

## 12. ГОРНО-РУДНАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ УРАНА



На начало 2006 мировые разведанные запасы урана в недрах по цене менее 80 дол/кг составляли 5000 тыс. т, из них 4224 тыс. т сосредоточены в 11 странах мира. Эти запасы служат основным источником для производства урана. Одиннадцать стран-производителей обеспечивают 95% мировой добычи урана, причем Канада и Австралия – более 50%. По годовому производству урана (около 3300 т) Россия занимает четвертое место после Казахстана, а по запасам урана (с учётом резервных месторождений) - третье место в мире (после Австралии и Казахстана).

### 12.1 Урановые руды

**Руда** - минеральное вещество, из которого технологически возможно и экономически целесообразно извлекать металлы или минералы для использования их в народном хозяйстве. Такая возможность устанавливается путем определения способа переработки данного минерального вещества непосредственными технологическими испытаниями, либо методом аналогий. Экономическая целесообразность определяется условиями на руду. Различают металлические и неметаллические рудные полезные ископаемые. Возможность переработки руды валовым способом обуславливается ее запасами. Понятие руды изменяется в результате прогресса техники. С течением времени круг используемых руд и минералов расширяется.

**Руда вкрапленная** (рассеянная) - состоящая из преобладающей пустой (вмещающей) породы, в которой более или менее равномерно распределены (вкраплены) рудные минералы в виде отдельных зерен, скоплений зерен или прожилков. Нередко такие вкрапления сопровождают по краям крупные тела сплошных руд, образуя ореолы вокруг них, а также формируют самостоятельные, часто очень крупные месторождения.

**Руда комплексная** - сложная по составу руда, из которой извлекаются или могут быть с экономической выгодой извлечены несколько металлов или полезных компонентов, например, медно-никелевая руда, из которой могут извлекаться, кроме никеля и меди, кобальт, металлы платиновой группы, золото, серебро, селен, теллур, сера.

**Руда металлическая** - руда, в которой полезной составной частью является какой-либо металл, используемый промышленностью. Металлическая руда противопоставляется неметаллическим рудам, например, фосфорным, баритовым, и т.д.

#### 12.1.1 Типы урановых руд

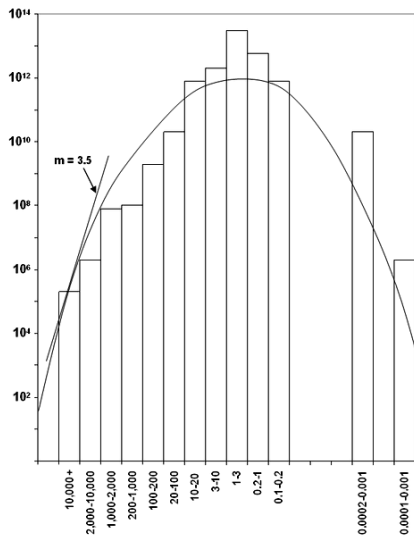
**Урановые руды** - природные минеральные образования, содержащие уран и его соединения в концентрациях, при которых их промышленное использование технически возможно и экономически целесообразно. Уран в рудах может входить в состав урановых минералов, но может образовывать значительные скопления в залежах фосфатов, залежах лигнитов (лигнит – каменный уголь низкого качества, промежуточная форма между торфом и бурым углём, структура сохраняет структуру дерева) или монацитовых песков.

Урановые руды были известны шахтёрам задолго до открытия самого урана в 1789. Урановую обманку (pitchblende) нашли в Рудных горах (Erzegebirge) Саксонии ещё в 1565. Другие ранние сообщения об обманке датируются 1727 (Яхимов) и 1763 (Шварцвальд). В начале 1800-ых, урановую руду получали как побочный продукт горной промышленности в Саксонии (Богемия) и Корнуолле (Англия).

Как уже упоминалось, минералов урана известно много - около 200. Однако далеко не все они имеют промышленное значение - не всякую породу, содержащую уран, считают рудой. Основным принцип классификации «руда - не руда» связан с процентным содержанием урана в породе. Хорошими считаются руды с содержанием урана выше 0,1%, но бывает выгодно извлекать уран и из бедных руд. В Южной Африке, например, извлекают уран из руд, содержащих всего 0,01% урана. Наряду с ураном эти руды содержат золото, которое и является основным объектом промышленной добычи. Кроме золота, из урановых минералов извлекают медь, титан, тантал, ванадий и ряд редкоземельных металлов. 12% мирового выпуска урана приходится на производства, где уран извлекается в качестве побочного продукта.

По содержанию урана руды сильно варьируются, причем распределение урана в руде описывается на нормальным (Гауссовским) законом, а логнормальным (Рис. 51), т.е. возможны очень богатые руды, но встречаются они крайне редко.

По условиям образования среди урановых руд различают: эндогенные руды, отложившиеся при повышенных температурах и давлениях из пегматитовых расплавов и водных (предположительно постмагматических) растворов, характерны для складчатых областей и активизированных платформ; экзогенные руды, сформировавшиеся в близкоповерхностных условиях и на поверхности Земли в процессе осадконакопления (сингенетические руды) или в результате циркуляции грунтовых вод (эпигенетические руды), связаны преимущественно с молодыми платформами; метаморфогенные руды, возникшие путём перераспределения первично рассеянного урана в процессе метаморфизма осадочных толщ, характерны для древних платформ.

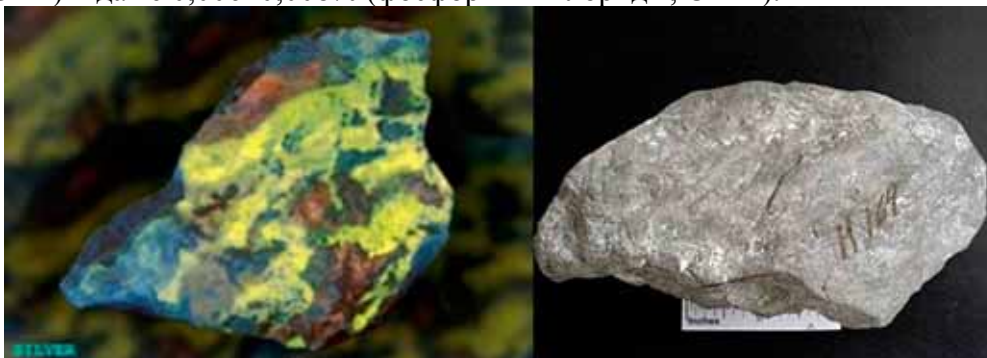


**Рис. 51.** Логнормальное распределение содержания урана в рудах.

Распределение урановых месторождений описывается логнормальным законом: 300 кратное увеличение количества извлекаемого урана соответствует десятикратному уменьшению концентрации урана в руде. Поэтому в мире мало рудников с высоким содержанием урана в руде, но существуют большие запасы бедных руд.

Урановые руды разделяются на природные типы и технологические сорта. По характеру урановой минерализации различают: первичные урановые руды – не менее 75%  $U^{4+}$  от общего количества; окисленные урановые руды, содержащие главным образом  $U^{6+}$ ; смешанные урановые руды, в которых  $U^{4+}$  и  $U^{6+}$  находятся примерно в равных соотношениях. Степень окисления урановых минералов сказывается на технологии их переработки и поведении в гидрометаллургическом переделе. По «контрастности», определяемой степенью неравномерности содержания U в кусковой фракции отбитой горной массы, среди урановых руд выделяются весьма контрастные, контрастные, слабо контрастные и неконтрастные руды; контрастность руд определяет возможность и целесообразность их радиометрического обогащения. По размерам агрегатов и зёрен урановых минералов выделяются: крупнозернистые урановые руды (свыше 25 мм в поперечнике), среднезернистые (3–25 мм), мелкозернистые (0,1–3 мм), тонкозернистые (0,015–0,1 мм) и дисперсные (менее 0,015 мм); размеры агрегатов и зёрен урановых минералов определяют возможность механического обогащения руд.

По содержанию полезных примесей выделяют: собственно урановые, уран-молибденовые, уран-ванадиевые, уран-никель-кобальт-висмут-серебряные и др. руды. По химическому составу нерудной составляющей среди урановых руд различают: силикатные (в основном из силикатных минералов); карбонатные (более 10–15% карбонатных минералов); железоокисные, представляющие собой железо-урановые руды; сульфидные, содержащие более 8–10% сульфидных минералов; каустобиолитовые, состоящие в основном из органического вещества. Химический состав руд часто имеет решающее значение при выборе способа их переработки. Так, например, из силикатных руд уран выщелачивается кислотами, из карбонатных – содовыми растворами; железо-окисные руды подвергаются доменной плавке, при которой уран концентрируется в шлаках; каустобиолитовые урановые руды иногда обогащаются путём их сжигания и т.д. По содержанию урана выделяются 5 сортов руд: очень богатые руды (свыше 1% урана); богатые (1–0,5%); средние (0,5–0,25%); рядовые (0,25–0,1%); бедные (менее 0,1%). В качестве побочного продукта уран извлекается из руд, содержащих 0,01–0,015% урана (например, из золотоносных конгломератов Витватерсранда, ЮАР) и даже 0,006–0,008% (фосфориты Флориды, США).





**Рис. 52.** Образцы урановой руды.

По характеру урановой минерализации руды урановых месторождений подразделяются на настурановые и уранинитовые; коффинит-настуран-черниевые; браннеритовые и настуран-браннеритовые (настуран-коффинит-браннеритовые); руды со сложными урансодержащими, торийсодержащими и редкоземельными минералами (монацит, лопарит, торий, эвдиалит, сфен, пирохлор, гаттчетолит); настуран-апатитовые; уранослюдковые. По содержанию урана выделяют промышленные сорта руд: богатые – более 1%; рядовые – 0,1 – 1%; бедные – 0,03 – 0,1%; убогие – менее 0,03%.

По химическому составу выделяют технологические сорта руд, для которых характерна своя технология переработки и извлечения урана: силикатные; карбонатные; углеродистые (каустобиолиты); сульфидные; фосфатные; железооксидные. Их можно разделить на три группы:

1. Группа оксидов урана, к которой относятся два основных типа минералов – уранинит и урановая смоляная руда, различающиеся между собой по кристаллическому строению и химическому составу. Уранинит является диоксидом урана, но содержит также некоторое количество триоксида урана, образовавшегося в результате окисления. Уранинит изоморфен диоксиду церия и диоксиду тория, встречается только в пегматитах. В состав уранинита входят продукты радиоактивного распада урана и значительное количество тория и редкоземельных элементов, что связано с близостью их ионных радиусов. Урановая смоляная руда отличается от уранинита тем, что не имеет кристаллического строения и практически не содержит тория, а количество редкоземельных элементов составляет менее 1%. Содержание кислорода переменное, но близко к формуле  $U_3O_8$ . Урановая смоляная руда в противоположность ураниниту образует большие скопления в гидротермальных отложениях, в ассоциации с сульфидными минералами и арсенидами железа, меди, свинца, кобальта и никеля.

2. Группа тантало-необиевых редких земель, например, иттроколумбит  $(Fe, Mn)(UO_2)_2Y_4[(Nb, Ta)_2O_7]_5$ , в котором уран находится в виде катиона уранила. В состав этой группы входят минералы с различным соотношением РЗЭ, урана, тантала, ниобия и титана.

3. Группа фосфатов и ванадатов, в которых ион уранила сочетается с анионами  $PO_4^{3-}$  и  $VO_4^{3-}$   $Ca(UO_2)_2(PO_4)_2 \cdot 8H_2O$  и целый ряд минералов такого же состава, но в которых кальций замещён другими металлами, например, карнотит или урановая слюда –  $K_2U_2[VO_4]_2O_4 \cdot 3H_2O$ .

Содержание в руде помимо урана других полезных компонентов оказывает существенное влияние на ценность урановых руд. Комплексные урановые руды подразделяются на две группы, которые характеризуются различными технологическими схемами переработки:

- руды, в которых уран и другие полезные компоненты входят в состав одного и того же минерала;
- руды, в которых уран и другие полезные компоненты представлены разными минеральными формами.

Уран встречается в различных точках земного шара в многочисленных минералах, либо в первичных залежах, прежде всего в виде урановой смоляной руды, либо в виде вторичных отложений в песчаниках, известняках, лигнитах (бурых углях). Лигниты, торф и подобные им разложившиеся и окаменелые растительные остатки быстро адсорбируют уран из сильно разбавленных водных растворов с рН порядка 3-7. Богатые ураном отложения лигнитов обнаружены в Северной и Южной Дакоте (США) и битумных углях Испании и Чехии.



Рис. 53. Выходы старой урановой руды на поверхность.

## 12.1.2 Радиоактивность урановых руд

Примерный изотопный состав природного урана приведен в Табл.33.

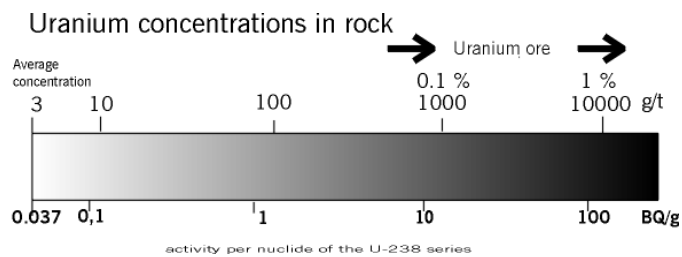
Табл.37 Изотопный состав природного урана

Изотоп	Массовый %	Атомный %	Период полураспада
$^{234}\text{U}$	0.0054%	0.0055%	247 тыс. лет (альфа-распад)
$^{235}\text{U}$	0.7110%	0.7202%	710 млн. лет (альфа-распад)
$^{238}\text{U}$	99.2836%	99.2742%	4.51 млрд. лет (альфа-распад)

Хотя содержание изотопа  $^{235}\text{U}$  в общем постоянно, есть некоторые колебания его количества из-за обеднения руды при реакциях деления, имевших место, когда концентрация  $^{235}\text{U}$  была много выше, чем сегодня. Самый известный такой природный «реактор», возрастом 1.9 миллиарда лет, обнаружен в 1972 в шахте Окло в Габоне. Когда этот реактор действовал, в природном уране содержалось 3%  $^{235}\text{U}$ , столько же, сколько и в современном топливе для атомных электростанций. Теперь ядро шахты выгорело и обеднено, содержит лишь 0.44%  $^{235}\text{U}$ .

Содержание  $^{234}\text{U}$  в руде незначительно. В отличие от  $^{235}\text{U}$  и  $^{238}\text{U}$ , из-за своей короткой жизни, этот изотоп образуется вследствие распада атомов  $^{238}\text{U}$ :  $^{238}\text{U} \rightarrow (4.51 \text{ миллиарда лет, } \alpha\text{-распад}) \rightarrow ^{234}\text{Th} \rightarrow (24.1 \text{ дней, } \beta\text{-распад}) \rightarrow ^{234}\text{Pa} \rightarrow (6.75 \text{ часов, } \beta\text{-распад}) \rightarrow ^{234}\text{U}$  Обычно  $^{234}\text{U}$  существует в равновесии с  $^{238}\text{U}$ , распадаясь и образуясь с одинаковой скоростью. Однако распадающиеся атомы  $^{238}\text{U}$  существуют некоторое время в виде тория и протактиния, поэтому могут химически или физически отделиться от руды (выщелачиваться подземными водами). Поскольку  $^{234}\text{U}$  обладает относительно коротким временем полураспада, весь этот изотоп, находящийся в руде, образовался в последние несколько миллионов лет. Примерно половину радиоактивности природного урана составляет вклад  $^{234}\text{U}$ .  $^{236}\text{U}$  обладает периодом полураспада 23.9 миллиона лет и не встречается в природе в значительных количествах. Он накапливается, если уран облучается нейтронами в реакторах, и потому используется как «сигнализатор» отработанного уранового ядерного топлива.

Удельная радиоактивность природного урана 0.67 микрокюри/г (разделяется практически пополам между  $^{234}\text{U}$  и  $^{238}\text{U}$ ,  $^{235}\text{U}$  вносит маленький вклад). Природный уран достаточно радиоактивен для засвечивания фотопластинки за время около часа.



**Рис. 54.** Связь между содержанием урана в руде и активностью на один нуклид ряда  $^{238}\text{U}$ .

Между содержанием урана в руде и её активностью, обусловленной распадом радионуклидов уранового ряда, имеется однозначная связь (Рис. 54).

### 12.1.3 Месторождения урановых руд

Содержание урана в земной коре составляет 0,003%, он встречается в поверхностном слое земли в виде четырех видов отложений. Во-первых, это жилы уранинита, или урановой смолки (диоксид урана  $\text{UO}_2$ ), очень богатые ураном, но редко встречающиеся. Им сопутствуют отложения радия, так как радий является прямым продуктом изотопного распада урана. Такие жилы встречаются в Заире, Канаде (Большое Медвежье озеро), Чехии и Франции. Вторым источником урана являются конгломераты ториевой и урановой руды совместно с рудами других важных минералов. Конгломераты обычно содержат достаточные для извлечения количества золота и серебра, а сопутствующими элементами становятся уран и торий. Большие месторождения этих руд находятся в Канаде, ЮАР, России и Австралии. Третий источник урана - осадочные породы и песчаники, богатые минералом карнотитом (уранил-ванадат калия), который содержит, кроме урана, значительное количество ванадия и других элементов. Такие руды встречаются в западных штатах США. Железоурановые сланцы и фосфатные руды составляют четвертый источник отложений. Богатые отложения обнаружены в глинистых сланцах Швеции. Некоторые фосфатные руды Марокко и США содержат значительные количества урана, а фосфатные залежи в Анголе и Центральноафриканской Республике еще более богаты ураном. Большинство лигнитов и некоторые угли обычно содержат примеси урана. Богатые ураном отложения лигнитов обнаружены в Северной и Южной Дакоте (США) и битумных углях Испании и Чехии.

Так же как и месторождения других металлов, большинство важнейших урановых месторождений сконцентрировано в пределах определённых площадей земной коры или провинций. Первоначальная концентрация урана происходила во время формирования земной коры. Затем вследствие взаимодействия геохимических и орогенических процессов уран перераспределялся и отчасти концентрировался до промышленных месторождений. Урановая провинция определяется как обширная площадь обычно с расплывчатыми очертаниями, в которой урановые месторождения и обогащённые ураном породы развиты довольно широко.

Под промышленным типом понимается группа месторождений, являющихся устойчивым поставщиком уранового сырья и обеспечивающих не менее 1% мировой добычи урана.

Согласно классификации МАГАТЭ, разработанной в 1988-1989 годах, все известные месторождения урана разделены на 16 геолого-промышленных типов, три из которых на сегодняшний день доминируют в добыче урана: **песчаниковый тип**, характеризующийся связью урановой минерализации с древними континентальными и прибрежно-морскими песками и песчаниками (месторождения Казахстана, Намибии, Нигера, США, Узбекистана); тип «несогласия», характеризующийся приуроченностью оруденения к зонам структурно-стратиграфических **несогласий** между осадочными породами позднепротерозойского возраста и интенсивно измененными породами кристаллического фундамента архея и раннего протерозоя (Канада, Австралия); **брекчиевый тип**, где рудами являются обогащенные ураном гематитизированные брекчии вулканических и интрузивных пород (Австралия).

**Замечание.** Формации «несогласия» приводят к возникновению весьма богатых урановых месторождений (до 25% по оксиду урана). Рудообразование в них происходило за счёт смешения термальных растворов, фильтровавшихся по породам контрастно-различного химического состава.

**Брекчия** - горная порода, сложенная из угловатых обломков (размерами от 1 см и более) и сцементированная. Различают такие типы брекчий, как вулканическая, осадочная, карстовая, костяная и др. Другой распространенный тип грубообломочных пород - конгломерат, отличается от брекчии окатанной формой обломков.

Около 60% мировых подтверждённых запасов урана сосредоточено в месторождениях названных промышленных типов. Тем не менее, в сырьевой базе некоторых стран существенную роль играют и другие промышленные типы, в ЮАР – конгломератовый, в России – вулканический, в Намибии – интрузивный.

Классификация промышленных типов, предложенная МАГАТЭ, удобна в практических целях, но не отвечает принципу системности. В России выделяют эндогенные и экзогенные месторождения урана, в основу классификации которых положен принцип принадлежности месторождений к определенным типам

континентальных структур земной коры. Выделяют следующие основные геолого-промышленные типы месторождений: урановые месторождения в областях тектоно-магматической активации докембрийских щитов (Украина, Намибия, Россия); золото-никель-урановые месторождения в зонах карбонатно-магнезиального метасоматоза вблизи поверхностей несогласия различных структурных этажей (Канада, Австралия); месторождения в структурах тектоно-магматической активации складчатых областей (Казахстан, Германия, Чехия); месторождения в вулканотектонических структурах позднеорогенного или активизированного этапов развития складчатых областей (Россия); месторождения в морских глинах платформенного чехла (Казахстан); месторождения в водопроницаемых толщах платформенного чехла (Узбекистан, Казахстан, Россия, Украина, США); комплексные ураносодержащие месторождения (ЮАР, Бразилия, Австралия).

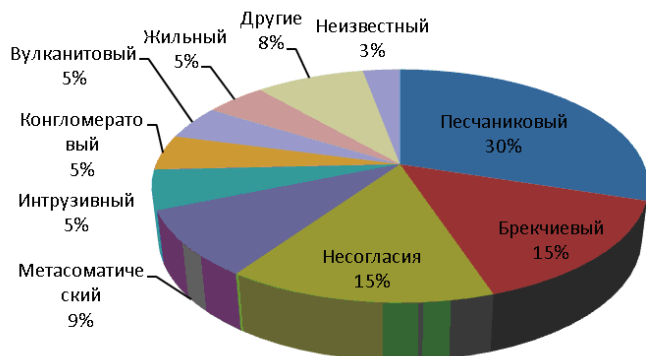
Месторождения урана связаны с протоплатформенными отложениями и структурами активации докембрийских кристаллических щитов (Витватерсранд и Палабора в ЮАР; Эллиот-Лейк и Атабаска в Канаде; Аллигейтер-Ривер в Австралии, Франсвилль в Габоне и др.), палеозойскими и мезозойскими структурами (Нигер, США и др.). Практически неограниченные ресурсы заключены в фосфоритах Средиземноморской провинции, где содержания урана очень невелики (0,003%), но, учитывая гигантские объемы фосфоритов (100 млрд.т), ресурсы урана могут составить несколько млн.т.

Среди месторождений урана и тория в осадочных породах известны диагенетические, эпигенетические и полистадийные, формирование которых происходило в течение длительного времени под влиянием разнообразных процессов. Месторождения урана в обломочных породах широко распространены на всех континентах, занимают обширные территории и по запасам в настоящее время являются основной сырьевой базой атомной промышленности. Для всех месторождений этого типа характерна приуроченность уранового оруденения к зонам пластового окисления проницаемых пород, расположенного на границе красноцветных (окисленных) и сероцветных (восстановленных) пород на участках, обогащенных органическим веществом и сульфидами железа. Урановые минералы представлены чернями, гидронастураном, иногда коффинитом. Классическим примером - плато Колорадо (88% урана США).

Уран-битумные месторождения наблюдаются в пределах нефтегазоносных территорий и связаны с твердыми битумами в зонах древних водонефтяных контактов. Иногда урановые месторождения встречаются в красноцветах над нефтяными залежами и связаны с сероцветной зоной, восстановленной газами месторождений. Месторождения урана в угленосных формациях приурочены к мезозойским или третичным бурым углям либо лигнитам в краевых зонах бассейнов, максимально приближенных к источнику питания подземных вод. Уран здесь связан с органическим веществом и часто сопровождается повышенными концентрациями Ge, Be, As, V, Mo и др. Месторождения урана в карбонатных породах довольно редки. Рудные залежи вытянуты вдоль береговой линии и приурочены к понижениям дна мелководных палеобассейнов, обогащенных органикой. Уран-фосфатные месторождения могут быть пластового или желвакового типа в коренном залегании либо представляют собой перемытые галечники фосфоритов. Обычно содержание урана в фосфорите не превышает сотых долей процента и коррелирует с содержанием  $P_2O_5$ .

Россыпные месторождения урана и тория - основной источник сырья для тория. Особенно важны в промышленном отношении монацитовые россыпи прибрежно-морского генезиса. Они, как правило, бывают полиминеральными и помимо монацита содержат циркон, ильменит, рутил, колумбит, сфен, гранат и др. Наиболее крупными являются месторождения Индии и Бразилии. Россыпные месторождения Бразилии протягиваются на расстояние 1600 км вдоль Атлантического побережья, оцениваются в 150 тыс. т и содержат 5 - 6%  $ThO_2$  в монаците. Месторождения Индии расположены на побережье Индийского океана и имеют запасы около 2 млн т монацита с содержанием  $ThO_2$  - 8,5%,  $U_3O_8$  - от 0,2 до 0,46%.

**Рис. 55.** Распределение мировых подтвержденных запасов урана по промышленным типам месторождений (согласно классификации МАГАТЭ)



Полигенные месторождения урана и тория представляют собой первично-осадочные, обогащенные ураном породы, в которых под влиянием более поздних метаморфических и гидротермальных процессов произошли перераспределение и концентрирование радиоактивных элементов. Наибольшее значение имеют месторождения в древних (протерозойских) метаморфизованных конгломератах, на которые приходится

около 25% запасов урана западных стран. Другой тип - месторождения урана в углистых и кремнистых сланцах, претерпевших метаморфизм невысоких ступеней.

#### 12.1.4 Виды запасов урановых руд

Урановые руды имеются по всему миру. Запасы и коммерческие сделки обычно выражаются в эквивалентных массах  $U_3O_8$  (но иногда и в единицах урана).

Урановые месторождения классифицируются по стоимости извлечения урана, которая определяется затратами на добычу, переработку и получение единицы продукта. Принято оценивать запасы урана по двум стоимостным категориям; до 80 и от 80 до 130 дол. за 1 кг урана. Урановые запасы классифицируются также по категориям, характеризующим степень их технологической разведанности. Применяются две категории: разведанные или достоверные запасы и вероятные или возможные запасы. Вероятные или возможные запасы составляют около 1,6 млн. т по цене до 80 дол./кг U и около 1,1 млн. т по цене 80 - 130 дол./кг U. Достоверные запасы равны 2,3 млн. т, а вероятные 2,72 млн. т урана. Наиболее крупные месторождения урана находятся в США, Канаде, Африке и Австралии. Запасы урана в Европе и Японии незначительны. Кроме известных в настоящее время месторождений урана при оценке урановых запасов необходимо принимать во внимание и «предполагаемые» (теоретические) запасы урана. В отличие от известных, предполагаемые запасы либо находятся в новых районах, либо в таких месторождениях, где добыча урана еще не проводилась. Наличие предполагаемых запасов основано на том, что известные в настоящее время запасы урана, по всей вероятности, не являются единственными в природе. Проблеме предполагаемых запасов урана в настоящее время уделяется серьезное внимание. МАГАТЭ и Агентство по ядерной энергии провели геологические изыскания и оценку таких запасов. Большая степень неопределенности оценок сказывается на разнице между верхним и нижним пределами. Разработка месторождений с низким содержанием урана (менее 0,005%) при стоимости извлечения урана более 130 дол./кг для получения энергии является мероприятием весьма сомнительным. Уран содержится и в морской воде, где средняя концентрация его равна 3,4 мкг/л, но получение урана из морской воды в настоящее время не представляется целесообразным.

Для характеристики запасов месторождений урана в России используется ряд терминов.

**Запасы распределенного фонда недр** – запасы месторождений, на которые имеется лицензия на их разведку и разработку. **Запасы нераспределенного фонда недр** – запасы месторождений, на которые нет лицензий на их разведку и разработку. Запасы урана в недрах определяются на основании геологических данных, полученных в результате разведки месторождения. **Запасы урана в недрах** определяются на основании геологических данных, полученных в результате разведки месторождения. **Извлекаемые запасы** – запасы, рассчитанные исходя из запасов в недрах с учетом коэффициента извлечения урана при его добыче в зависимости от метода добычи.

При характеристике запасов часто употребляются обозначения, которые характеризуют степень геологической изученности недр, по данным которой был проведен подсчет запасов урана в недрах: **B+C1 – подтвержденные запасы**, которые характеризуют высокую степень изученности недр и, следовательно, высокую достоверность их определения. **C2 – предварительно оцененные запасы**, которые характеризуют достаточную геологическую изученность, чтобы провести определение запасов в недрах. **Забалансовые запасы** – категория запасов либо B+C1, либо C2, которые в настоящий момент по каким-либо причинам не могут быть отработаны. Это может быть связано с горнотехническими условиями, ценовой политикой и пр. По международной классификации, достоверно оцененные запасы урана относят к категории RAR. Важно понимать, что извлекаемые запасы составляют 60% от достоверно оцененных.

При классификации запасов и ресурсов урана, принятой МАГАТЭ, помимо степени геологической изученности, используется показатель рентабельности их отработки при существующих способах добычи. Он учитывает прямые затраты на добычу, транспортировку и получение уранового концентрата ( $U_3O_8$ ), а также затраты, связанные с проведением геологоразведочных работ для продления деятельности добывающего предприятия, с обеспечением экологической безопасности в период отработки месторождения и после её завершения, капитальные затраты на строительство новых производственных мощностей, неамортизационные и другие расходы. Выделяется три стоимостных категории урановых руд в зависимости от себестоимости добычи 1 кг урана: < 40 дол./кг; < 80 дол./кг; < 130 дол./кг. В 2005 рентабельной являлась отработка руд с себестоимостью добычи урана < 80 дол./кг.

По величине запасов урановых руд месторождения делятся на: мелкие – запасы месторождений от 0,5 до 5 тыс.т; средние – от 5 до 20 тыс.т; крупные – от 20 до 100 тыс.т; уникальные – более 100 тыс.т. С экономической точки зрения месторождения урана делят по себестоимости получения триоксида урана: <40 дол./кг; <80 дол./кг и <130 дол./кг. При этом вероятность того, что оценка себестоимости достаточно надежна, определяется категорией достоверности ресурсов: установленные (reasonable – RAR – надёжно установлена себестоимость), дополнительные (inferred - IFR) или неоткрытые (undiscovered - UDR). Запасы бывают также доказанными (proven), вероятными (probable), измеренными (measured) и обозначенными (indicated).

Категории залежей урана по классификации МАГАТЭ: RAR (Reasonably Assured Resources) - запасы урана оцениваются по характеристикам образцов и по параметрам пластов залегания урана. Высокая степень надежности оценок; EAR-I (Estimated Additional Resources - Category I) - дополнительные запасы урана, оцениваемые по имеющимся или по похожим образцам. Менее надежная степень, чем RAR; EAR-II (Estimated Additional Resources - Category II) - дополнительные предполагаемые запасы, оцениваемые главным образом по тенденциям и характеристикам подобных хорошо известных залегающих. Степень надежности оценок еще меньше, чем EAR-I; SR (Speculative Resources) - в дополнение к предыдущей категории EAR-II предполагается, что эти запасы урана определены на основе косвенных свидетельств и геологических экстраполяции.

## **12.2 Урановые месторождения и рудники в разных странах**

Первая целенаправленная добыча радиоактивных руд начала свою историю на базе серебряных рудников в Яхимове (тогда – австрийский город Joachimsthal, теперь - чешский). Мария Кюри именно из этой руды выделила радий. В начале 1800-ых, руда урана извлекалась как побочный продукт горной промышленности в Саксонии, Богемии, и Корнуолле. До 2-ой мировой войны урано-добывающая промышленность была направлена на получение радия, который использовали для создания светящихся в темноте часов и приборов (оружейных прицелов и т.п.), а также в медицинских целях. Сам же уран использовался как желтый краситель. Лишь в 40-х годах прошлого века урановую руду стали добывать ради самого урана, причём не в качестве сырья для стекла и керамики, а для производства топлива АЭС и компонентов атомного оружия.

В начале 20-го века в Европе урановая горная промышленность развивалась на месторождении Autunois, Центральный массив Франции, в Oberpfalz (Бавария), и Billingen (Швеция). В США, первая руда радия/урана была обнаружена в 1871 на золотых рудниках около г. Central City, Колорадо. В период 1871-95 там получено 50 тонн руды. Но перед 2-ой Мировой войной уран добывали в основном на ванадиевых месторождениях плато Колорадо в штатах Юта и Колорадо. В Корнуолле шахта South Terras St. Stephen начала выдавать в 1873 и к 1900 добыла 175 тонн руды. Месторождение Shinkolobwe в Катанге, бельгийское Конго теперь область Shaba, Заир открыто в 1913 и эксплуатировалось компанией Union Miniere du Haut Katanga. Другие важные месторождения в мире: Порт Радий, у Большого Медвежьего озера (Канада), открытое 1931, и провинция Beira (Португалия); Тюя-Муюн (Киргизия), и Radium Hill (Австралия).

В период Манхэттенского проекта по созданию атомной бомбы, урановая руда сначала закупалась в бельгийском Конго, а затем поступала с ванадиевых рудников американского Юго-запада и из Канады (через компанию Eldorado Mining and Refining Limited company). Эта компания имела большие запасы урана, как отходы производства радия. Руды Эльдорадо были намного беднее ураном, чем африканские.

В 20-м веке наблюдались три бума добычи урана: 1956-60, 1967-71 и 1976-82. Затем был длительный и глубокий спад, и очередной подъем добычи начался где-то в 2006.

В 20-ом столетии Соединенные Штаты были самым большим в мире производителем урана. *(Это – по данным западных авторов, на самом деле добыча урана в СССР в разы превышала американскую!).* Grants Uranium District на северо-западе штата Нью-Мексико был наибольшим производителем урана США. Gas Hills Uranium District второй по значению производитель урана. Известный рудник Lucky Mc Mine находится в Gas Hills рядом с Riverton, Вайоминг. Потом Канада по добыче урана вышла на первое место в мире.

### **12.2.1 Американский континент**

#### **Канада**

В последние годы **Канада** является основным производителем урана в мире. Это страна обладает уникальными месторождениями типа «несогласий», отличающимися богатыми и компактными рудами. Общие запасы страны оцениваются в 389 тыс. т природного урана. Основные запасы расположены на Канадском щите, точнее – в бассейне Athabasca на севере Saskatchewan. Они связаны с докембрийскими кварцевыми конгломератами, содержащими браннерит, уранинит и богатый ураном монацит, с жилами, содержащими урановую смолку и с пегматоидными фациями сиенитов и гранитов с уранинитом и ураноторитом (Th, U)SiO<sub>4</sub> · nH<sub>2</sub>O.

Первооткрывателем месторождения урана в Канаде в провинции Alona Bay южнее озера Superior Provincial Park в Онтарио стал Dr. John Le Conte в 1847. Но реально урановая горно-добывающая промышленность стала работать в Канаде в 1932 после открытия залежей урановой обманки в Порте Радий. Рудник с 1933 по 1940 добывал радий, серебро, медь и кобальт. Его закрыли в 1940, но в 1942 вновь открыли под управлением компании Eldorado Mining and Refining для удовлетворения потребностей Манхэттенского проекта. В это время урановая промышленность полностью перешла под контроль государства.

*Порт-Радий (Port Radium) - промышленный посёлок в Канаде, близ Сев. Полярного круга; порт на восточном берегу Б. Медвежьего оз. (Сев.-Зап. территории). В 1933—1960 — добыча урановых и радиево-серебряных руд).*

Важнейший урановый регион Канады – Северные территории.

Онтарио. Обогащённый ураном пегматит начали добывать в Банкрофте в 1952. В 1949 уран был найден в Blind River Elliot Lake в районе Alona Bay добыча началась в 1955. Месторождение представляет собой предкембрианские кварц-галька конгломераты подобно месторождениям урана в Бразилии и Южной Африке Saskatchewan. Жилы урановой обманки обнаружили рядом с озером Beaverlodge, Saskatchewan в 1935, а добычу урана начали в 1953.

Сегодня Бассейн Атабаски на севере Saskatchewan – месторождение и рудник с самыми богатыми урановыми рудами в мире.

В 1947 правительство сняло запрещение на частную горную промышленность, и добыча урана росла в 1950-ых, поощряемая высокими ценами из-за программ по созданию ядерного оружия. Производство достигло максимума в 1959, когда 23 шахты в пяти различных районах сделали Канаду основным экспортёром урана. Но в 1959 Великобритания и США прервали закупки урана. К 1963 работало только семь шахт, в 1972 – три. Позднее урановые бумы случались в 1975 и 2005. Добыча урана в Канаде в 2007 составила 11158 т  $U_3O_8$  и Канада остаётся самым большим производителем урана в мире (23%). Добычу ведёт компания Cameco, которой в основном принадлежит рудник McArthur River/Key Lake JV, выдавший в 2007 8482 т  $U_3O_8$ . Другая 100% собственность Cameco – рудник Rabbit Lake выдал в 2007 1814 т  $U_3O_8$ .

Можно проследить хронологию роста потребности в уране по истории отложений в Большом Медвежьем озере (Канада). В 1930 там была обнаружена смоляная обманка - смесь оксидов урана, и на руднике Порт-радий началась добыча урановой руды с целью извлечения из неё радия. В 1932 налажена технология очистки радия. Из каждой тонны урановой обманки получали 1 г радия и полтонны побочного продукта - уранового концентрата. До 1940 добычу и обогащение урановых руд вела частная компания «Эльдорадо Голд Майнз», находившаяся под контролем американского капитала. Однако радия было мало, и его добыча была прекращена. С 1940 по 1942 разработку возобновили уже с целью получения урана (руды отправляли в США). В 1943 Канада приняла закон, объявляющий государственную монополию на разведку и добычу урана и в связи с этим все акции действующей компании «Эльдорадо Голд Майнз» были приобретены правительством и образована государственная компания «Эльдорадо Майнинг энд Рифай-нинг Компани». В 1949 начато производство чистого  $UO_2$ . В 1951 обогатительная фабрика в Порт Радиуме сгорела, но на её месте была выстроена новая фабрика, а также сооружен гидрометаллургический завод для выщелачивания урана из «хвостов» гравитационного обогащения прошлых лет и текущего производства. В 1958 на гидрометаллургическом заводе химическое осаждение было заменено экстракцией урана из раствора аммиака. К 1959 добыча урановых руд достигла 12,3 тысяч тонн (в пересчёте на оксид), после чего произошёл резкий спад, продолжавшегося до 1965 года (2,8 тысяч тонн). До 1975 года добыча урановых руд держалась на уровне 2,5-3,5 тысяч тонн. Затем начался медленный подъём (в 1982 г. - 8 тысяч тонн, в 1997 - 12 тыс. т в год).

Крупное месторождение урана расположено на северном побережье озера Атабаска, в районе области Бевельрлодж (провинции Саскачеван и Альберта). Добыча урана и золота привела к возникновению посёлка Ураниум Сити. Месторождение урана здесь относится к типу «несогласия», оно считается уникальным по запасам и качеству руд, что обусловлено особой интенсивностью процессов прерудной подготовки, длительным рудообразованием и весьма благоприятными литолого-структурными условиями рудоотложения. В генетическом отношении это низкотемпературное гидротермальное месторождение. Добыча урана здесь прекратилась в 80-х годах 20-го века.



**Рис. 56.** Урановые подземные шахты Канады: Rabbit Lake mine in Saskatchewan (слева), McArthur River (справа).



**Рис. 57.** Новые месторождения урана в канадской провинции Юкон.

Канадские месторождения урана связаны с докембрийскими кварцевыми конгломератами, содержащими браннерит, уранинит и богатый ураном монацит, с жилами, содержащими урановую смолку и с пегматоидными фациями сиенитов и гранитов с уранинитом и ураноторитом. Основные запасы урана сосредоточены в месторождениях

первого типа, развиты в основании нижнепротерозойских отложений в структурной провинции Южная на северном побережье озера Гурон (Онтарио); главные месторождения известны в районе Эллиот-Лейк (Блайнд-Ривер). Месторождения второго типа, первоначально разрабатываемые на радиий, известны в структурных провинции Бэр (восточное побережье озера Большое Медвежье и к юго-востоку от него) и Чёрчилл (северное побережье озера Атабаска и районы к юго-востоку от озера Невольничье); главные месторождения – в районах Порт-Радиий (озеро Большое Медвежье) и Ураниум-Сити (озеро Атабаска). Третий тип представлен в юго-западной части провинции Гренвилл, где связан с интрузиями гренвиллского возраста, и на юге структурной провинции Чёрчилл (район Саскачевана), где ассоциирует с гудзонскими кранитоидами.

Уранодобывающая промышленность Канады базируется на месторождениях, локализованных в докембрийских образованиях Канадского щита. Сюда относится урановорудный район Блайнд-Ривер (севернее озера Гурон). Основные рудные тела локализованы в толще нижнепротерозойских конгломератов, где средняя концентрация урана составляет 0,08%. Месторождения разрабатываются подземным способом, частично - способом подземного выщелачивания.

Известны месторождения и в районе Канадских Кордильер: Близард (запасы 4 тыс.т, содержание урана 0,18%), Тиел (650 т, 0,03%), Рекспар (700 т, 0,066%). Крупные месторождения с высоким содержанием урана обнаружены в северном Саскачеване, где функционируют рудники Мак-Клан-Лейк с годовой добычей 2,7 тыс.т и Сигар-Лейк с уровнем добычи 10,9 тыс.т в год, с высоким содержанием  $U_3O_8$  в рудах (до 20%).



Рис. 58. Аэрофотосъёмка ураноносного региона в провинции Юкон (слева) и месторождение Igor (справа).

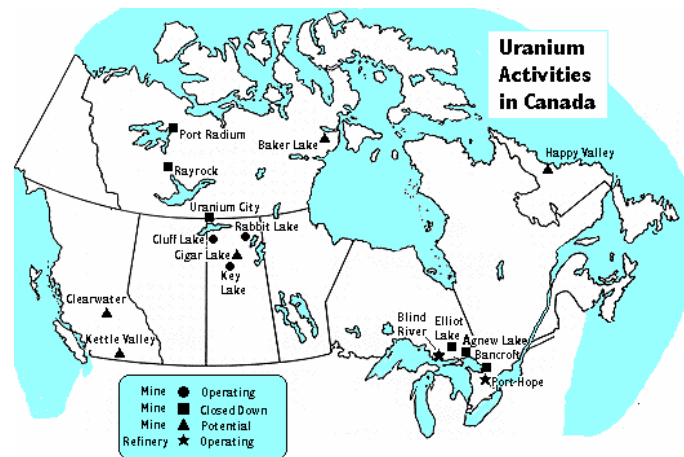


Рис. 59. Карта урановых месторождений Канады.

Небольшой экскурс в развитие урановой промышленности Канады во второй половине 20-го века. В 1953 на базе вновь открытого гидротермального месторождения Биверлодж (провинция Саскачеван) была организована добыча руд и построен гидрометаллургический завод по производству концентратов. Через два года в том же районе стали работать еще два завода в Гуннаре и Лорадо. Особенно быстро развивалась урановая промышленность Канады с открытием месторождения Блайнд-Ривер (провинция Онтарио). В освоении месторождения Блайнд-Ривер принял активное участие американский банкир Джозеф Гиршгорн, который для этих целей совместно с английской компанией «Рио 56 Тинто» создал в 1955 специальную компанию «Рио Тинто Майнинг Компани оф Канада». На базе месторождения Блайнд-Ривер выстроены наиболее крупные в стране урановые рудники. Так, например, рудники, принадлежавшие «Рио-Алгом Ураниум Майнз, Лтд» выпустили в 1960 5151 т концентратов (в пересчете на окись урана). В 1961 из-за неблагоприятной конъюнктуры те же рудники выдали 3170 т оксида урана, в 1963 - 2265 т. Летом 1964 рудники этой компании были закрыты из-за отсутствия контракта на поставку уранового сырья. Самый крупный район урановой промышленности находится в провинции Онтарио. Несмотря на неблагоприятную конъюнктуру рынка в 1962 здесь производилось 75% концентратов страны. В провинции Онтарио на базе месторождения Блайнд-Ривер добыча велась на 11 рудниках, принадлежащих восьми горнопромышленным компаниям. На этих рудниках ежедневно добывалось 32 тыс. г руды, содержащей 0,09-0,11% окиси урана. В 1963 на этом месторождении действовало всего 4 рудника. Число промышленных конгломератных пластов колеблется от 1 до 4. Встречаются также непромышленные пласты -

менее мощные и менее выдержанные. Для переработки урановых руд в течение 1955-1958 выстроено несколько гидрометаллургических заводов общей производительностью 32,6 тыс. т руды в сутки. В этом крупнейшем горнопромышленном районе сосредоточены самые большие заводы страны, принадлежавшие «Консолидэйтед Денисон Майнз» (производительность 5400 т руды в сутки), завод (мощностью 4320 т руды в Лакноре), эксплуатировавшийся «Норспэн Ураниум Майнз», завод в Норднке - собственность «Рио-Алгом Ураниум Майнз» - 3060 т и др. В той же провинции на базе месторождений района Банкрофт в 1956-1958 вошли в строй три гидрометаллургических завода общей производительностью 3870 т руды в сутки. Завод, принадлежавший компании «Бикрофт Ураниум Майнз», перерабатывал пегматиты, содержащие 0,095% окиси урана. Завод в Дайно, выстроенный компанией «Канэдиэн Дайио Майнз», и завод компании «Фарадей Ураниум Майнз» базировались на однородном сырье, содержащем 0,08-0,09% окиси урана, из которого извлекали в концентрат 93% урана. В провинции Саскачеван в районе озер Биверлодж - Атабаска с 1953 г. был введен в строй ряд рудников, принадлежавших различным горнопромышленным компаниям. Для переработки урановых руд в 1953-1957 гг. вошли в строй действующих предприятий три гидрометаллургических завода, самые крупные из них завод в Эльдorado мощностью 1800 т руды в сутки и завод такой же мощности в Гуннаре. Урановая промышленность Канады, созданная для обеспечения сырьем атомной промышленности США, находится в полной зависимости от американских закупок. Если за четыре года (1956-59) производство концентратов увеличилось в 7 раз (с 2,1 до 14,4 тыс. г), то за 1959-66 оно сократилось в 4 раза. В 1967 из-за отсутствия сбыта уранового сырья функционировало лишь четыре рудника, тогда как в 1958 их было 25. Резкое сокращение объема добычи и переработки урановой руды, закрытие рудников и гидрометаллургических заводов повлекло за собой значительное сокращение численности работающих. Только в течение 1960 было уволено почти 50% горняков (из 11,8 тыс. человек осталось 6 тыс.).

К 1959 добыча урановых руд в Канаде достигла 12,3 тысяч тонн (в пересчёте на оксид), после чего произошёл резкий спад, продолжавшегося до 1965 (2,8 тысяч тонн). До 1975 добыча урановых руд держалась на уровне 2,5-3,5 тысяч тонн (в пересчёте на оксид). Затем начался медленный подъём (в 1982 - 8 тысяч тонн).

В конце 20-го века наиболее крупный комплекс урановой промышленности Канады находится в районе Эллиот-Лейк (Блайнд-Ривер), где в конце 50-х годов на площади 48 км<sup>2</sup> действовало 11 крупных рудников и столько же перерабатывающих заводов. В 1983 году с разработкой урановых месторождений и производством урана связаны четыре компании, добывающим руду подземным и открытым способами. Основные районы разработки – в пров. Онтарио (60%) и Саскачеван (40%). Компания “Denison Mines” разрабатывает урановые месторождения в районе Эллиот-Лейк на трёх подземных рудниках («Денисон», «Стернок», «Кен-Мет») производственной мощностью каждого по руде до 19 тысяч тонн в сутки. Компания “Rio Algom” эксплуатирует в районе Эллиот-Лейк три подземных рудника: «Нью-Каирки», «Панел» и «Стенли». Производственная мощность каждого из них по руде 1 - 3 миллионов тон в год. Компания “Eldorado Mines” в 1982 закрыла рудник «Биверлодж» в районе Ураниум-Сити (провинция Саскачеван), и приобрела акции на карьер «Раббит-Лейк», мощностью по руде 0,5 - 1 миллиона тонн в год. Компания “Key Lake Mining Corp.” Эксплуатирует карьер «Ки-Лейк - Гартнер» (район Ки-Лейк в Саскачеван) мощностью по руде 300 тысяч тонн в год.

В начале 21-го века прошла серьёзная перестройка общей структуры добычи. В 2000 прекращена эксплуатация месторождения Ки-Лейк (карьер), которое долгие годы являлось основой канадского уранового производства. В 2001 закончились проекты на месторождениях Клафф-Лейк и Раббит-Лейк. Общая добыча урана упала до 8 тыс. т в 1999. К 2001 г. за 18 лет подготовлено новое уникальное месторождение МакАртур-Ривер с шахтной добычей очень богатых руд со средним содержанием 21% и запасами около 208 тыс. тонн. Также на стабильную добычу с 2000 вышел проект МакКлейн-Лейк с годовой добычей в 2300 т урана. В 2001 два этих объекта произвели 8,5 тыс. т, при низкой категории стоимости - до 34 дол. США за 1 кг. В 2005 начата эксплуатация шахтным способом ещё одного уникального объекта Сигар-Лейк с запасами порядка 135 тыс. т, с богатыми рудами - среднее содержание 18 %.

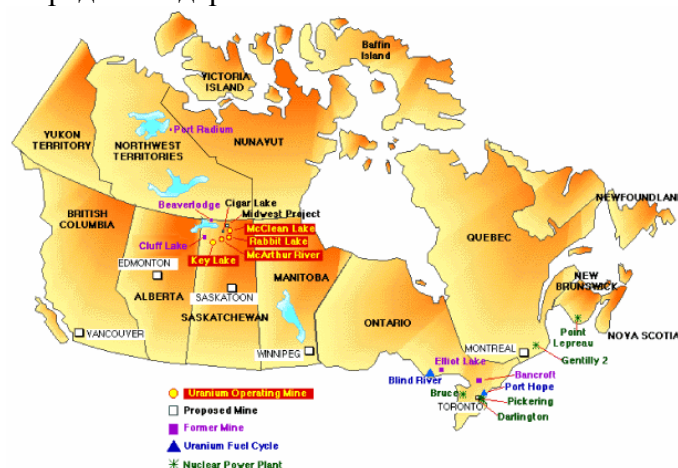


Рис. 60. Урановые месторождения в Канаде.

Резкая интенсификация геологоразведочных работ на уран и золото в начале 21-го века привела к открытию перспективных месторождений, с высоким содержанием урана. Были обнаружены новые месторождения типа «несогласий» и золото-медно-урановых месторождения не выходящие на поверхность (месторождения Ламина (Lumina), Bond, Steel и Игор (Igor)) - все в районе Wernicke, относящейся к территории Юкон. Месторождение Ламина приурочено к зоне разлома, относится к месторождениям типа «несогласия» подобным некоторым месторождениям бассейна Атабаска в северном Саскатчеване.



Месторождение Игор содержит урансодержащий медно-золотой тип минерализации типичный для месторождений Олимпик Дам и Эрнест Генри в Австралии.

**Рис. 61.** Вид рудника МакАртур-Ривер зимой.

Отметим, что самое крупное в мире добывающее предприятие МакАртур-Ривер (70% – Cameco, 30% – AREVA) обрабатывает одноименное месторождение, являющееся одним из крупнейших в мире месторождений типа «несогласия». Уникальность его состоит в чрезвычайно высоком содержании урана в рудах - в среднем 24%.

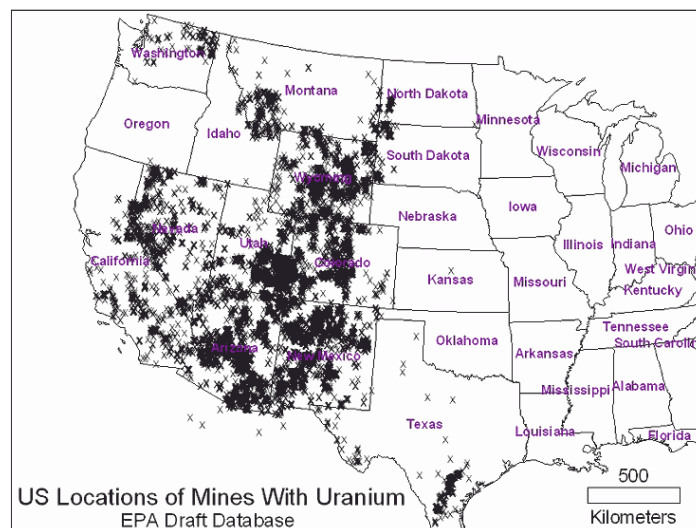
Это примерно в 100 раз больше, чем на известных урановых месторождениях, обрабатываемых горным способом. В 2007 на предприятии было произведено 7201 т урана, столько же и в 2006.

Компания Cameco - самый большой в мире производитель дешевого урана, поставляющий 18% мирового производства урана - управляет тремя шахтами и одной обогатительной фабрикой в этом регионе. Основные шахты: флагман – рудник McArthur River развивающиеся Cigar Lake, Rabbit Lake, обогатительная фабрика и самый большой в мире урановый завод урана в Key Lake. Французский урановый синдикат урана Areva также управляет заводом Mc Clean Lake. Большинство этих шахт - совместные предприятия между Cameco, Areva, и других акционеров. Будущие шахты, находящиеся сейчас в начале строительства, включают Среднезападный Проект Аревы (рядом с озером McClean), и проект тысячелетия Комеко (около Ключевого Озера).

## Соединённые штаты Америки

Большинство урановых руд в США представляют собой отложения в песчаниках, они беднее руд Австралии и Канады, добыча не рентабельна, поэтому в 1980-х многие рудники были закрыты.

В США первая уран/радиевая руда была обнаружена в 1871 в золотоносной шахте недалеко от Central City. В период 1871-1895 этот район выдал 50 тонн высококлассной руды. Регулярная добыча урановой руды в США началось в 1898 на месторождениях карнотита -bearing песчаников на плато Колорадо (штаты Колорадо и Юта), сначала ради извлечения ванадия, а после открытий Кюри, в том же в 1898, и радия. Уран же был побочным продуктом. К 1913 Плато Колорадо, кроме ванадия урана поставляло половину мировой добычи радия. Производство резко уменьшалось 1923, проиграв в рентабельности по урану - бельгийскому Конго, а по ванадию - Перу. Темнее менее, основная американская урановая руда перед Второй мировой войной добывалась именно на ванадиевых рудниках на плато Колорадо. В Корнуолле шахта Южные Земли (South Terras mine) близ города Св.Стефана (St. Stephen) начала добычу урана 1873 и до 1900 выдала 175 тонн руды.



**Рис. 62.** Уран-содержащие шахты США.

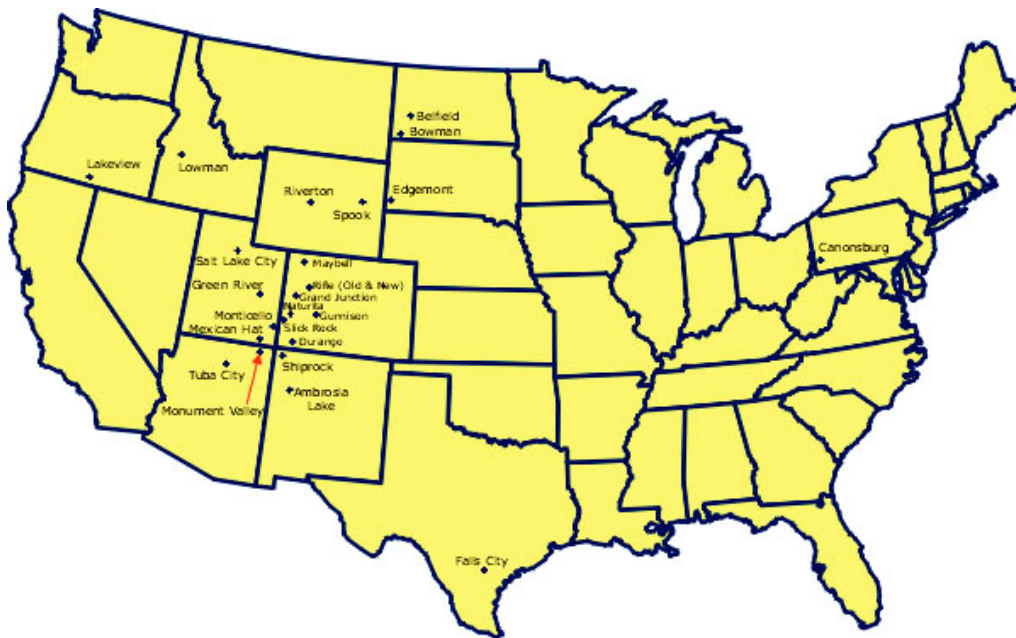
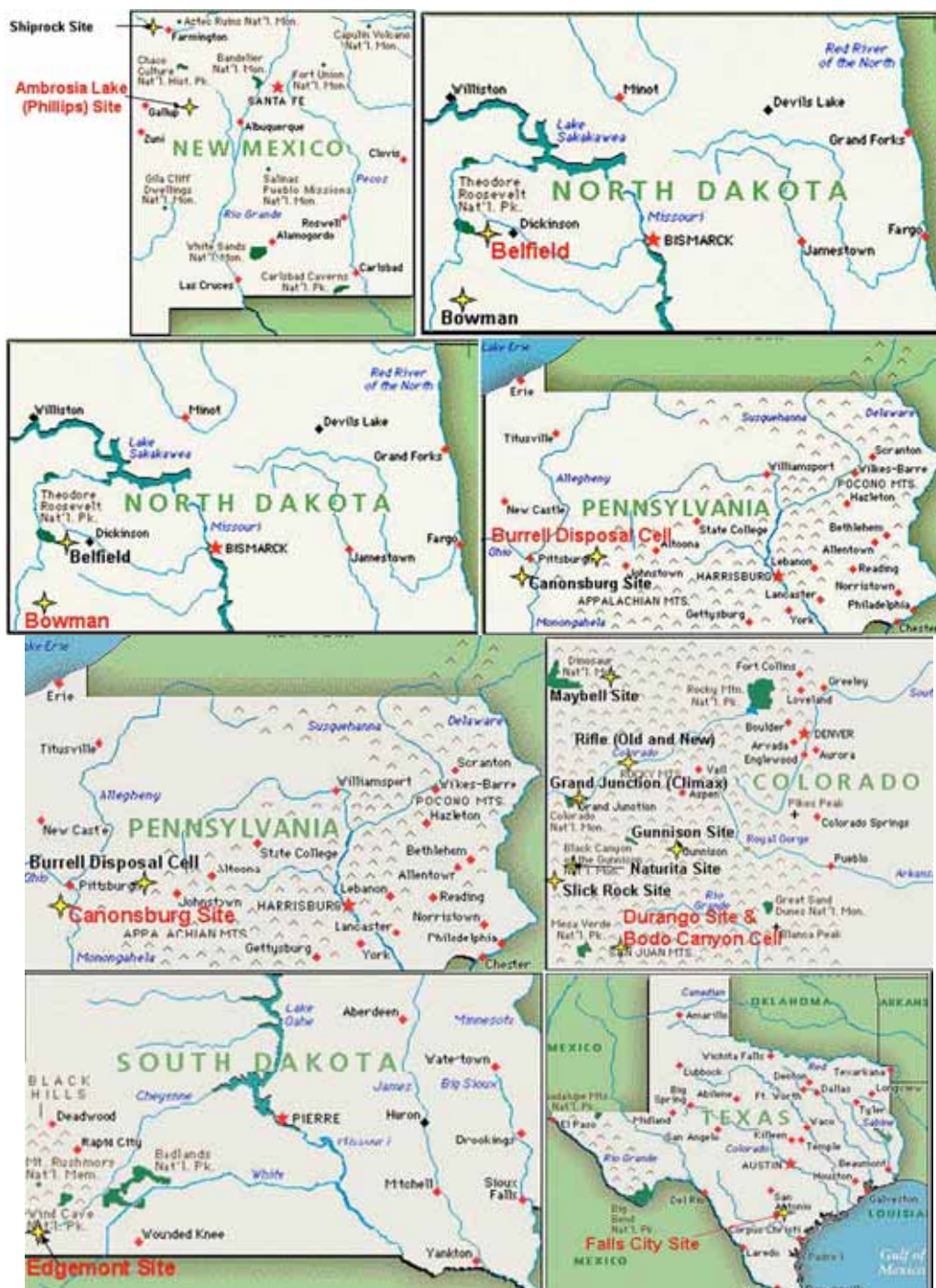


Рис. 63. Наиболее известные урановые рудники США.





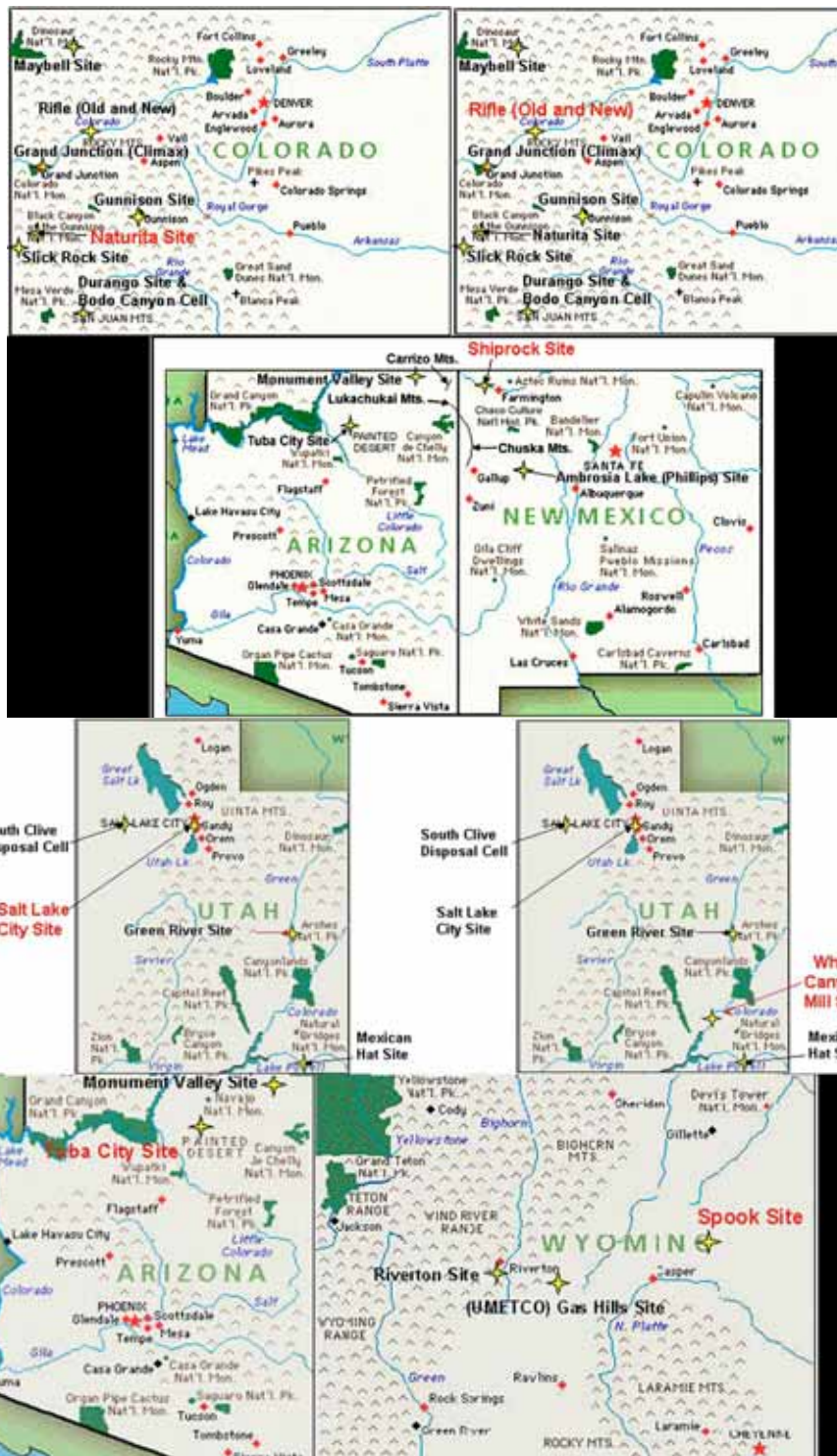


Рис. 67. Месторождения урана в различных регионах США.



Рис. 68. Внешний вид месторождения урана в Нопале на севере Мексики.

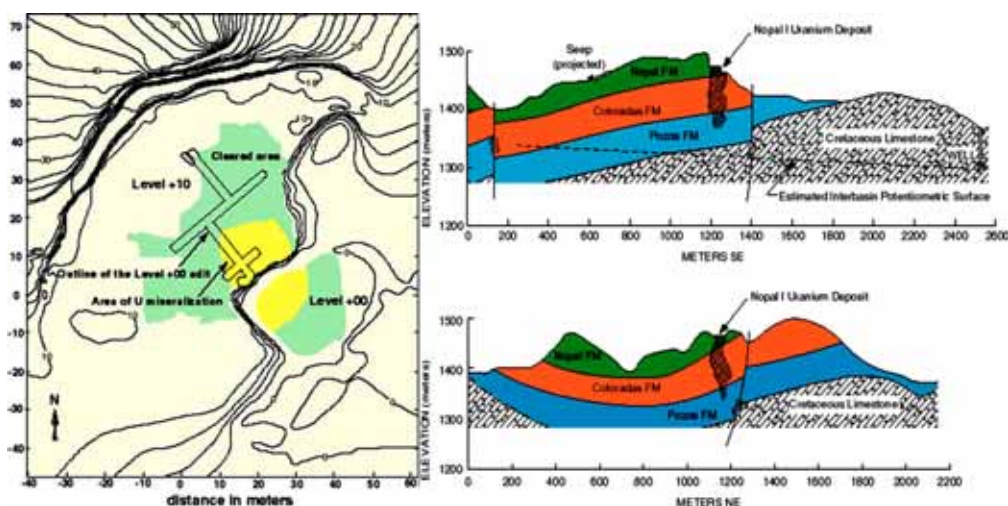


Рис. 66. Схемы месторождения урана в Нопале.

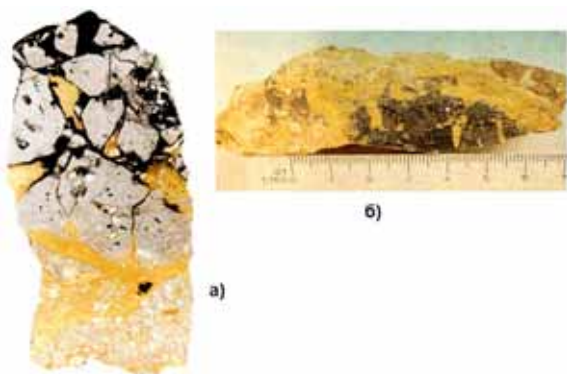


Рис. 67. Образцы из месторождения в Нопале: проникновение осадков уранита по трещинам в породе (слева), образец руды – по мере развития окисления, чёрный цвет превращается в жёлтый.

Общие запасы природного урана на территории США оцениваются в 110 тыс. тонн (первое место в Америке). Главные месторождения урана находятся на плато Колорадо, в межгорных впадинах штата Вайоминг и в западной части прибрежной равнины Мексиканского залива. Основным источником добычи урана являются осадочные месторождения плато Колорадо. Здесь имеются относительно бедные руды, карнотит, содержащий в среднем 0,25% оксида урана и 2% ванадия. Карнотит встречается в обширных районах плоскогорья Колорадо, особенно в штатах Юта, Колорадо, Аризона и Нью-Мехико. Крупными месторождениями являются Амбросия-Лейк, Ред-Каньон, Ми-Вида, Хеппи-Джек и Моньюмент. Месторождения богатых урановых руд в первичных отложениях, главным образом урановой смоляной руды, встречаются в США в ограниченном масштабах (штат Айдахо и на верхнем полуострове озера Мичиган). На острове принца Уэльского (Аляска) обнаружено месторождение урана Росс-Адамс, имеющее ураново-ториевую минерализацию.

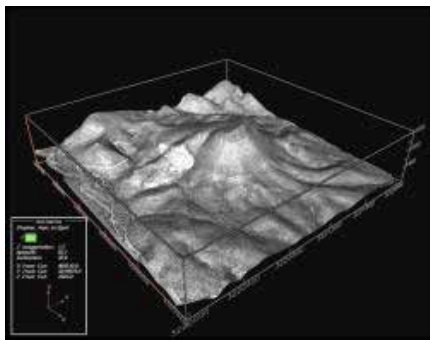
Рис. 68. Добыча урановой руды в современной шахте (McArthur Rive, США).



В настоящее время известно 60 мелких урановых месторождений песчаникового типа, пригодных под способ подземного выщелачивания. Сейчас добыча урана в США ведется на месторождениях: Рено Крик, Кроу-Бьютт, Алта-Меса, Смит-Ранч/Хайленд, Кингсвилл-Дом и Васкес, а также на предприятии Уайт Меса, где производство уранового концентрата осуществляется из различных источников. Месторождения Кроу-Бьютт и Смит-Ранч/Хайленд обрабатывают методом подземного выщелачивания. Во Флориде и Калифорнии уран получают в качестве побочного продукта при добыче фосфатов. Полагают, что вплоть до 2010 сохранится годовой уровень 1200 т. Урановая горно-добывающая промышленность резко уменьшилась после закрытия в 1992 карьеров Шерли Базин, Вайоминг, а затем и полностью прекратилась. Добыча продолжилась исключительно методом выщелачивания в Вайоминге и смежном Штате Небраска, а также в Техасе.

## Мексика

В Мексике урановое оруднение находится в Пласер-де-Гваделупа, в восточной части Чиуауа. Рудные минералы представлены уранинитом, пиритом, самородным золотом и магнетитом. В настоящее время Мексика уран не добывает. Однако, в последнее время одно из месторождений – Nopal в районе Sierra Peña Blanca на севере Мексики (50 км от города Chihuahua City) – привлекло внимание учёных. Месторождение очень компактно (вертикальный столб) с высоким удержанием урановой руды. Существовавшая здесь некоторое время шахта извлекла основную часть урана, но то что осталось, оказалось очень полезным для научных исследований.



**Рис. 69.** Математическая модель распространения радионуклидов вокруг залежей урановой руды в месторождении в Нопале (Мексика).

Дело в том, что геологическое строение месторождения и вмещающих пород аналогично породам, залегающим в горах Юкка (Yucca Mountain), штат Невада, США, где строится самое большое в мире хранилище высокорadioактивных отходов ядерной индустрии. Поэтому Nopal является хорошей моделью возможного распространения радионуклидов за сотни тысяч и миллионы лет. Тем более, что уран в залежах находится в том же химическом состоянии, что и захораниваемые отходы. Они залегают на 200 м выше водного горизонта и отделены от него слоем породы, характерной и для Юкки. Поэтому, измерения в Нопале проникновения радионуклидов из рудного тела в грунтовые воды и в среду обитания позволяет экспериментально проверить эффективность геологических барьеров имеющихся и в районе захоронения радиоактивных отходов в Неваде. Другое направление исследований – ветровая эрозия и перенос радионуклидами воздушными массами.

## Бразилия

В Бразилии уран обнаружен в золотоносных конгломератах в Сера-де-Джакобина в виде уранинита, совместно с золото-пиритовой минерализацией. Джалматиновые россыпи (танталаты урана и кальция) найдены в штате Минас-Джейрайс. Содержание закиси-окиси урана в джалмаите 0,15-0,25%, но запасы велики. Месторождение Лагол-Риал даёт годовую добычу 0,3 тыс.т. По запасам урана Бразилия находится на шестом месте в мире. На 1.01.2005. они, по данным МАГАТЭ, составляли 278,7 тыс.т, из которых 50,2% относятся к стоимостной категории менее 40 дол./кг. Прогнозные ресурсы категории P1 оцениваются в 300 тыс.т. К тому же недавно в бассейне реки Амазонки было обнаружено крупное месторождение урана площадью 600 квадратных километров. Компания Galvani Mineração, добывающая уран в бразильском штате Сеарá (шахта Itataia) собирается увеличить производство руды в четыре раза: с 380 т в настоящий момент до 1,5 тыс. т/г. к 2014.

С 1960-х по начало 1990-х годов в Бразилии осуществлялась масштабная программа в области ядерной энергетики и технологического развития. С этой целью проводились активные поисковые работы на уран, благодаря которым на четверти территории страны были выявлены урановорудные месторождения и проявления. Основные месторождения урана находятся в штатах Баия, Сеара, Парана и Минас-Жерайс. Все они принадлежат компании Industrias Nucleares do Brasil (IND), осуществляющей добычу и производство урана в Бразилии. По данным компании IND в перечисленных штатах суммарные запасы урана стоимостной категории менее 80 дол./кг составляют 262,6 тыс.т. Ещё примерно 127 тыс.т урана сосредоточено в месторождениях других штатов. В сумме запасы Бразилии оцениваются в 389,6 тыс.т урана. Оработка 65% запасов урановых руд может осуществляться открытым, 21% – подземным способом, 14% – скважинным подземным выщелачиванием; 60% урана можно получать попутно с добычей апатита и производством фосфорной кислоты.

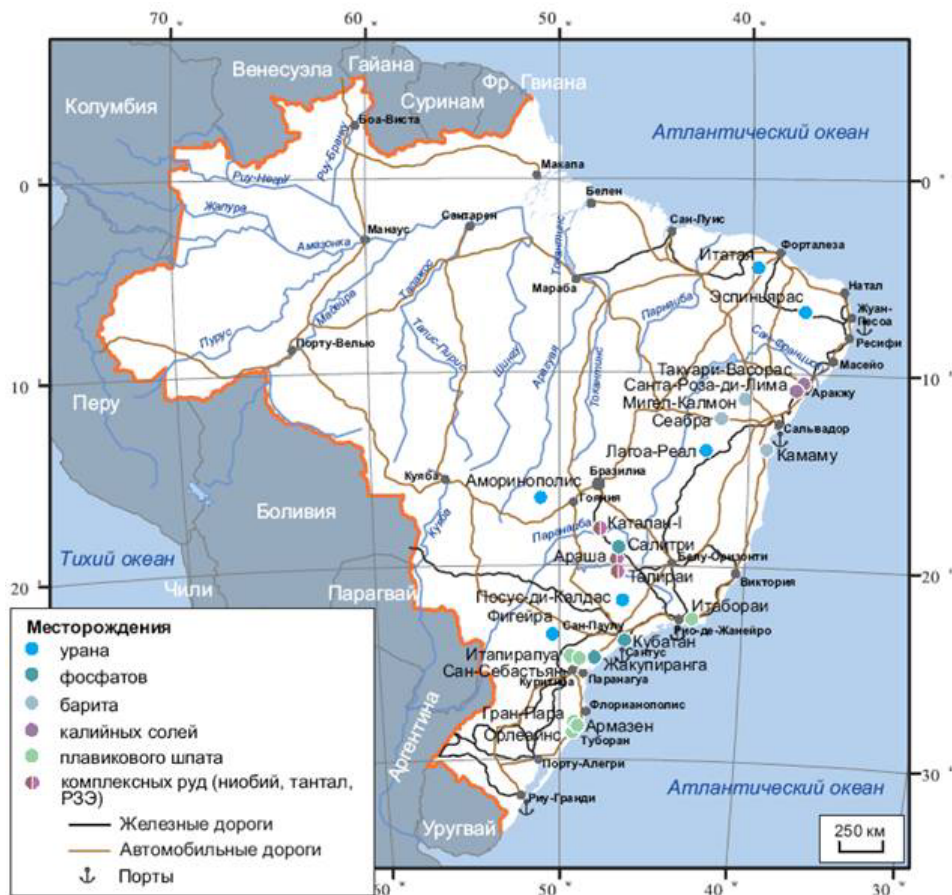


Рис. 70. Месторождения полезных ископаемых в Бразилии.

Табл. 38. Запасы и ресурсы урана Бразилии по данным МАГАТЭ на 1.01.2005, тонн

	Стоимостная категория		
	<40 дол./кг	<80 дол./кг	<130 дол./кг
Запасы В+С1	139900	157700	157700
Запасы С2	0	73600	121000
Итого	139900	212300	278700
Ресурсы Р1			300000
Ресурсы Р2			500000

Табл. 39. Основные месторождения урана Бразилии

Место-рождения, группы место-рождений	Масштаб	Среднее содержание урана, %	Запасы В+С1	Промыш-ленный тип	Степень освоенности
Группа место-рождений Лагоа-Реал (Lagoa Real)	крупное	0,25	79712	Мета-соматический	Разраба-тывается
Группа место-рождений Санта-Китерия (Santa Quiteria)	крупное	0,085	67246	Мета-соматический	Не освоено
Группа место-рождений Посус-ди-Калдас (Pocos de Caldas)	крупное	0,29	22700	Вулканический	С 1997 не разраба-тывается
Место-рождение Фигейра (Figueira)	среднее	0,15	6800	Песчаниковый	Не освоено
Место-рождение Эспиньярас (Espínharas)	среднее	0,085	8500	Мета-соматический	Не освоено
Место-рождение Аморинополис (Amarinópolis)	мелкое	н/д	20000	Песчаниковый	Не освоено
Итого			186958		



**Рис. 71.** Центр урановой промышленности Бразилии (недалеко от городов Caetité и Lagoa Real, на юге штата Bahia).

В пределах крупнейшего урановорудного района Лагоа-Реал (Lagoa Real), штат Баия, выявлено 33 урановых месторождения. Запасы района составляют около 80 тыс.т урана. В настоящее время ведётся карьерная отработка месторождения Кашуэйра (Cachoeira) из этой группы; его запасы составляют 12,7 тыс.т, среднее содержание урана в рудах – 0,3%. Ещё один крупнейший урановорудный район – Итатайя (Itataia), штат Сеара (Ceara), геологические запасы которого оцениваются в 142,5 тыс.т урана.

К отработке месторождения Санта-Китерия (Santa Quitéria), расположенного в этом районе, планировалось приступить в 2007. Его эксплуатационные запасы составляют 79,5 млн т руды, содержащей 67,2 тыс.т урана и несколько миллионов тонн фосфатного сырья ( $P_2O_5$ ). Добыча урана в Бразилии ведётся с 1981. В 2007 в стране добыто 1693 т урана.



**Рис. 72.** От шахты к реактору – карта ядерной индустрии Бразилии.



**Рис. 73.** Uranocircite  $Ba(UO_2)_2(PO_4)_2 \cdot 12H_2O$  – урановый минерал, найденный в Бразилии.

В стране имеется два уранодобывающих предприятия компании IND: Посус-ди-Калдас (Pocos de Caldas) и Лагоа-Реал (Lagoa Real). Первое до 1997 занималось отработкой месторождения Осаму-Уцуми (Osamu Utsumi), второе – разрабатывает месторождение Кашуэйра (Cachoeira) из группы Лагоа-Реал. За период с 1981 их суммарная добыча составила 2200 т урана. В настоящее время ожидается ввод в действие нового предприятия по добыче урана из фосфатов Itataia производительностью в 325 т урана в год.



**Рис. 74.** Карьер Elkedra – открытая добыча урана в Бразилии.

Бразилия обладает собственной оригинальной высокоэффективной техникой обогащения урана по  $^{235}U$  (центрифужная методика), что позволит ей изготавливать топливо для собственных и аргентинских реакторов АЭС из собственного урана. Рудник Роços de Caldas (Minas Gerais) закрыт в 1997, разрабатываются месторождения Lagoa Real / Caetité (Bahia) с запасами 79712 тU, при 0.25% U, Itataia project, Santa Quitéria (Ceará) с 67246 тU (в фосфатах), при 0.085% U и N.N. (Pará).

## Аргентина

В Аргентине обнаружено несколько небольших месторождений урана, в основном гидротермального происхождения, в провинции Мендоса, в районе Маларгуэ. Одно время в Аргентине добывали руду из 12 месторождений, расположенных в восьми штатах страны. Добытая руда поступала для переработки на опытную установку гидрометаллургического производства. Добыча была небольшой – 34 т в 1964.



Рис. 75. Карта Аргентины

Разрабатывались месторождения Сьерра-Пинтада (запасы 12 тыс.т, содержание 0,12%) Mendoza's San Rafael районе, Дон-Отто, Родольфо на западе провинции Catamarca; разработка Серро-Соло планируется в ближайшем будущем. Запасы месторождения Cerro Solo, в провинции Chubut составляют 4600 тонн  $U_3O_8$  (3900 тU). Среднее содержание урана в руде 0.35%  $U_3O_8$ . Запасы месторождения «Гельвеция» площадью 148 кв. км оценивают в 806 тыс. тонн с уровнем содержания 0,076% по

$U_3O_8$ . Оруднение имеет место в разрозненных насыщенных формациях в известняковых брекчиях, а также на нескольких участках на протяжении 20-км пояса речных песчаников. Запасов урана на рудниках "Сьерра-Пинтада" и "Серро-Соло" (2620 тыс. тонн и 5020 тыс. тонн, соответственно) достаточно для удовлетворения потребностей аргентинских АЭС в топливе в течение более сотни лет. Сейчас ведётся интенсивная разведка перспективных месторождений урана в провинции Ла Рьоха. Недавно (2008) обнаружено новое месторождение урана в департаменте Jáchal (провинция San Juan). В настоящее время единственным горнодобывающим предприятием является San Rafael производительностью в 120 т в год (в пересчете на уран), открытое в 1979. В различные периоды времени в Аргентине действовали еще шесть предприятий по добыче урановой руды. Предприятие по переработке и обогащению урановой руды находится в Кордове.

Табл. 40. Производительность рудников Аргентины.

Предприятие	Период работы	Производительность (тонн урана в год)
Malargue	1954-1988	85
Don Otto	1964-1981	40
Los Adobes	1977-1985	55
Los Gigates	1982-1989	45
La Estela	1985-1990	20
Los Colarados	1993-1995	30

В 1995 Аргентина полностью прекратила добычу собственного урана, однако после 2007 (после увеличения цены на килограмм урана с 25 до 312 долларов) добыча урана была начата на новом руднике Дон Отто в провинции Сальта (объём добычи 30 тонн в год), началось и размораживание некоторых старых и подготовка к добыче некоторых новых рудников (месторождение Лагуна-Сирвен на севере провинции Санта-Крус и Мина-Франка в провинции Катамарка). Разрешение на эксплуатацию рудника «Сьерра-Пинтада», остановленную в 1998 году из-за высоких затрат до сих пор (2008) не получено по экологическим причинам. В Аргентине работы на некоторых рудниках Don Otto (Salta province), Los Colorados (La Rioja province) и Helvecia property (La Rioja province, запасы 519 тU, при 0,064%U) сейчас остановлены. Разрабатываются месторождения: Helvecia property (La Rioja province) с запасами 519 тU при 0.064% U, Sierra Pintada/San Rafael mine (Mendoza province) с запасами 2440 тU, при 0.19% U, Huemul (Mendoza) и Cerro Solo deposit (Chubut) с 2200 тU, при 0.35% U.

## Чили

В Чили геологическая разведка урана и тория и проведена только на севере страны. Запасы урана составляют 5 тысяч тонн. По оценкам геологов, запасы урана в Чили равны 50-200 тыс. тонн. Недавно Национальное управление по авиации и исследованию космического пространства США, заявило о том, что в департаментах **Боливии** Potosí и Oruro существуют огромные залежи минеральных ресурсов, в том числе золота, серебра, урана и меди. В Перу существуют два месторождения: Macusani project (Puno Dept.) с запасами 1790 тU, содержания 0.1% U и Corachapi deposit 2800 т U, при 0.27% U. В **Парагвае** рудник Yuty Property (на северо-востоке страны) содержит 1962 тU, при 0,025% U, в **Колумбии** месторождение Berlin deposit - 14,615 тU, при 0.11% U.

## 12.2.2 Африка

В Африке общие запасы урана составляют 430 тыс. т., из них половина находится в качестве попутного компонента на месторождениях золота. Добыча урана активно ведётся в Нигере, Намибии и Южно- Африканской Республике (ЮАР). В 2000 добыто 6,5 тыс. т. Годные для разработки месторождения урана есть в Габоне, Алжире, Конго, Малави, Сенегале, Сомали, Танзании, Мозамбике, Замбии, Зимбабве,

Центрально-Африканской республике, Камеруне и Ботсване. Эти месторождения легче разрабатывать, чем месторождения во многих других странах мира. Так, если в Канаде урановые рудники находятся на глубине 800 метров, то африканские урановые месторождения расположены неглубоко в песчаниках, что позволяет добывать уран открытым способом. Около 20% мирового уранового сырья добывается в Африке, где в 1996 было добыто 8376 т. Самым старым в Африке является рудник Shinkolobwe в Катанге (Katanga, бельгийское Конго, теперь Область Shaba, Заир) открытый в 1913 (эксплуатировался Union Miniere du Haut Katanga). Старой является и шахта Veira (ранее Португальская провинция, теперь Мозамбик).



**Рис. 76.** Урановая шахта Шинколобве в Конго, из урана которой была изготовлена атомная бомба Малыш, сброшенная на Херосиму: открытые разработки урана в 1920 (слева), современный вид шахты (справа).



**Рис. 77.** Карты Конго: Бельгийское Конго в 1930 (слева) и современное Конго (справа).

## Конго

Демократическая республика Конго (бывший Заир, не путать с Республикой Конго!) – до 2-ой мировой войны была важнейшим районом добычи урана в Африке. Центром добычи являлся рудник Шинколобве в провинции Катанга в юго-восточном углу Конго, открытый в 1915, когда Конго была бельгийской колонией. Здесь добывалась богатая урановая смоляная руда, содержащая до 50-60% оксида урана. Всего на руднике Shinkolobwe добыто 25600 тU. В 2000 шахта была закрыта указом президента, и официальная добыча урана здесь прекращена. Однако нелегально работы на месторождении продолжают «чёрными» старателями.

## ЮАР

Добыча урана в Южно-Африканской республике получила быстрое развитие в условиях повышенного спроса на него в ситуации «холодной войны» и усиленной гонки вооружений. К концу 50-х годов в стране действовало 17 урановых заводов, перерабатывающих руду с двух десятков рудников в урановые концентраты. Запасы урановых руд оцениваются свыше 1 млрд т, что в пересчёте на оксид урана составляет 400 тыс т. (2% мировых запасов). В ЮАР уран встречается во всех золотых месторождениях Витватерсранда и в Оранжевой республике и добывается в качестве побочного продукта при промывке золота. К крупнейшим рудникам, сосредоточенным преимущественно в пределах докембрийской группы Витватерсранд, относятся Вестерн-Ариез, а также ЕРКО Дивизион, Палабора, Рандфонтейн и Вааль-Ривер, где в основном обрабатываются "хвосты" золотодобывающего производства.

Содержание урана в конгломератах, которые разрабатываются для добычи урана и золота небольшое, 0,025% (в пересчёте на закись-окись урана). В 80-х годах добыча золота попутно давала 700 т урана в год. Иногда побочное производство урана становится важным условием продления сроков эксплуатации золотодобывающих рудников. Другой источник урана – ураново-молибденовые отложения. Разведка урановых руд, проведенная 1970-1980, в бассейне Карпоо (Karoo Basin) – обширном поясе, охватывающем районы Aberdeen, Beaufort, и Sutherland и Waterval Farm - показала, что доказанные запасы составляют 39000-50590 ураново-молибденого концентрата с содержанием 1690-1820 ppm оксида урана, что соответствует 10-

21 миллионну фунтов оксида урана. Перспективные запасы – 1152115 урано-молибденовой руды при содержании оксида урана 1788 ppm. Были заложены пять шахт, но решения о разработке этих месторождений были приняты только в 2006. Канадская компания SXR Uranium One в 2007 начала добывать уран в руднике «Доминион Рифс» (Dominion Reefs). В 2000 из-за значительного снижения цен на золото добыча урана снизилась ниже 1 тыс. т. Себестоимость 1 кг урана из шахт глубиной до 3 км средняя 1-й группы 34-52 дол. США.

В настоящее время разрабатываются месторождения: Hartebeestfontein/Buffelsfontein, Randfontein, Gauteng, Beaufort West deposit - Karoo Basin, Springbok Flats deposit, Vaal River area mines, Bonanza South deposit (Klerksdorp area), Dominion deposit (Klerksdorp area), Rietkuil deposit (Klerksdorp area), Ryst Kuil Uranium Project, Denny Dalton uranium/gold project, Cooke Section / Old Randfontein Section, Western Rand Joint Venture projects, Mintails West Rand tailings project, East Rand tailings project, Blyvooruitzicht tailings project, Southern Free State Goldfield, Waterval project и Henkries deposit. На рудниках Palabora и Western Area добыча урана сейчас не ведётся.

Месторождение Beaufort West deposit - Karoo Basin имеет запасы 23000 тU при содержании 0.08% U, месторождение Springbok Flats deposit - 18000 тU при содержании 0.06%-0.1% U, месторождение Bonanza South deposit (Klerksdorp area) 270 тU, при содержании 0.0076% U, месторождение Ryst Kuil Uranium Project - 30385 т U, месторождение Denny Dalton uranium/gold project 9350 тU, при содержании 0.03% U, месторождение Southern Free State Goldfield - 20,885 тU, при содержании 0.011% U, месторождение Henkries deposit - 1,431 тU, при содержании 0.034% U, месторождение Доминион (канадская Uranium One) имеет установленные ресурсы 18270 тU, при среднем содержании 0,083%, а предполагаемые ресурсы 76620 тU при содержании 0,053% (установленные здесь ресурсы золота 28,5 т).

## Нигер

Нигер располагает 9% мировых запасов урана (60 тыс. т, добыча ведётся с 1971). Разрабатываются месторождения палеозойско-мезозойского платформенного прогиба на юго-западных склонах массива Air (Имурарен, Мадауэла, Арлит, Акута, Афасто, Азелик). Известны месторождения: Arlit, Akouta, Imouraren project, Azelik deposit (Teguidda deposit), Agadez region, In Gall property, Madaouéla deposit и Arlit region.

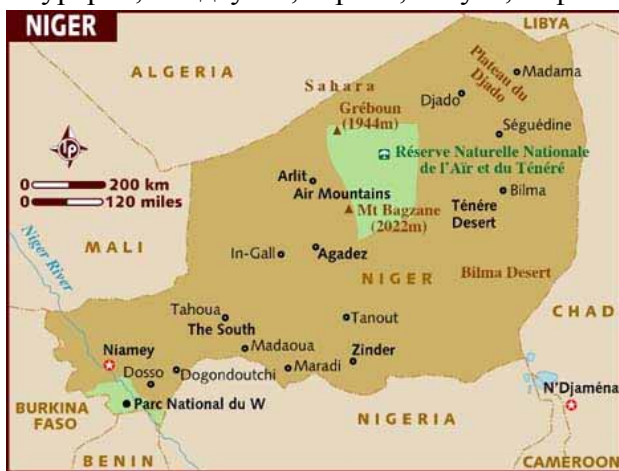


Рис. 78. Месторождения урана в Нигере.

Два первых из них дают 7,5% мировой добычи урана. Типичное содержание урана в рудах 0,1 – 0,42%  $U_3O_8$ , есть и более богатые руды, но они расположены на больших глубинах (Считается, что самые богатые урановые руды Африки залегают именно в Нигере). На этих месторождениях к 2007 добыто 100000 тU. Из них 56000 – в подземных шахтах и 44000 – в открытых карьерах. Залежи урана в Нигере открыты французскими геологами при поиске меди в

Tim Mersoi Бассейне вокруг Azelik, методами радиометрии и аэрофотосъёмки. При обследовании западных склонов Air Mountains (южная оконечность пустыни Сахара) в 1957 были открыты урановые месторождения Azélik и Abakorum. Затем в песчаниках были открыты месторождения Abokurum (1959), Madaouela (1963), Arlette, Ariege, Artois & Tassa/Taza (1965), Imouraren (1966) и Akouta (1967). В 1960 Нигер получил от Франции независимость, но добыча урана продолжалась. Урановые перспективы этой страны очень хорошие – прекрасная геология, наличие больших геологически не исследованных территорий и активная поддержка правительством урановой промышленности.

Начиная с 1971 французская компания Société des Mines de l'Air (SOMAIR) отрабатывает в основном месторождение 'песчаникового' типа Таза (Taza) в рудной провинции Арлит (карьер 60 м глубиной). Средние по содержанию руды (0,30-0,35%) даже при карьерном способе отработки делают себестоимость получения средней - 34-52 дол. США за кг. Добыча: 2100 (1981), 1565 (2006) тU/год – всего 44000 тU. Карьер Artois глубже (90 м), а руды беднее (0.20 - 0.25%).

Урановые месторождения находятся в провинциях Arlit и Akouta, расположенных на севере Нигера. Разрабатывает их Французская компания Cogema. Запасы - более 53000 т урана, в 2002 выдано 3076 т урана. Вся продукция переправляется в г. Котон (Бенин). Запасы шахты Arlit mine на Air Massif, которой владеет Société des Mines de l'Air (SOMAIR), оцениваются в 34500 т урана, при производительности 1400 т/год. Шахта Akouta в 6 км южнее Arlit (вблизи Акокан) принадлежит Cie. Minière D'Akouta (COMINAK), эксплуатируется с 1974, добыча ведётся на глубине 250 м, содержание урана 0,45-0,55%. Здесь запасы урана 52000 т, производство 1870 тU/год (2006). На 2005 доказанные ресурсы категории RAR оценивались как

173000 тU по цене менее 40\$/кг, плюс 7000 т по цене 80\$/кг и геологические ресурсы 45000 тU по себестоимости 80\$/кг. Все – в песчаниках. В 2005 Нигер добыл 3434 тU.

В 2006 Areva NC начала предварительные работы на большом месторождении Imougaeren, 80 км южнее Arlit. Его размеры 8x2,5 км, рудное тело залегает на глубине 110 м, его максимальная толщина 60 м, содержание урана в руде 0,11%U, запасы – 146000 т. К 2011 производство методом подземного выщелачивания должно достигнуть 4000 тU/год – самое большое производство урана в Нигере. В 2006 Китай (China National Nuclear Corporation, CNNC) получил лицензию на добычу 12790 тU на месторождении Abokorum в регионе Agadez и 6190 тU на месторождении Madaouela в регионе Arlit и месторождении Azelik югозападнее of Imougaeren, где создаваемые шахты Teguida собираются в 2010 добывать 700 тU/год. Teguida располагает ресурсами 13000 тU при содержании 0.2%. Запасы месторождения Azelik deposit (Teguida deposit), область Agadez region 12,764 тU, месторождения In Gall property - 1,688 тU при содержании 0.012% U, месторождения Madaouéla deposit, Arlit region - 6,191 тU.

Сейчас (2008) добыча урана в Нигере осуществляется на трех месторождениях: Арлит и Таму, оператором которых является компания Société des Mines de l'Air (SOMAIR), и Акута, разрабатываемое компанией Compagnie Minière d'Akouta (COMINAK). Обе компании контролируются французской AREVA. В 2007 году добыча урана в Нигере составила 3155 т, понизившись по сравнению с 2006 годом на 8%. Это снижение обусловлено падением добычи урана на месторождении Акута почти на четверть, до 1404 т. Для подъема уровня добычи урана компания COMINAK планирует подключить к эксплуатации новое месторождение Афасто. Рост добычи урана компанией SOMAIR связан с её увеличением на месторождении Таму. В ближайшее время Нигер планирует довести добычу урана в стране до 10,5 тыс.т в год. Рост добычи урана более чем в 2,5 раза связывают с разработкой месторождения Имурарен совместно с компанией AREVA и месторождения Тегвида совместно с China Nuclear International Uranium Corp. (Sino-U). Первое планируется ввести в строй в 2011, мощность – 4000 т урана в год; второе - в 2010, ежегодное производство составит 700 т в год.

## Намибия

По запасам урана, Намибия находится на третьем месте в Африке и входит в первую пятёрку производителей урана в мире (10% мирового производства урана). Разрабатывается ряд месторождений рудного района Россинг в протерозойских отложениях Дамарского складчатого пояса. Восемь месторождений урана, сосредоточены в пустыне Намиб, в прибрежных районах региона Эронго, а именно "Трекопье", "Кляйн-Трекопье", "Энго-Велли", "Кляйн-Шпитцкопп", "Россинг" и "Лангер-Хайнрих". В настоящее время в Намибии разрабатываются месторождения: Rössing, Langer Heinrich mine, Trekkopje Uranium Project, Klein Trekkopje deposit, Valencia deposit, Klein Spitzkoppe deposit, Engo Valley Uranium Deposit, Tubas and Tumas tenements, Etango project, Husab property, Marenica.

Россинг - один из самых больших открытых карьеров в мире с хорошо определёнными запасами. Добыча ведётся открытым способом, причём карьер роется в необычайно твёрдых породах. Месторождение даёт 7.7% мировой добычи урана. Россинг расположен близ города Arandis в пустыне Намиб (область Erongo) в 70 км от прибрежного города Swakopmund (Единственный глубоководный порт Намибии - Walvis Bay - находится в 30 км к югу от Swakopmund). Отложения урана здесь – интрузивный депозит, с интрузивными породами, включающими аляскит, гранит, пегматит и монзонит. Отложения подобного типа есть в Palabora (ЮАР), Pimausaq (Гренландия) и Холм Радия (Южная Австралия). Добыча ведётся с 1976 (Компания **Rössing Uranium Ltd** создана в 1970). Запасы урана в бедных (0,03%) рудах порядка 50000 тыс. т. Возможная производительность 4000 т/год. Годовая добыча 3147 (2005), 3067 (2006), 2582 (2007) тU/год. Себестоимость добычи средняя - 34-52 дол. США за 1 кг.



**Рис. 79.** Месторождения урана в Намибии.

В 2006 начались разработки месторождения Трекопье в Арандисе. Месторождение простирается на 35 км вдоль геологического объекта, сопрягающегося с урановым рудником Россинг и находится в 40 км от уранового месторождения "Лангер-Хайнрих". Подтвержденные запасы составляют 20 млн фунтов оксида урана. Возможно, этот рудник станет крупнейшим производителем урана в Африке (планируется добывать 3300 тU/г). Однако добыча урана может оказаться экономически невыгодной в пустынях, не имеющих собственной системы водоснабжения, поскольку для функционирования рудника необходимо сооружение трубопровода. Производство урана на месторождении Langer Heinrich австралийской компанией Paladin Energy в 2008 составило 1112 тонн.



**Рис. 80.** Интрузия урановых минералов в гранит (Намибия).

Месторождение Valencia находится на расстоянии от рудника Россел 35 км вдоль геологического пласта и на расстоянии 40 км к северу от месторождения Langer Heinrich. Залежи руды представляют собой урановую минерализацию гранита (интрузия в аляскит), как это имеет место и в Росселе. Рудное тело размером 720x520x 200 м, залегает на глубине 360 м.

Подтверждённые ресурсы 18800 т  $U_3O_8$  (16000 тU) при содержании  $U_3O_8$  0,22 кг/т. Канадская компания разрабатывает Валению открытым способом. Месторождение Klein Spitzkoppe deposit, Karibib District содержит 1217 тU, при содержании 0.024% U, месторождение Engo Valley - 1638 тU при содержании 0.029% U, месторождение Tubas and Tumas tenements - 14923 тU, при содержании 0.019% U, месторождение Etango A anomaly – 25731 тU, при содержании 0,018%U, месторождение Husab property (Ida Dome prospect) – 119 тU, при содержании U 0,021%, месторождение Marenica - 13,192 тU, при содержании 0.012% U.

Сейчас (2008) добыча урана в Намибии осуществляется на двух месторождениях: Россинг и Лангер-Хейнрих. В 2007 году суммарная добыча урана в Намибии составила 2878 т, что на 6,2% ниже, чем 2006 году, когда она составила 3067 тонн. Падение добычи обусловлено уменьшением производства на руднике Россинг. На месторождении Россинг добычу ведет намибийская компания Rössing Uranium Ltd, владельцем которой является британская компания Rio Tinto. В 2007 уровень добычи снизился по сравнению с 2006 на 29% и составил 2582 т. Это связано с техническим перевооружением рудника в плане роста его производительности. Компания планирует увеличить добычу до 3800 т путём внедрения технических ноу-хау, открытию новых карьеров и введению новых средств переработки руды. На месторождении Лангер-Хейнрих, принадлежащем австралийской компании Paladin Energy, в 2007 было получено 269 т урана. Компания ведет работы по расширению проектной мощности предприятия с 1000 т/год до 1423 т/год.



**Рис. 81.** Уранодобывающий карьер на месторождении Росинг (Намибия).

## Габон

В прошлом, в Габоне добыча урана велась активно. В 1956 французские геологи открыли урановое месторождение Moupana на юго-востоке Габона, близ г.Франсвиль. В 1961-99 французская фирма SOGEMA на месторождении Moupana добыла 28000 тонн урана (12147 т – в открытом карьере, 15525 т – в подземные шахты). Доказанные ресурсы (RAR) 4830 тU при себестоимости ниже 130 \$/кг. Эксплуатация Moupana прекращена в 1999. Добыча осуществлялась также на рудниках Oklo и Boyindzi. Месторождение Oklo открыто в 1968, среднее содержание 0.37% U, на нём добыто 14000тU. Оно знаменито природным атомным реактором, функционирующим во влажном уран-содержащем песчанике 2 миллиарда лет назад. Рудник Oklo сейчас закрыт, добыча урана ведётся на месторождении Mikouloungou project, запасы 4270 тU, содержание 0,311% U. В 1999 Габон добыл 294 тU.

## Замбия

В **Замбии** находятся месторождения урана: Lumwana copper project, Njame, Mutanga, and Bungua deposits, Njame deposit (Chirundu JV), Gwabe deposit и Kariba project. Здесь залегает часть бассейна Капу, где «African Energy» видит хорошие перспективы по добыче урана силами совместного предприятия с компанией «Albidon Ltd.». Наиболее разработанным проектом компании считается «Северный Ньяме» с запасами в 5,5 млн. т урана по категории «Inferred» с содержанием 400 ppm  $U_3O_8$ . Запасы месторождений Njame, Mutanga и Bungua составляют 5414 тU, а месторождения Kariba project - 5269 тU, при содержании 0.032% U.

## Алжир

Данные по запасам урана в Алжире противоречивы. Согласно Международному институту мировых научных исследований (Стокгольм) Алжир располагает 56 тыс. тонн урана. Подтвержденные запасы урана Алжира оцениваются МАГАТЭ в 19,5 тыс.т, общие запасы – в 26 тыс.т (речь идёт о запасах ценовой категории до 80 дол./кг).

Запасы урана подсчитаны в месторождениях верхнепротерозойского возраста двух геолого-промышленных типов: «несогласия» и жильного типа. Первый включает месторождения, связанные с каналами приповерхностной дренажной системы (реолитами), и месторождения в базальных конгломератах и песчаниках осадочного чехла, локализующихся преимущественно в районе Tin-Seririne в южной части нагорья Хоггар (массив Ахагарр). Месторождения второго типа включают жилы в трещинах, оперяющих разломы, которые пересекают гранитные батолиты. К этому типу относятся месторождения Timgaouine, Abankor, El-Bema и Ait-Oklan на юго-западе Хоггара. Известные на сегодняшний день месторождения мелкие и средние по запасам. Наиболее крупные из них – это объекты жильно-штокверкового типа Абанкор и Тимгауин. Общие запасы урана месторождения Абанкор составляют 6 тыс.т, Тимгауин – 15,7 тыс.т. На основе радиометрических исследований в пределах выходов докембрийских пород фундамента и перекрывающего их чехла выявлено несколько перспективных участков: Eglav, Ongarta, Tamart-N-Iblis, Timouzeline, а также South Tassili рядом с алжиро-нигерийской границей, где позднее было обнаружено месторождение Tahaggart.

В 2001 в Алжире действовал единственный рудник по добыче урановой руды в регионе Хоггар на юго-востоке страны. Алжир располагает технологией извлечения урана из фосфорной кислоты, получаемой в ходе переработки фосфоритов. Первичная переработка урана производится на комбинате в Хоггаре. В 2000 на этом предприятии получено 1359 т урана в концентрате  $U_3O_8$ . В отличие от большинства африканских стран Алжир в состоянии производить обогащенный уран для собственных энергетических и исследовательских программ. Алжир располагает двумя исследовательскими ядерными реакторами в Daria и Ain Oussera, предприятием по производству ядерного топлива в Дария, а также предприятием по переработке отработанного ядерного топлива и хранению ядерных отходов в Айн-Усера. В ближайшие годы Алжир намерен построить атомную электростанцию.

## Ботсвана

В **Ботсване** существует месторождение урана Mokobaesi/Kraken, Letlhakane Project, мощность которого 37692 тU, содержание 0,013% U. В 2008 Австралийская компания «А-Сар Resources» вела доразведку уранового месторождения Мокобаеси в бассейне реки Лимпопо, Ботсвана. Компания планирует создать совместные предприятия по добыче урана и алмазов, она также ведет разведку месторождений никеля и золота в Ботсване.

## Камерун

Месторождение Kitongo, Poli area, имеет запасы 11130 тU, при содержании 0,085% U.

В **Центрально-Африканской Республике** находятся два урановых месторождения: Vakouma Uranium Project, запасы 15769 тU, содержание 0,23%U, и Patricia deposit, запасы 10176 тU, содержание 0,17%U. В **Малави** месторождение урана Kayelekega содержит 2157 тU при содержании 0,12% и порядка 9230 тU при содержании 0,07%U, а запасы месторождения Kanyika составляют 3392 тU при содержании 0,006%U. В **Мали** запасы месторождения Faléa property составляют 4240 тU. В **Сенегале** месторождение Saraya East deposit содержит 1462 тU, при содержании 0.20% U. В **Сомали** одно месторождение - Alio Ghelle deposit, Bur Area содержит 1950 тU,., другое - Mudug Province deposits - 4200 тU, при содержании 0.068% U. В **Танзании** – рудник Bahi project содержит 2,577 тU в руде 0.018% U (Существует ещё месторождение Mkuju River project). Запасы уранованадиевого месторождения Kanyemba в **Зимбабве** 1800 тU, при содержании 0.6% U.