	Урановый, Коффинит-фторapatит-браннерит-настурановый	0,12	TR	Энергетический урановый (сортировочный, гравитационно-гидрометаллургический)	Грачевское, Косачинское и Восток (все Казахстан)	

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	
1.3. Эндогенный в структурах тектонической активизации складчатых областей	Эндогенный тип	Столбо-, линзо- и жилообразные залежи в песчаниках, углеродистых сланцах, диабазов, гранитах и известняках	Урановый, Коффинит-фторапатит-браннерит-настурановый	0,12	TR	Энергетический урановый (сортировочный, гравитационно-гидрометаллургический)	Грачевское, Косачинское и Восток (все Казахстан)
		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, гидрометал-лургический)	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-арсенидно-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), Пришибрам (Чехия)
1.4. ... 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, гидрометал-лургический)	Стрельцовское, Тулукуевское, Аргунское, Бота-Бурум, Кызылсай
2.1 ... в морских глинах	Экзогенный тип	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)
2.2 ...в водопроницаемых толщах		Ленто- и линзообразные 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)

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
Экзогенный тип	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, пиро-гидрометаллургический)	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)

Промышленные типы месторождений тория 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 агпаитовых 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 п.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 п.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 п.100 г/м ³	Zr	Металлургический цирконий-ториевый (гравитационно-электростатический-магнитно-гидрометаллургический)	Юг Енисейского кряжа, Алданский массив, Калба-Нарынская зона
		Торит-изоферро-платиновый	Торит п.10-п.100 г/м ³	Pt	Металлургический платина-ториевый (гравитационно-гидрометаллургический)	Кондерское

1.1. 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 рудоносности 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 среде железомagneзиальных 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.

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

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.

1.2. Урановые месторождения в зонах структурно-страйтографических (тектонических) несогласий

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) контролируются зонами разломов и несогласиями. Наиболее богатое оруденение обычно находится над горизонтами углеродистых сланцев либо в них самих. 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 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.

Разведка месторождений производится скважинами.

1.3. 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 геоантиклинальным режимом развития и вблизи срединных массивов. Заозерное, Тастыколь, Маныбайское, Грачевское, Косачиное, Глубинное и др.

Оруденение контролируется 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, торианит, циркон (малакон); молибдено-урановых и урановых – преимущественно настуран, урановые черни, коффинит, молибденит, иордизит. 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 %. 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, навахоитом, 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-смолковые 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 послонных 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.).

1.4. В вулканогенно-тектонических структурах складчатых областей

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 экструзивных, эффузивных и жерловых фациях вулканитов и породах фундамента, контролирующихся зонами разломов, карбонатизации, 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 средним, а по сложности геологического строения – к 3 и 4 группам.

Детальная разведка их осуществляется в основном горными выработками на нескольких горизонтах.

2. Экзогенные месторождения

2.1. 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.

2.2. Месторождения в водопроницаемых толщах платформенного чехла.

Урановые месторождения в проницаемых породах в связи с зонами пластового окисления в областях молодых орогенов (гидрогенные 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 – удлинённых 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 (СПВ) и традиционным горным способом, переработка руд – преимущественно по сернокислотно-сорбционной технологии.

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 километры, 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

(гидрогенные 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-конгломератовых 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 каустобиолитовые (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 (каустобиолитовые 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 каустобиолитовые, 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.

3. Комплексные урансодержащие месторождения

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

Буровые скважины

КОНЕЦ ПЕРВОЙ ЧАСТИ