

12. ГОРНО-РУДНАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ УРАНА

12.2 Урановые месторождения и рудники в разных странах

12.2.6 Россия

В 1900 на заседании Петербургского минералогического общества профессор И.А.Антипов сообщил, что в двух кусках минерала кальцита, присланных из Ферганы, он обнаружил медный уранит. В 1904 горный инженер Х.И.Антунович начал разветку в Туркеснани и обнаружил урановые руды в Туя-Муюне (теперь – Киргизия) – гнездовое месторождение ванадиевых соединений уранила, кальция и меди (0,5% U_3O_8). В 1908 началась добыча урана, которая продолжалась до начала первой мировой войны. К.А.Ненадкевич нашёл (1912), что основным носителем урана является неизвестный ранее водный уранилванадат кальция ($Ca(UO_2)_2(VO_4)_2 \cdot nH_2O$) и предложил назвать его тюямунитом. За время существования Ферганского общества для добычи редких металлов было добыто 820 т руды, из которых 655 т вывезено в Петербург и переработано на препараты урана и ванадия на заводе, построенном в 1980. Продукция отправлялась в Германию.

В 1903 началось изучение радиоактивности природных объектов России – профессор Московского университета А.П.Соколов становил, что углекислый газ минерального источника «Нарзан» радиоактивен и обнаружил повышенную ионизацию воздуха у Пятигорского городского фонтана. Он приобрёл 12 мг радия, читал курс «Радиоактивность» и организовал практикум. В 1904 И.И.Бергман занялся измерениями радиоактивности русских целебных грязей. Профессор П.П.Орлов в 1908 организовал в Томском университете Радиологическую лабораторию, которая много лет была центром изучения радиоактивных веществ Сибири. 24.10.1907 Академия наук по представлению А.П.Карпинского, Ф.Н.Чернышёва и В.И.Вернадского приняла решение приступить к изучению радиоактивных минералов. Летом 1908, а также в 1909-10 на Тюя-Муюнское месторождение был командирован К.А.Ненадкевич, который привёз оттуда много образцов; в их числе оказались три новых минеральных вида: туранит, алаит и тюямунит. В 1910 профессор минералогии Московского университета В.И.Вернадский выступил на заседании Академии наук с речью «Задачи дня в области радия». Осенью 1910 Академия наук образовала комиссию, которая должна была заняться радиевой проблемой. Летом 1911 начались первые экспедиции в Среднюю Азию и на Урал.

К началу 1914 в России существовало четыре небольшие радиологические лаборатории, которые занимались измерениями радиоактивности отечественных природных объектов воздуха, минеральных вод, минералов, горных пород, руд, целебных грязей. К ним относится томская лаборатория Орлова, Одесская радиологическая лаборатория (Е.С.Бурксер, 1910), радиологическая лаборатория при Физическом институте Московского университета (А.П.Соколов, 1913), и радиологическое отделение (Л.С.Коловрат-Червинский, 1914) Минералогической лаборатории (В.И.Вернадский) при Геологическом и минералогическом музее АН.

Проблема поиска урановых руд в России возникла после того, как в 1913 правительство Австро-Венгрии наложило запрет на продажу радия в другие страны. Весной 1914 была снаряжена Московская радиевая экспедиция, состоящая из двух отрядов: Туркестанского (А.А.Чернов) и Забайкальского, а летом 1914 – экспедиция АН в Фергану (Д.И.Мушкетов). В 1915-16 продолжались экспедиционные исследования радиоактивных руд в Средней Азии, на Урале, в Сибири под руководством В.И.Вернадского, а в 1917 – В.И.Крыжановского.

Упомянем некоторые первые шаги Советской власти в сфере радиоактивности и уран-радиевой проблемы.

18.03.1918 Президиум ВСНХ принял постановление о наложении секвестра на радиоактивные остатки ураново-ванадиевой руды, хранившиеся в Петрограде, что передало в распоряжение государства 2,4 г радия-металла. (Для сравнения: в 1913 году в Западной Европе было добыто 2,126 грамм радия-металла). В первом полугодии 1918 по инициативе А.Е. Ферсмана в Комиссии Академии наук по изучению естественных и производительных сил России (КЕПС) создан Первый отдел, основной задачей которого является организация исследования редких и радиоактивных материалов. Председатель Первого отдела - В.И. Вернадский, его заместитель – А.Е. Ферсман, ученый секретарь – В.Г. Хлопин. 1.06.1918 при Первом отделе КЕПС образован Технический совет по организации и эксплуатации пробного радиевого завода. Председатель – В.Г. Хлопин. 16 августа 1918 года СНК РСФСР учредил Научно-технический отдел (НТО) ВСНХ председатель Н.П. Горбунов. В этом же году в Отдел химической промышленности ВСНХ введён подотдел по исследованию радиоактивных веществ, а в январе 1919 - Секция радиоактивных веществ и редких элементов. 24.09.1918 в Петрограде М.И. Неменовым организован Государственный рентгенологический и радиологический институт с физико-техническим отделением во главе с профессором А.Ф. Иоффе. В октябре в институте создано Радиевое отделение во главе с Л.С. Коловрат-Червинским. 26-28.10.1918 в Москве прошло Всероссийское совещание по радиологии, пирометрии, фотохимии, фотометрии и фотобиологии, которое приняло решение об объединении деятельности всех учреждений, занимающихся радиевой проблемой, и организации кафедр радиологии в Москве и Петрограде. 20.11.1918. Академией наук и Государственным рентгенологическим и радиологическим институтом выработано «Соглашение о Радиевой ассоциации. 15.12.1918 в Петрограде на базе Подкомиссии по микроскопии Оптического отдела КЕПС АН

создан Государственный оптический институт (директор Д.С. Рождественский). В конце 1918 в Москве Центральная химическая лаборатория ВСНХ, в 1931 преобразованная в Физико-химический институт им. Л.Я. Карпова (директор А.Н. Бах).

В 1918 технической секцией Горного совета ВСНХ совместно с представителями Геологического комитета разработаны мероприятия по «организации правильной добычи редких металлов». В Петрограде в серии «Естественные производительные силы России» вышли краткие монографии по редким металлам: «Ванадий» (Б.А. Линдер), «Редкие земли и торий» (А.Е. Ферсман и В.С. Сырокомский), «Тантал» (А.Е. Ферсман), «Уран и радий» (Л.С. Коловрат-Червинский), «Цирконий» (В.Г. Хлопин).

В 1921 Центральным управлением промышленных разведок ВСНХ «с целью установления постоянного питания радиевого завода минеральным сырьем» была организована экспедиция на Тюя-Муюн под руководством горного инженера С.П. Александрова. Сообщение о работе экспедиции было сделано С.П. Александровым на состоявшемся 8-15 ноября в Москве Первом Всероссийском съезде по горной промышленности. По его оценке, начальная производительность рудника должна составить 500 т руды в год, что соответствовало 2 г радия.

Дальнейшая история развития урановой горно-добывающей промышленности СССР хорошо известна, и мы на ней останавливаться не будем.



Рис. 119. Урановые рудники СССР.



Рис. 120. Заброшенный урановый рудник на Чукотке (ГУЛАГ).

СССР был крупнейшим в мире производителем урана. В 1991 запасы уранового концентрата оценивались в 13,5 тыс.т. На территории СССР девять из 15 рудоносных районов с крупными месторождениями урановых руд подверглись освоению и разработке: Стрельцовский (Читинская обл) и Ставропольский в России, Кировоградский и Криворожский вблизи г. Желтые воды на Украине, Закаспийский (Актау) и Кокчетавский (Степногорск) в Казахстане, Прибалхашский в Казахстане, Кызылкумский и Карамазовский в Узбекистане. Месторождения в Узбекистане и Таджикистане иссякли к 90-м годам XX века.

Ресурсы СССР с учетом разведанных традиционных месторождений составляли более 15% мировых запасов (около 685 тыс. т). Для добычи и переработки урана вблизи разведанных месторождений были построены горнодобывающие и перерабатывающие предприятия: Приаргунское производственное горно-химическое объединение (г. Краснокаменск, Читинская обл., Россия), Восточный горно-перерабатывающий комбинат (г. Желтые воды, Украина), Прикаспийский горно-плавильный комбинат (Актау, Казахстан), Целинный горно-перерабатывающий комбинат (Степногорск, Казахстан), производственное объединение «Южнолиметалл» (Бишкек, Киргизия) Навоийский горно-плавильный комбинат (Навои, Узбекистан) и Восточный промкомбинат редких металлов (Чкаловск, Таджикистан). Кроме Приаргунского ПГХО на территории России добыча и переработка урановых и ториевых руд ранее велась Лермонтовским ПО «Алмаз» (Ставропольский край) и Новотроицким рудоуправлением.

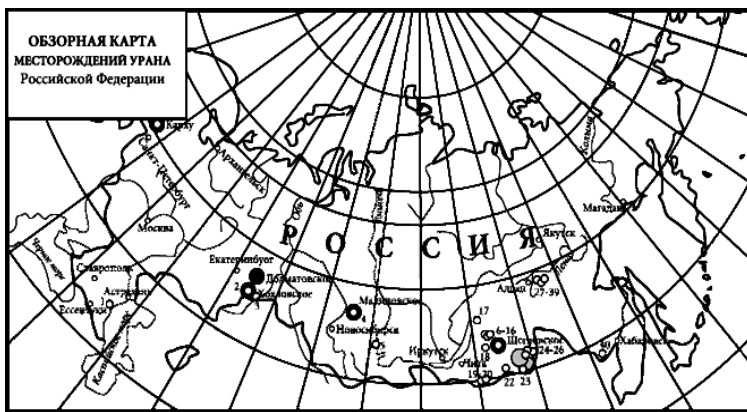
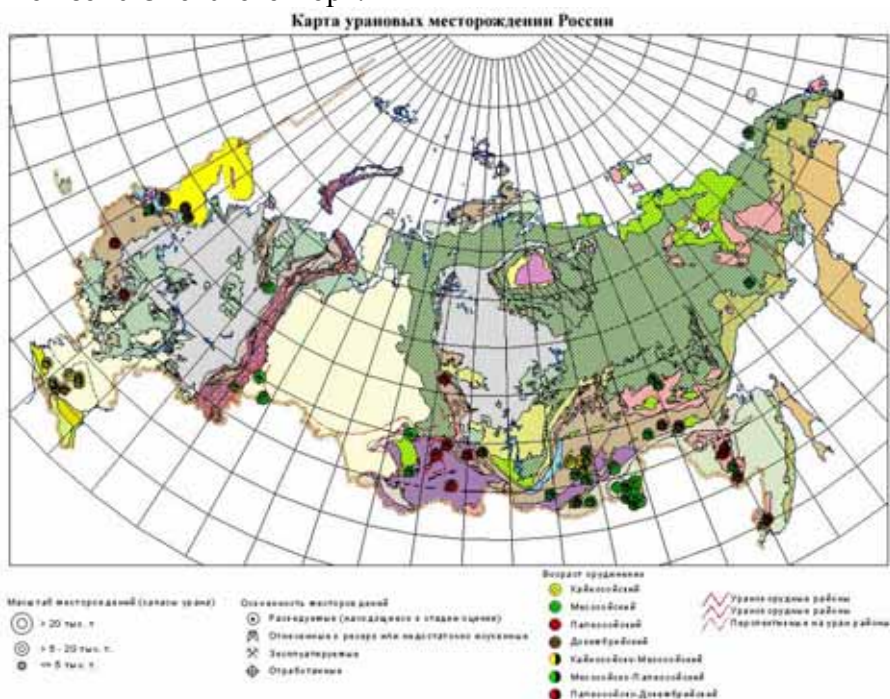


Рис. 121 Расположение урановых месторождений на территории России

Балансовые месторождения. Стрельцовский урановорудный район: Стрельцовское, Лучистое, Широндукуевское, Тулукуевское, Октябрьское, Дальнее, Новогоднее, Юбилейное, Пятилетнее, Весеннее, «Антей», Аргунское, Мартовское, Малотулукуевское, Жерловое. Зауральский урановорудный район: Далматовское. **Забалансовые месторождения.** Ергенинский урановорудный район: 1 – Степное. Зауральский урановорудный район: 3 – Добровольное. Республика Хакассия; 5 – Приморское. Республика Бурятия, Витимский урановорудный район: 6 – Хагдинское; 7 – Радионовское; 8 – Витлауское; 9 – Количикан; 10 – Джилдинское; 11 – Тетрахское; 12 – Вершинное; 13 – Неточное; 14 – Кореткондинское; 15 – Намару; 16 – Дыбырн. За пределами Витимского района: 17 – Имское; 18 – Буяновское. Читинская область: 19 – Горное; 20 – Березовое; 22 – Дурулгуевское. Стрельцовский урановорудный район: 23 – Цаган-Торон; 24 – Юго-Западное; 25 – Широндукуевское; 26 – Безречное. Республика Саха-Якутия, Эльконский урановорудный район: 27 – Южное; 28 – Северное; 29 – Центральная зона; 30 – Весенняя зона; 31 – Агдинская зона; 32 – Пологая зона; 33 – Невская зона; 34

В России государственным балансом учтены запасы 38 урановых месторождений, относимых к забалансовым (т.е. разведанным, но не разрабатываемым). Среди последних выделяются запасы Эльконского и Ергенинского урановорудных районов, рассматриваемые как резервные. Так, в Эльконском районе в Республике Саха-Якутия запасы урана (более 200 тыс. т) количественно превосходят все балансовые запасы в стране, но из-за рядового качества руд они могут стать рентабельными только при высокой цене на уран (и на золото, содержащееся в этих рудах). К перспективным регионам относится Онежский район (Карелия), где обнаружены запасы ванадиевой руды с содержанием урана, золота и платины; Витимский район (Сибирь) с разведанными запасами в 60 тыс. т при концентрации урана 0,054% в руде с сопутствующими скандием, редкоземельными элементами и лантаноидами; Западно-Сибирский район (Малиновское месторождение с запасами 200 тыс. т урана), а также Енисейско-Забайкальский район и Дальневосточный рудоносный район, расположенный в прибрежной зоне Охотского моря.



Формально минерально-сырьевая база урана в России оценивается достаточно внушительной величиной – более 600 тыс. т запасов и 830 тыс. т прогнозных ресурсов. Однако сюда включены запасы с себестоимостью до 80 дол/кг и более, а рентабельных в настоящее время (2009) существенно меньше. Считается, что при соответствующих инвестициях к 2020 на базе известных запасов можно будет обеспечить добычу порядка 16 тыс. т урана в год.

По суммарному сырьевому потенциалу на территории России резко выделяются регионы Восточной Сибири и Дальнего Востока, на долю которых приходится 93% разведанных запасов и 56% общих прогнозных ресурсов урана. В пределах этих регионов располагается ряд районов, где сконцентрированы основные запасы урана. На территории Восточной Сибири и Южной Якутии в пределах ураново-рудных провинций (Северо-Прибайкальской, Алданской и Забайкальской) оконтурены 4 основных ураново-рудных района – Стрельцовский, Витимский, Эльконский и Восточно-Забайкальский.

Стрельцовский район

Стрельцовский ураново-рудный район, располагающийся в Читинской области в 600 км к юго-востоку от Читы, с которой связан железной дорогой и автострадой, и в 60 км от границы с Китаем, был открыт в начале 60-х прошлого столетия. В него входят 15 месторождений молибден-уранового типа в наложенных палеовулканических депрессиях. Эти жильно-штокверковые месторождения образуют компактную структурно связанную группу площадью 40 км². Месторождения приурочены к позднеюрско-раннемеловой вулканотектонической структуре, заложенной на гранитогнейсовом основании и представляющей собой изометрическую в плане кальдеру, ограниченную системой кольцевых сбросов.

Месторождения Стрельцовского рудного района обрабатываются ОАО "Приаргунским производственным горно-химическим объединением" (ППГХО), входящим в состав корпорации «ТВЭЛ», являющимся градообразующим для г. Краснокаменска с населением 60 тыс. чел. Это уранодобывающее предприятие России обеспечивает 30% потребностей в сырье для производства ядерного топлива для российских АЭС и экспортные поставки. Кроме урана, оно добывает марганцевую руду, цеолит, известняк и известь, бурый уголь, производит электрическую и тепловую энергию, серную кислоту, машиностроительную продукцию. Годовое производство урана все последние годы находится на уровне 3000 т и обеспечивается в основном традиционной подземной добычей с переработкой руд на гидрометаллургическом заводе.



Рис. 122. Краснокаменск.

Предприятие действует с конца 1960-х. Суммарное производство урана за 35-летний период (110000 т) выделяет его как уникальное предприятие, практически не имеющее мировых аналогов. Урановые месторождения, составляющие сырьевую базу предприятия, обладают остаточными запасами в объеме 144 тыс. т (22% общих запасов урана России). К настоящему времени 2 месторождения отработаны, 5 эксплуатируются, а остальные или законсервированы, или являются резервными. Месторождения обрабатываются шахтным способом: богатые руды непосредственно поступают на гидрометаллургическую переработку, рядовые руды – на кучное выщелачивание, бедные подвергаются блочному выщелачиванию в горных выработках.

Сейчас добыча урана осуществляется на месторождениях Стрельцовского рудного поля на четырех рудниках: №1, 2, 4 и «Глубокий», с последующей переработкой руды на гидрометаллургическом заводе. До 2013 планируется поддерживать производство урана на уровне 3000 тонн в год с последующим развитием до 4000 тонн к 2015. По мере ввода в эксплуатацию рудников № 6, 7 и 8 добыча урана к 2018 увеличится до 5000 тонн в год благодаря комбинированной горно-химической технологии добычи руды с отработкой богатых руд горным способом, а рядовых и бедных руд блочным и кучным выщелачиванием



Рис. 123. Рудник Глубокий (Читинская обл.)

В 1970-х ППГХО являлось одним из крупнейших в мире. Однако уже к 1990-м его производительность снизилась в связи с исчерпанием запасов, пригодных для открытой добычи. Одно из лучших месторождений (Тулукуевское) с запасами богатых руд для открытой добычи практически отработано. В последние годы тенденция к погашению лучших запасов месторождений резко усилилась. Так, в 1998 погашались запасы со средним содержанием 0,419%. Остающиеся в недрах запасы с таким содержанием составляют всего 54% от числящихся по балансу в качестве «активных»

На Стрельцовское рудное поле приходится 28,4% разведанных и 94% балансовых запасов урана в стране (общие резервы 128 тыс. т, 2005, 0,2%U).



Рис. 124. Урановая шахта.

Сырьевой базой предприятия является группа сближенных месторождений так называемого Стрельцовского ураново-рудного района. Эти месторождения относятся к жильному типу и заключены в крупной палеовулканической структуре – Стрельцовской кальдере. Всего в группе 15 различных по масштабу месторождений. Содержание урана в руде - 0,38 %, годовая производительность Краснокаменского рудника - 2,5 тыс. т урана. При современном уровне добычи, запасы руды на этом месторождении создают 20-летнюю

обеспеченность сырьем уранодобывающего предприятия. Запасы Аргунского месторождения составляют 4,8 тыс. т урана, Жерлового - 3 тыс. т, Пятилетнего - 1,3 тыс. т, Горного – 8,7 тыс. т, Оловского – 12,8 тыс. т.

Запасы большинства крупных месторождений района в той или иной степени затронуты отработкой. Из крупных в резерве пока сохраняется только месторождение Аргунское, где заключено 15% общих начальных запасов всего района. Ввод его в эксплуатацию намечен на 2010. Практически полностью отработаны месторождения Тулукуевское и Лучистое. На месторождениях Стрельцовское, Антей, Октябрьское и Юбилейное отработано 25-45% начальных запасов. Практически не затронуты отработкой, кроме Аргунского, месторождения Мало-Тулукуевское, Дальнее, Жерловое и Пятилетнее. Однако все эти последние объекты относительно мелкие, характеризуются более бедными рудами и расположены (за исключением Жерлового) обособленно, за пределами шахтных полей действующих рудников. Общее количество остаточных запасов в недрах Стрельцовского района на 2005 составляло 150 тыс. т. Однако возможности развития добычи определяются не только количеством остаточных запасов, сколько их качеством. Среднее содержание в остаточных запасах в настоящее время снизилось до 0,16 против 0,25% на момент начала отработки, т.е. на 36%. Некоторая часть остаточных запасов является неизвлекаемой по техническим и экономическим причинам.

В 2004 на предприятии было добыто 3100 т урана. Перспективы увеличения добычи связываются прежде всего с вводом в эксплуатацию месторождения Аргунское. Мощные (десятки метров) залежи этого месторождения при достаточно высоком качестве руд, вероятно, позволят создать на нем рудник с производительностью около 1 тыс. т урана в год, что позволит поднять общий уровень добычи по предприятию до 4-5 тыс. т в год. Однако за 2015 запасы лучших по качеству и условиям залегания руд ныне эксплуатируемых месторождений (и уникального месторождения Антей) окажутся погашенными на 50-70%, что может обусловить снижение производительности. Поэтому следует активно проводить разведку на уран, которая по некоторым признакам может привести к открытию крупных месторождений.

Полученный урановый концентрат и ураносодержащие руды перерабатываются на Чепецком механическом заводе



Рис. 125. Скважина на Долматовском месторождении урана.

Долматовское месторождение (Курган)

Предприятие ЗАО «Далур» осуществляет добычу урана скважинным подземным выщелачиванием на месторождении Долматовское (рудноносные отложения находятся на глубине 360-510 м) и проводит опытные работы на месторождении Хохловское. Добыча в 2000 составила 410 тонн. Основной технологический корпус по переработке продуктивных растворов производительностью до 1000 тонн урана в год был сдан в эксплуатацию в 2006 году. На нём перерабатываются растворы с Далматовского месторождения, а также сорбент с локальных сорбционных установок Далматовского, Хохловского и Добровольного месторождений. С 2015 года

при условии вовлечения в работу Хохловского месторождения ЗАО «Далур» сможет выйти на объем добычи в 800 тонн урана в год. С 2016 планируется начать добычу на месторождении Добровольное.

Сырьевой базой предприятия является месторождение Далматовское (Курганская область), запасы которого составляют 11 тыс. т., содержание 0,04%U. Оно открыто в 1979, промышленное освоение начато в 1995. За это время пробурено 2500 скважин объёмом 1212 тыс м. Проектная мощность предприятия определена в 500 т/год. В районе известны еще два подобных месторождения – Хохловское и Добровольное, масштабы которых идентичны Далматовскому. В перспективе предполагается, что на их базе будут созданы еще два добычных участка и общая мощность предприятия достигнет 1000 т в год. Однако составляющие его участки практически будут вводиться последовательно и к моменту ввода последнего первый окажется уже в

стадии ликвидации. Таким образом, максимальную производительность в 1000 т/год предприятие сможет поддерживать лишь очень ограниченное время, а в среднем за период до 2020 его производительность не превысит 500-700 т. При этом возможность выхода на максимальный уровень ранее 2015 маловероятна.



Условия для создания предприятий в данном районе благоприятные: равнинный лесостепной ландшафт, наличие дорог и свободной рабочей силы. Экология района также благоприятна: заключающие месторождения слои надежно изолированы от поверхности мощной толщей водоупорных глинистых отложений. Подземные воды рудоносных горизонтов не представляют хозяйственной ценности. Однако уровень добычи по этому предприятию не очень большой.

Витим (Бурятия)

Витимский ураново-рудный район находится в Центральном Забайкалье на территории Республики Бурятия. С Читой его связывает автодорога протяженностью 230 км с паромной переправой через р. Витим. Здесь расположено 8 месторождений, относимых к типу уранового оруденения в эрозионных палеодолинах на выклиниваниях зон пластового и грунтового окисления. Оруденение приурочено к врезанным в древний фундамент палеоруслам, заполненным делювиально-пролювиальными сероцветными отложениями миоцена, располагается обычно в базальных горизонтах чехла и залегает на глубинах 60-240 м от поверхности. Длина палеорусел, содержащих рудные залежи, 5-7 км при ширине 0,5-1,5 км. Разведка на месторождениях проводилась в 1985-1992. Общие запасы урана 43 тыс. т.

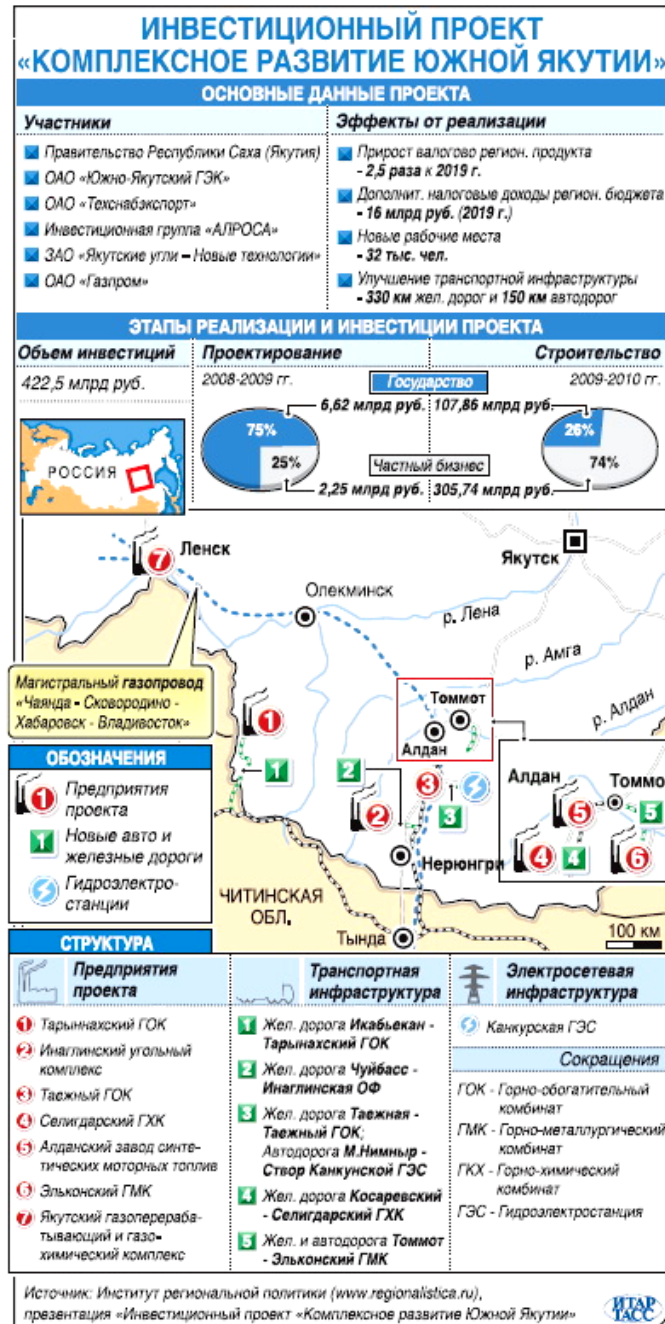
Наиболее изученным и подготовленным к отработке является Хиагдинское месторождение, объединяющее 7 рудоносных палеодолин, развитых на площади 70 км². Проведенные на Хиагдинском месторождении двухскважинные опыты подземного выщелачивания показали, что выщелачивание урана из недр характеризуется хорошими технологическими показателями.

Предприятие ОАО «Хиагра» (республики Бурятия) осуществляет опытно-промышленную добычу урана методом скважинного подземного выщелачивания на месторождении Хиагда и переходит к стадии промышленной эксплуатации. В ходе опытно-промышленных работ в 2007 году добыто 26 тонн урана, в 2008 год – 120 тU. Разработано ТЭО строительства предприятия производительностью 1000 тонн урана в год. Программа развития предприятия предполагает постепенный ввод в эксплуатацию новых блоков для увеличения годового производства урана на опытной установке до 300 тонн к 2011. Параллельно с этим строится основное добывающее предприятие. Промышленное производство урана на ОАО «Хиагда» начнется в 2012 и достигнет к 2015 году уровня в 1000 тонн в год. Положительные результаты опытных работ и достаточная сырьевая база позволяют в дальнейшем планировать развитие производства урана на ОАО «Хиагда» до 2000 тонн в год после 2015. Разведанные запасы месторождения рассчитаны на 50 лет. Содержание урана в 1 куб. м. обогащенной руды достигает 100 мг. А себестоимость 1 кг обогащенной руды колеблется в пределах 20\$. Это в 2 раза ниже, чем на основном урановом руднике России в Краснокаменске.

Сырьевой базой предприятия является группа месторождений Витимского ураново-рудного района. Общие запасы бедных (0,05%U) руд урана достаточно велики (более 44 тыс. т) и еще не полностью оценены. Однако эти запасы рассредоточены по большому числу месторождений, приуроченных к погребенным палеодолинам древней речной сети. Каждая такая палеодолина содержит одну лентообразную рудную залежь шириной в первые сотни метров и длиной до первых километров. Расстояние между рудоносными палеодолинами составляет от 3-5 до 10 км и более. Запасы же единичной палеодолины не превышают 1-3 тыс. т урана. В настоящее время залицензированным объектом недропользования является Хиагдинское месторождение, к которому отнесены 4 сближенные палеодолины, но эксплуатационные работы ведутся только на одной из них. Запасы месторождения оцениваются в 10 тыс. т. Положительными чертами месторождений Витимского района являются относительно небольшая глубина залегания руд (150-200 м) и

более высокая продуктивность, чем на Далматовском месторождении. Однако природные условия района существенно сложнее. Район характеризуется сплошной затаёженностью, частичной заболоченностью, суровым климатом с продолжительным периодом сильных морозов и наличием многолетней мерзлоты. Расстояние до ближайшей ж.д. станции (Чита) составляет более 300 км. Месторождения располагаются на противоположном берегу крупной р.Витим, через которую существует только паромная переправа. Предполагается, что ОАО "Хиагда" сможет обеспечивать получение 1000-2000 т урана в год. Однако характер сырьевой базы таков, что подобный уровень добычи может быть достигнут только за счет параллельной работы не менее 4-6 добычных участков на нескольких объектах (палеодолинах). Обеспечение устойчивой работы таких разобщенных участков в суровых природных условиях района будет сложным. Кроме того, ввод добывающих мощностей неизбежно будет происходить постепенно, а выбытие вследствие весьма ограниченных запасов отдельных палеодолин относительно быстро. Поэтому число параллельно работающих участков в среднем вряд ли составит более 3-4, что позволит здесь достичь суммарной производительности не более 1,0-1,5 тыс. т.

Элькон (Якутия)



Среди объектов нераспределенного фонда недр наиболее крупным является Эльконский золото-урано-серебро-молибденово-рудный район в Республике Саха (Юг Якутии, Алданский район, Эльконский горст). Здесь находятся восемь месторождений: Зона Интересная, Эльконское плато, Элькон, Курунг, Дружное, Непроходимое, Северное и Лунное. Запасы 600 тыс. т – одно из крупнейших месторождений в мире - 6% мировых урановых залежей. Его запасы превышают запасы Стрельцовского района почти в 4 раза. Однако руды здесь относительно бедные: среднее содержание урана в них 0,145%, что на 13% ниже, чем в остаточных запасах Стрельцовского района. Здесь, в частности, находится месторождение золото-урано-серебряных руд «Лунное» (запасы золота 3 т.). Месторождение зоны «Южное» имеет запасы 250 тыс. т.

Негативными сторонами месторождений Эльконского района является необходимость исключительно подземной их разработки (глубины 300-1000 м) и относительно малые мощности рудных тел (2-5 м). Предполагается, что к 2020 здесь может добываться 6 тыс. т урана в год.

ЗАО «Эльконский ГМК» - предприятие создается в настоящее время на базе крупнейшего по запасам Эльконского урановорудного района. Суммарные запасы урана предприятия составляют 319 тыс. т или 6% от мировых. Здесь планируется создать крупномасштабное урановое производство с годовой производительностью 5000 т, которое будет осуществлять разработку месторождений зоны Южная (Элькон, Эльконское плато, Курунг, Дружное, Непроходимое), а также месторождений Северное и Зона Интересная. Проектируемый промышленный комплекс будет осуществлять всю совокупность работ, связанных с добычей, переработкой урановой руды и выпуском концентрата природного урана в форме закиси-оксида. Реализацию проекта планируется осуществить в пять этапов, с 2007 по 2024. С целью приобретения практического опыта работы в регионе и апробации технических, проектных и организационных решений «Урановым холдингом АРМЗ» совместно с золотодобывающей компанией «Золото Селигдара» создано ЗАО «Лунное», которое будет заниматься добычей урана, золота и серебра на одноименном месторождении.

Анализ материалов по действующим в мире подземным урановым рудникам показывает, что их производительность характеризуется логарифмической зависимостью от содержания урана в рудах. При этом все рудники, действующие на рудах с содержанием менее 0,2 %, имеют производительность не более 500-700 т/год. Для обеспечения добычи 6 тыс. т урана в Эльконском районе придется создать и обеспечить параллельную работу 8-12 крупных рудников, что технически вряд ли осуществимо.

В 2008 начато строительство на территории Усть-Алданского улуса Якутии завода по переработке урановой и золотоносной руды. Планируется, что в год завод будет перерабатывать 400 тыс. т руды. Проектная мощность добычи золота составит около полутора тонн в год, а максимальный объем добычи урана - 120 т в год. В 2009 будут проведены опытно-промышленные работы, а первую тонну золота руководители завода планируют произвести в конце 2009 - начале 2010. Проектной мощности завод достигнет в течение трех лет - в 2011 году. На это же время запланировано получить первую в Республике Саха тонну урана.

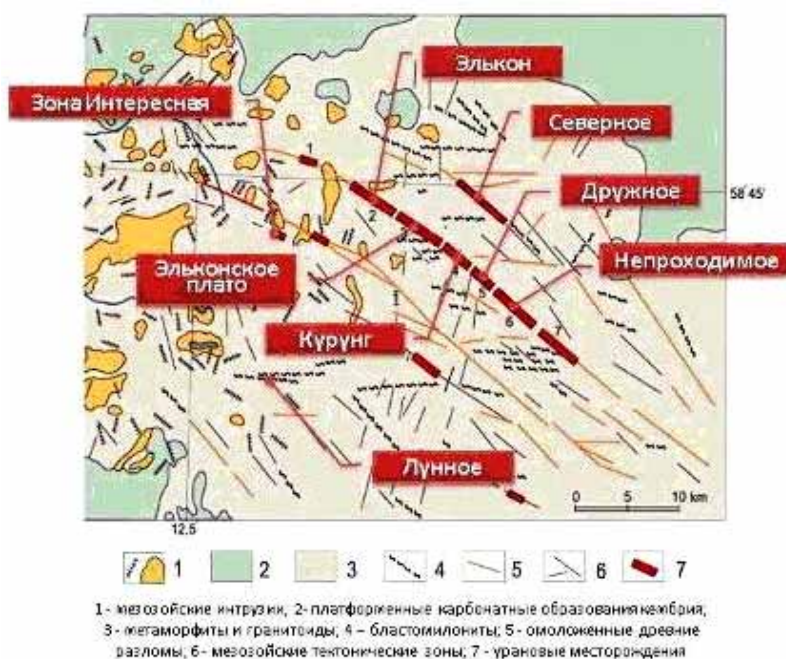


Рис. 126. Запасы урана и схема размещения месторождений Эльконского урановорудного района.



Рис.127. Характеристика Зельконского урановорудного района и основные параметры создаваемого Зельконского горно-металлургического комбината.

Малиновское (Кузбасс)

Месторождение Малиновское (Чебулинский район Кемеровской области, Кузбасс) представляет собой ураноносные аллювиальные отложения Малиновской палеодолины Чулымо-Енисейской впадины, общий запас 10 тыс. т. U. На нём сейчас проводится двухскважинный опыт по подземному выщелачиванию урана. Район месторождения несколько легче для освоения, чем Витимский, но до 2010 реальной добычи здесь не будет, возможна лишь серия опытных работ с максимальной производительностью 100-150 т/г в год. Стоимостная категория урана - 13-20 дол. США за фунт U_3O_8 .

Перспективные месторождения



В Карелии находятся месторождения: Каху Питкяранский район (Северная часть Ладожского озера), запасы 400 т U, содержание 0.1% U и Средняя Падма Радма. Всего в Карелии открыто 8 крупных месторождений и более 200 рудопроявлений урана. Основная их часть находится в окрестностях Онежского и Ладожского озер, планируется добыча 300 тысяч тонн уранованадиевой руды в год.

Среди прочих резервных месторождений как потенциальных источников урана рассматриваются Оловское, Имское, Горное, Витлаусское и другие. Считается, что на их базе к 2020 могут быть созданы еще несколько предприятий с суммарной годовой производительностью 1,0-1,5 тыс. т. Известно, что наибольший интерес для быстрого развертывания добывающих производств могут представлять месторождения, полностью или хотя бы частично пригодные для открытой добычи. Среди упомянутых выше к ним относятся только Витлаусское и, возможно, частично Оловское. Витлаусское месторождение представлено субгоризонтальными залежами рыхлых песчаных руд с небольшой вскрышей. Однако запасы этого объекта невелики и базой крупного предприятия с длительным сроком существования он послужить не сможет. Оловское месторождение может быть отработано карьером только частично, а качество руд здесь низкое (содержание 0,09%).

Создание здесь крупного предприятия также вряд ли возможно. Наибольшими запасами (около 50 тыс. т) в этой группе отличается Имское месторождение. Однако эти запасы рассредоточены по огромному числу мелких тел, побитых пострудной тектоникой, а содержание урана в рудах очень низкое (0,05-0,07%). На месторождении в свое время был успешно реализован опыт подземного выщелачивания руд с дренажом растворов в подземные выработки. Однако даже при этой технологии его запасы еще в 1970-е были отнесены к забалансовым. Несмотря на рост цен на уран, эта квалификация вряд ли может в ближайшем будущем измениться. Месторождение Горное также пригодно для отработки подземным выщелачиванием с горным вскрытием. Руды здесь существенно богаче, но залегают в виде мелких жил и гнезд, что ограничивает

производственные возможности. Запасы месторождения невелики (10 тыс. т), и их доразведку придется совмещать с эксплуатацией, что повышает инвестиционный риск.

В 1945-1947 Ленинградским Геологическим Управлением в Ленинградской области и Эстонии разведано 12 месторождений убогих урановых руд в диктионемовых сланцах ордовика, а на Южном Тимане открыто Бадельское месторождение ураноносных твердых битумов. В 1948-1953 выявлены два мелких месторождения урана: Мраморная Гора в Приладожье и Вуориярвинское железо-апатит-уран-тантал-ниобиевых руд в Мурманской области. В 1954-1963 оценены месторождения бедных урановых руд в песчано-глинистых отложениях венда (Славянское) и карбона (Бельское), а также многочисленные проявления урана на Балтийском щите, Тимане и Пай-Хое. В 1959 выявлен ореол радиоактивных валунов Рудная Горка в Онежском прогибе. В 1968-1978 в Карело-Кольском регионе выявлено около 50 рудопроявлений и около 200 проявлений урана в зонах кремнещелочных метасоматитов. В 1978-1980 вскрыты коренные источники рудных валунов Шуныгский Наволок (рудопроявление Святуха) и Рудная Горка (рудопроявление Великая Губа), открыто месторождение комплексных уран-благородно-металльно-ванадиевых руд Космозеро, а в 1985-1986 - подобные месторождения: Средняя Падма, Весеннее, Верхняя Падма и Царевское, представляющие собой новый (космозерский) формационный тип промышленных месторождений, связанных с альбит-карбонатно-слюдистыми метасоматитами, формирующимися в зонах складчато-разрывных дислокаций в осадочно-вулканогенных образованиях нижнего протерозоя. В 1994 завершена предварительная разведка месторождения Средняя Падма. Установлено, что оно относится к разряду крупных по запасам месторождениям ванадиевых руд высокого качества, не имеющим аналога в мире. Онежский прогиб определился как крупный рудный район, перспективный на выявление новых промышленных месторождений комплексных руд. В 1983-1985 на южном склоне Балтийского щита выявлены средние по запасам месторождения убогих урановых руд в базальных отложениях венда - Рябиновское и Ратницкое. В 1989 в северо-восточной части Ладожского прогиба в базальном горизонте рифейских песчаников выявлено месторождение Карху, представляющее собой первое на территории СНГ месторождение урана типа «несогласия».

За период до 2020 при достаточно интенсивном развитии добывающих мощностей действующих предприятий в России на собственной сырьевой базе может быть добыто 100 тыс. т урана, причем годовая добыча в 2020 может составить 9-10 тыс. т, так что отечественная сырьевая база в принципе способна обеспечить получение урана в количествах, необходимых для намечаемого развития энергетики. Однако потребности России в уране не исчерпываются нуждами атомной энергетики, так как Россия является одним из крупнейших экспортеров атомного топлива, занимая около 40%(!) этого мирового рынка. При этом экспортируется в основном высокотехнологичная продукция – топливные сборки и НОУ, что является чрезвычайно выгодным. С учетом экспорта потребность России в уране уже в 2005 составляла 17 тыс. т при собственном первичном производстве 3,2 тыс. т. Покрытие дефицита осуществлялось за счет импорта (давальческий уран, поставки "хвостов" для дообогащения и закупки природного урана), а также из вторичных источников, в том числе складских резервов.

В 2007 в России добыто 3413 тонн урана, а с учетом начавшейся добычи российско-казахстанского СП на территории Казахстана, общая ежегодная добыча составила 3527 тонн. Россия сегодня поднялась с 5 на 4 место в мире по добыче урана, а по суммарным разведанным запасам занимает третье место в мире после Австралии и Казахстана (870 тыс. т в недрах + довольно значительные складские запасы, включая высокообогащенный уран, всего – порядка 1 млн тонн).

Совместные предприятия:

Предприятие АО «СП Заречное» (республика Казахстан) запущено в промышленную эксплуатацию в 2006. В 2007 году СП «Заречное» добыло 114 т урана, а в 2008 – 300 тонн урана. Планируется, что на проектную мощность в 1000 тонн урана в год предприятие выйдет к 2011. К 2018 за счет освоения месторождения Южное Заречное СП «Заречное» планирует нарастить производительность предприятия до 2000 тонн в год. Совместное предприятие АО «СП «Акбастау» (республика Казахстан) учреждено в 2006 для освоения участков 1, 3 и 4 уранового месторождения Буденовское. Его проектная мощность 3000 тонн урана в год (в 2018).

Перспективные направления ОАО «Атомредметзолото»:

Сотрудничество с Арменией. В рамках комплексной российско-армянской программы сотрудничества в области мирного использования атомной энергии создано совместное предприятие по геологоразведке урана СП «Армяно-российская горнорудная компания».

Сотрудничество с Канадой: В 2007 году ОАО «Атомредметзолото» и канадская корпорация Самесо – мировой лидер в области добычи урана – подписали соглашение о сотрудничестве в области геологоразведки и добычи урана. В 2008 созданы два совместных предприятия для проведения геологоразведочных работ в России и Канаде с целью открытия крупных месторождений урана с высоким содержанием урана в руде и их

последующей разработки. Ориентировочно геологоразведочные работы займут 5-7 лет, еще 5-10 лет понадобится для строительства добывающих предприятий и вывода их на проектную мощность.

Сотрудничество с Монголией: В планы «Уранового холдинга АРМЗ» входит участие в проектах по освоению месторождений урана Дорнодского и Восточно-Гобийского ураново-рудных районов. Сотрудничество осуществляется в рамках Протокола о намерениях между Федеральным агентством по атомной энергии и Министерством промышленности и торговли Монголии от 13.04.2007 и Плана совместных действий в области геологоразведки и добычи урановых руд и сопутствующих полезных ископаемых.

Сотрудничество с Намибией: В 2008 «Урановый холдинг АРМЗ» одобрил создание совместного с дочерней компанией банка ВТБ – «ВТБ – Капитал Намибия» и инвестиционной компанией (ИК) «Арлан» проекта по геологоразведке и добыче урана в Намибии.

Сотрудничество с Украиной: Развитие российско-украинского сотрудничества в области добычи урана направлено на совместное освоение месторождений урана на территории Украины. Сотрудничество осуществляется на уровне совместной российско-украинской рабочей группы по развитию уранового производства в Украине, созданной в рамках Подкомиссии по вопросам атомной энергетики и ядерных материалов.

Location	Type	No. of Shafts	Total Production [t U]	Status
Streltsovsky district				
Streltsovskoye	UG, HL, SL	6	101097*	operating
Tulukuevskoye	OP			closed
Krasny Kamen	OP			closed
Zauralsky district				
Sanarskoye	UG		440	closed
Stavropolsky district				
Beshtau	UG		3930	closed
Shargadyk	UG			closed
Stepnoe	UG			closed
Bykogorskoye	UG			closed
TOTAL			105467*	

Type: UG = underground, OP = open pit, HL = heap leaching, SL = stope leaching * as of end 1998

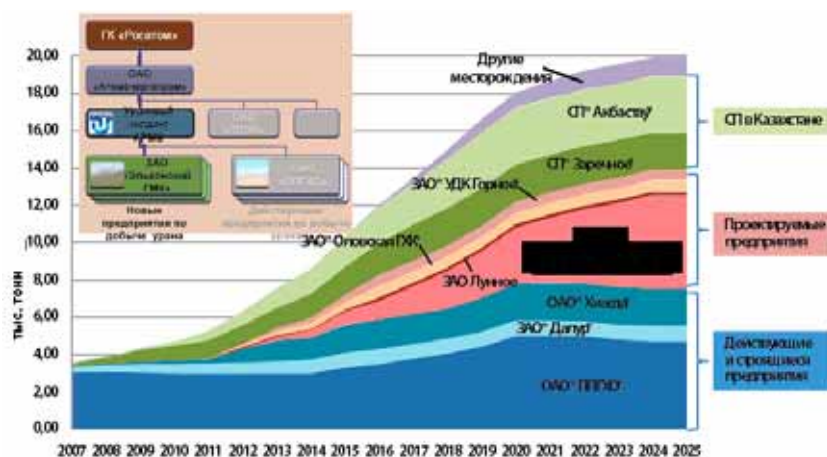


Рис. 128. Перспективы развития урановой горно-рудной промышленности России.

12.3 Уранодобывающие компании

В группу крупнейших уранодобывающих компаний входят компании с годовой добычей урана более 1 тыс.т. Традиционно к ним относятся: канадская компания Cameco Corp., британская Rio Tinto, казахстанская НАК Казатомпром, французская AREVA, англо-австралийская BHP Billiton, российская «Урановый холдинг АРМЗ» (ОАО «Атомредметзолото») и узбекская компания Навоийский горно-металлургический комбинат (НГМК). Их вклад в мировую добычу урана составляет 80%.

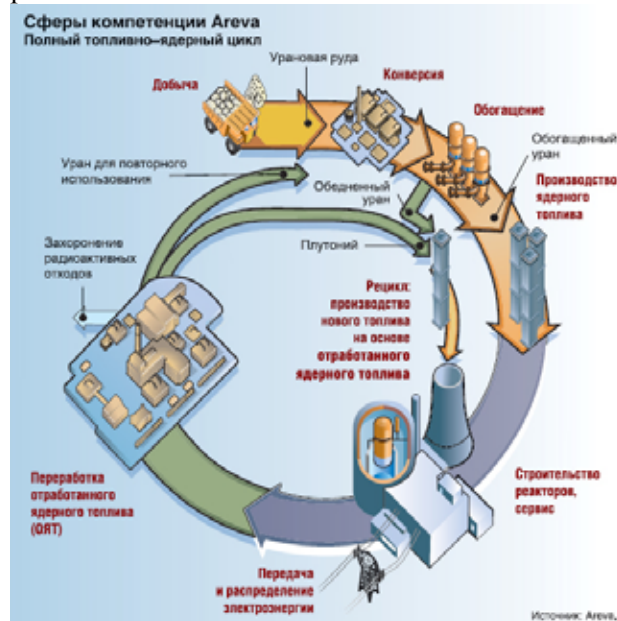
Компания Cameco (Канада)

Канадская горнорудная компания Cameco Corp. (Canadian Mining and Energy Corporation) - крупнейший производитель урана в мире, добывающий 19% мирового оборота урана – образовалась в 1988 путем слияния двух компаний, одна из которых была государственной. Контора находится в г. Саскатун, Канада, президент Gerald Grandey. На данный момент компания добывает уран на 4 шахтах (2 в Канаде и 2 в США), а также разрабатывает шахту в Казахстане (начало промышленной эксплуатации 2009). Следует, однако, помнить, что в 2007 шахту Cigar Lake затопило, и она будет введена в строй в 2011. Запасы урана, контролируемые Cameco, превышают 500 миллионов фунтов, имеются также крупные запасы руд других металлов. В месторождениях северной части Saskatchewan (Канада) содержание урана в породе – самое высокое в мире, а добыча – самая дешёвая. Cameco – основной производитель урана в США (месторождения Wyoming и Nebraska). Компания старается расширить географию добычи и разрабатывать новые методики горных работ. В 2008 учреждено совместное предприятие ТОО «Ульба Конверсия» (Казахстан) с Cameco. Конверсионное производство создаётся на базе АО «Ульбинский металлургический завод». Производственная мощность 12 тыс. тонн гексафторида урана в год, т.е. 17% от мировых мощностей по конверсии. Доля Казатомпрома в новом СП 51%, Cameco - 49%.

Компания AREVA (Франция)

Международная группа AREVA появилась на свет 3.09.2001 путём слияния крупнейших французских атомных компаний, в том числе, «Framatome ANP» и топливной корпорации «COGEMA». Считается государственной компанией, основной капитал принадлежит Франции (правительству Франции принадлежит 5,19%), а немецкая компания Siemens имеет 34%. Группа AREVA - мировой лидер в атомной энергетике (AREVA присутствует в каждом аспекте ядерного топливного цикла, от добычи урана и обогащения до вывода объектов из эксплуатации, включая и реакторы, и производство топлива). AREVA разрабатывает и строит АЭС и реакторы для атомных подводных лодок. Группа так же разрабатывает различные виды альтернативной энергетики, исключая выброс CO₂. Глава Совета Ралф Гюлднер – вице-председатель Всемирной Ядерной Ассоциации. Группа располагает 58 тысячами сотрудников, имеет промышленное присутствие в 40 странах, коммерческая сеть охватывает 100 стран, объём продаж 10 миллиардов евро.

Замечание. Вряд ли AREVA – мировой лидер, российский «Атомтроекспорт» имеет заказов на строительство АЭС в 5 раз больше.



AREVA свой основной уран добывает в Африке – на двух открытых карьерах в Arlit, Нигер, обеспечивая тем самым 30% французских потребностей в уране. AREVA собирается приобрести горно-добывающую компанию UraMin и довести производство жёлтого кека к 2012 до 9 миллионов килограмм. Группа так же владеет 30% шахты McArthur River (Канада), которая обеспечивает 20% мировой добычи урана. Есть некоторые резервные месторождения в Австралии и Казахстане. Последняя французская шахта La Société des Mines de Jouas закрыта в 2001 и её запасы так же находятся в резерве. 11.06.2008 Areva подписала с Казахстаном в области ядерно-топливного цикла. Совместное уранодобывающее предприятие «Катко» (Казатомпром – 49%, Areva - 51%), будет производить 4000 тонн урана в год в период до 2039, реализацией которого будет заниматься компания Areva. Кроме того, Areva обеспечит техническую поддержку Казатомпрому в создании производства по изготовлению топливных сборок мощностью

1200 тонн в год на АО «Ульбинский металлургический завод». Производство включает линию производительностью 400 тонн для реакторов французского дизайна (Казатомпром - 51%, АРЕВА - 49%), при этом топливные таблетки для данных сборок будут поставляться компанией Казатомпром. Сбытом данной продукции будет заниматься совместное предприятие, учрежденное компаниями Areva - 51% и Казатомпром - 49%.

Компания ВНР Billiton (Англия-Австралия)

ВНР Billiton - крупнейшая в мире горнодобывающая компания. Основная штаб-квартира - в Мельбурне, Австралия, дополнительная - в Лондоне. Основана в 2001 путём объединения австралийской Broken Hill Proprietary Company (ВНР), и британской Billiton. Австралийская компания владеет 60%; британская - 40%. Главный управляющий - Чарльз Гудбир (Charles Goodyear). ВНР Billiton добывает бокситы, уголь, медь, марганец, железную руду, уран, никель, алмазы, серебро и титан, а также нефть и природный газ. Добывающие мощности компании сосредоточены в 25 странах, среди которых Австралия, Канада, Чили, Мозамбик, ЮАР, Колумбия, Пакистан, США и др. Общая численность персонала - 38 тыс. человек. Выручка

компании в 2005 составила \$31,8 млрд, чистая прибыль - \$6,5 млрд. В 2006 концерн «Норильский никель» заявил о заключении соглашения с ВНР Billiton, в соответствии с которым компании будут совместно работать с целью «идентификации» на территории России привлекательных для разведки и освоения месторождений. Для каждого проекта будут создаваться совместные компании, в которых 50% плюс 1 акция будут принадлежать «Норильскому никелю», а оставшаяся доля - ВНР Billiton. ВНР Billiton входит в пятерку основных мировых производителей урана. Его шахта Olympic Dam (Австралия), произвела 60 миллионов тонн радиоактивных хвостов, причём отходы растут на 10 миллионов тонн ежегодно.

Компания Rio Tinto (Британия)

Rio Tinto Group (Rio Tinto – красная река, название древней шахты на юге Испании) - австралийско-британский концерн, вторая по величине в мире транснациональная горнорудная группа. Состоит из двух операционных компаний — Rio Tinto Limited и Rio Tinto plc. Основан в 1873. Управление группой осуществляется из Мельбурна и Лондон. Капитализация концерна на середину июля 2007 года составляла \$79,6 млрд. Президент - Tom Albanese, председатель совета директоров - Paul Skinner. Rio Tinto производит золото (5-е место в мире), медь (4-е место), алюминий (7-е место), добывает железную руду (2-е место), уголь (4-е место), а также алмазы и уран. Разрабатывает новые технологии, например, получения железа. Выручка компании в 2006 составила \$22,5 млрд, чистая прибыль — \$7,87 млрд. Rio Tinto контролирует компанию Energy Resources of Australia, которая производит 10% мирового урана, а также проект Rossing в Намибии. Сейчас Rio намерена перезапустить производство Sweetwater в США, и планирует вдвое увеличить добычу урана на своих месторождениях в Намибии и Австралии. По итогам шести месяцев 2007 Rio произвела 6 млн т фунтов урана, что на 9% превысило аналогичный показатель прошлого года. В 2006 Rio Tinto объявило о создании СП в России с «Норильским Никелем», цель которого — геологические исследования на лицензионных участках месторождений «Норникеля» на территории России.

Компания НАК (Казатомпром, Казахстан)

ЗАО Национальная атомная компания «Казатомпром» – закрытое акционерное общество, 100% акций принадлежит государству – национальный оператор Казахстана по экспорту урана и других материалов двойного назначения. Образована 14.07.1997 путём объединения геологоразведочной компания «Волковгеология», трёх рудоуправлений (Степное, Центральное, Шестое) и Ульбинского металлургического завода. Глава НАК Мухтар Джакишев. «Казатомпром» представляет собой холдинг по управлению основными направлениями деятельности: геологоразведка, добыча урана, металлургия и производство конструкционных материалов, энергетика, научное обеспечение производства и переподготовка кадров, а также социальное обеспечение. НАК занимается экспортом и импортом урана и его соединений, редких металлов (бериллий, тантал), ядерного топлива для АЭС, специального оборудования и технологий, материалов двойного применения. В компании работает 25000 человек, она входит в «тройку» ведущих уранодобывающих компаний мира.

В настоящее время завершается создание на базе НАК «Казатомпром» вертикально-интегрированной компании-лидера мирового рынка топлива для атомных энергетических реакторов. Казатомпром сегодня является собственником целого ряда рудников в Южном Казахстане и успешно реализует программу увеличения добычи урана (до 19500 тонн к 2010 году). Первичная переработка добытого уранового концентрата проводится на собственных аффинажных мощностях рудников, а также в АО «УМЗ», расположенном в Усть-Каменогорске. На площадке УМЗ создаётся производство гексафторида урана. Наиболее чувствительная с точки зрения нераспространения ядерных материалов стадия – изотопное обогащение урана - будет осуществляться на совместном предприятии НАК «Казатомпром» с российскими партнерами, размещенном на территории РФ. В рамках подписанных межгосударственных соглашений о сотрудничестве в области атомной энергии Казатомпром получит возможность обеспечить примерную ежегодную потребность 20 атомных реакторов. Изготовление топливных таблеток в АО «УМЗ» идёт уже 30 лет. Завершающая стадия изготовления топлива – производство ТВЭЛов, на которой таблетки помещают в герметичные циркониевые трубки. Сборка загружается в атомный реактор в качестве топлива. Предполагается создание в АО «УМЗ» топливных сборок для реакторов различного дизайна. В 2008 объём добычи урана в Казахстане составил 9600 тонн урана. Программой задачей компании является доведение добычи природного урана до уровня 15000 тонн в год к 2010.

Навоийский горно-металлургический комбинат (НГМК, Узбекистан)

ГП Навоийский горно-металлургический комбинат (НГМК, г.Навои), создан в 1958 в, монопольный оператор по добыче, обогащению и экспорту урана в Узбекистане. Генеральный директор Санакулов Кувандик Санакулович. Предназначенный первоначально для добычи и переработки урановых руд месторождения Учкудук (три колодца), комбинат вырос в мощный, многопрофильный, промышленный

комплекс по освоению богатств Центральных Кызылкумов. Входит в десятку крупнейших мировых производителей урана и золота: в бюджете НГМК золото занимает 80%, уран - 15%.



добываемого НГМК).

Ввод в эксплуатацию в 2008 месторождения Северный Канимех расширил урановую ресурсную базу комбината и увеличил его добычу на 30% по сравнению с 2007. Обеспеченность рентабельными запасами месторождения, на которое в перспективе возложен основной объем добычи урана, составляет 18 лет. Начато строительство участка по добыче урана методом подземного выщелачивания на месторождении Аленды, планируется строительство рудников на месторождениях Кетменчи, Мейлысай и Тутлинская площадь.

ОАО Атомэнергопром

ОАО «Атомный энергопромышленный комплекс» (**Атомэнергопром**) – созданный в 2007 российский государственный холдинг, объединивший 89 предприятий атомной отрасли. Глава Совета директоров С. Кириенко, директор - В. Травин. Стоимость активов «Атомэнергопрома» \$40-50 млрд с перспективой роста до \$100 млрд. Компания обеспечивает полный цикл в сфере ядерной энергетики, от добычи урана до строительства АЭС и выработки электроэнергии в России и за рубежом. В состав «Атомэнергопрома» вошли такие крупные компании, как ОАО ТВЭЛ (17% мирового рынка ядерного топлива), ОАО «Техснабэкспорт» (40% мирового рынка услуг по обогащению урана), ОАО «Атомэнергомаш», ФГУП "Росэнергоатом", объединившее все атомные электростанции, ОАО «Атомредметзолото». 100% акций ОАО «Атомэнергопром» принадлежит Государственной корпорации по атомной энергии «Росатом», в которую входят ещё оборонные предприятия. Холдинг занимается проектированием, размещением, сооружением, эксплуатацией, гарантийным и сервисным обслуживанием, модернизацией и ремонтом ядерных установок, радиационных источников и пунктов хранения ядерных материалов и радиоактивных веществ. Кроме того, он проводит научные исследования в области использования атомной энергии, внедряет новые технологии и разработки в данной области. В 2008 «Атомэнергопром» вышел на первое в мире место по количеству одновременно строящихся энергоблоков, которых только в России семь.

Государственная компания ОАО «Техснабэкспорт», действующая на мировом рынке под брендом TENEX, создана более 40 лет назад и является мировым лидером в предоставлении товаров и услуг ядерно-топливного цикла (в том числе, обогащение урана, производство радиоактивных изотопов). Генеральный директор Алексей Антонович Григорьев. Оборот компании в 2005 составил 2 млрд. долларов. Компания имеет дочерние предприятия в Японии, Федеративной Республике Германии и Южной Кореи, а также долю в 49,33% в совместном предприятии «Заречное» по добыче урановой руды в Казахстане. «Техснабэкспорт» получил лицензию на разработку одного из крупнейших в мире урановых месторождений «Лунное» в Якутии. В 2005 Техснабэкспорту поручено исполнение программы «Российская газовая центрифуга». «Техснабэкспорт» владеет предприятиями: ООО «Аргон», ООО «Завод углеродных композитных материалов», а также ОАО «Ковровский механический завод». В 2007 году ОАО «Техснабэкспорт» осуществляло передачу путем продажи акций в ОАО «Атомредметзолото» своих дочерних и зависимых предприятий, осуществляющих деятельность в области разведки и добычи природного урана. у пятое место в мире по объему добычи урана и второе - по объему запасов урана в недрах.

ОАО Атомредметзолото - государственный концерн, который образован в 1992 из 1-го главного управления Министерства среднего машиностроения СССР. АРМЗ консолидирует все уранодобывающие предприятия в России и ряд уранодобывающих компаний с российским участием за рубежом. Генеральный директор Живов Вадим Львович. Концерн осуществляет разведку, добычу и переработку урановых, золотосодержащих руд, а также руд редких и рассеянных элементов. В задачи концерна входит проектирование горнодобывающих предприятий, перерабатывающих и машиностроительных заводов. В 2008 он занимал второе место в мире по запасам и пятое место в мире по добыче урана. Перед Концерном стоят задачи увеличения объемов добычи до 15 тысяч тонн к 2020. В 2008 добыча урана на российских уранодобывающих предприятиях составила 3541 т, а с учетом урана, произведенного СП «Заречное» в Казахстане - 3841 т. В 2008 году разработаны проекты геологоразведочных работ на новых месторождениях

урана «Элькон», «Оловское», «Горное» в России, учреждены совместные предприятия по добыче урана в Армении, Намибии и Канаде. Увеличению добычи урана будет способствовать техническое перевооружение горно-шахтного оборудования на ОАО «ППГХО», расширение производства природного урана методом скважинного подземного выщелачивания на ОАО «Далур» и ОАО «Хиагда».

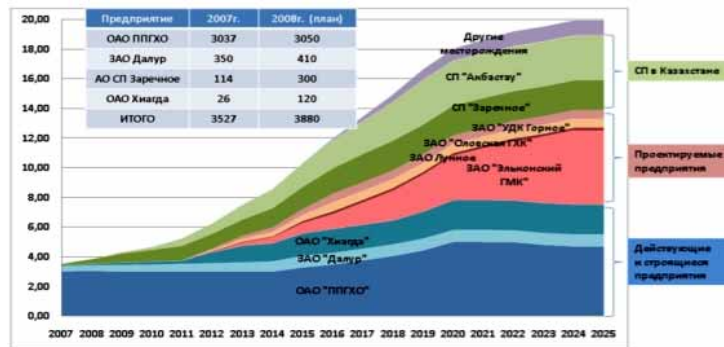


Рис. .129 Динамика добычи урана на месторождениях ОАО "Атомредметзолото"

«Атомредметзолото» ставит задачу к 2015 утроить суммарный объем добычи в России и Казахстане, преодолев уровень в 10 тыс. тонн. Суммарные запасы урана уже созданных уранодобывающих предприятий в России и Казахстане составляют 583,5 тыс. тонн, что ставит компанию на второе место в мире. В инвестиционной программе холдинга предусмотрены затраты на создание перспективных предприятий с канадской «Самесо». В 2008 запланировано создание по одному СП на территории Канады и России для проведения геологоразведочных работ с целью открытия месторождений урана с высоким качеством руд и их последующего освоения. В целом «Атомредметзолото» ставит задачу к 2015 утроить суммарный объем добычи в России и Казахстане, преодолев уровень в 10 тыс. тонн.

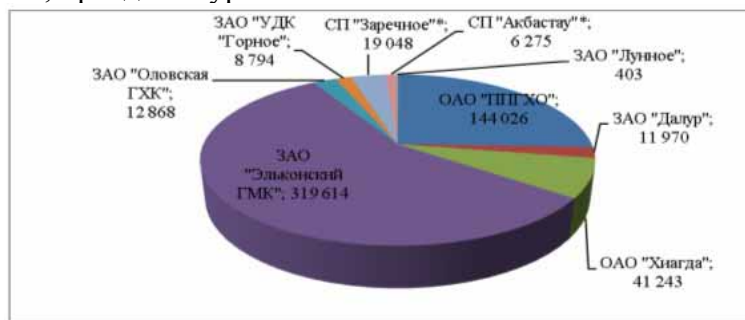


Рис. 130. Запасы урана предприятий ОАО "Атомредметзолото"

12.4 Ресурсы урана, производство и потребности

В докладе, подготовленном МАГАТЭ и Организацией экономического сотрудничества и развития «Уран 2005: Ресурсы, производство и потребности» утверждается, что общий объем обнаруженных запасов урана, расходы на добычу которого не превышают 130 долларов за 1 кг (концентрация металла в рудах более 0,1%), составляет 4,7 млн тонн (из них 4,2 млн т. сосредоточены в 11 странах мира) - этих запасов хватит на 85 лет работы атомных электростанций мира, использующих тепловые реакторы. Общий объем запасов урана в мире значительно больше (35 млн т.). В случае перехода энергетики на быстрые реакторы запасов урана хватит на 2500 лет. Залежи урана есть как минимум в 43 странах мира. Крупнейшими запасами обладают Австралия (27% мировых запасов, при этом в Австралии нет ни одной АЭС), Казахстан (17%), Канада (15%), ЮАР (11%), Намибия (8%), Бразилия (7%), Россия (5%), США и Узбекистан (по 4%).

Замечание. В настоящее время Россия по запасам урана, с учетом резервных месторождений, занимает третье место в мире (после Австралии и Казахстана), но полагает, что скоро выйдет на второе место. Считать надо уметь!

Табл. 44. Добыча урана в мире, тыс. т.

Страна	2001 г.	2002 г.	2003 г.
Всего, в т.ч.	36,366	36,063	35,813
Канада	12,520	11,604	10,457
Австралия	7,756	6,854	7,572
Казахстан	2,050	2,800	3,300
Нигер	2,920	3,075	3,143
Россия (оценочно)	2,500	2,900	3,150
Намибия	2,239	2,333	2,036
Узбекистан	1,962	1,860	1,770
США	1,011	0,919	0,857
Украина (оценочно)	0,750	0,800	0,800
ЮАР	0,873	0,824	0,758

В настоящее время общие разведанные запасы урана России по категориям В+С1+С2 составляют 656 тыс. т с преобладанием (67,7 %) наиболее низкой категории С2. Однако качество запасов оставляет желать лучшего из-за низких содержаний урана в рудах и недостаточной развитости инфраструктур рудных районов. Реальными для освоения в ближайшем будущем можно считать запасы порядка 600 тыс. т. Кроме того, выявлены прогнозные ресурсы урана, которые также значительны и оцениваются по наиболее достоверным категориям Р1+Р2 в 830 тыс. т. По суммарному сырьевому потенциалу на территории России резко выделяются регионы Восточной Сибири и Дальнего Востока, на долю которых приходится 93% разведанных запасов и 56% общих прогнозных ресурсов урана. На территории Восточной Сибири и Дальнего Востока сосредоточены общие запасы урана в количестве 610 тыс. т. и прогнозные ресурсы категорий Р1+Р2 – 465 тыс. т. Месторождения будут осваиваться ОАО «Атомредметзолото» – головной организацией по добыче урана корпорации «Атомэнергопром». Суммарное производство урана за период 2006-2020 планируется в объеме 120 тыс. т.

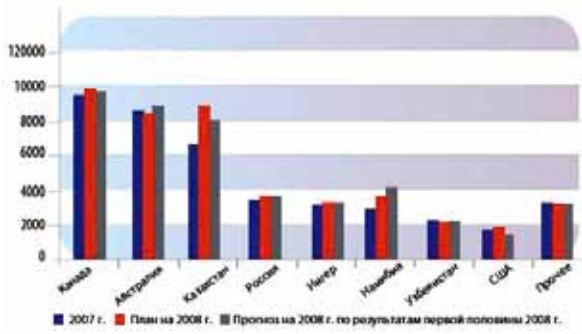


Рис. 131. Прогнозируемые показатели добычи урана по странам в 2008, первоначальные планы и сравнение с итогами добычи 2007.

Одиннадцать ведущих стран-производителей обеспечивают 95% мировой добычи урана, причем Канада и Австралия – более 50%. Первое место занимает Канада, где в 2007 добыто 9,5 тыс. тонн урана, за ней следуют Австралия (8,6 тыс. т), Казахстан (6,6 тыс. т), Россия (3,4 тыс. т), Нигер (3,2 тыс. т), Намибия (2,9 тыс. т), Узбекистан (2,27 тыс. т) и США (1,8 тыс. т).

В настоящее время добыча урана из медно-урановой руды в Австралии идет на двух крупнейших в мире рудниках: рудник «Olympic Dam» (шт. Южная Австралия), компания «WMC Resources Ltd» — 4404 тонн U3O8 в год и рудник в Беверли, компания «Heathgate Resources Rty Ltd». Здесь же в Южной Австралии, недалеко от города Броккен-Хилл разрабатываются еще три новых месторождения (East Kalkaroo, Goulds Dam и Billeroo) с прогнозируемыми суммарными запасами 10310 т U3O8. Австралия обеспечивает треть мирового экспорта урана и обладает возможностями значительно увеличить его добычу при необходимости. В Намибии не так давно обнаружены новые месторождения урана площадью 68 квадратных километров в непосредственной близости к урановому руднику Рио-Тинто. Австралия ведёт переговоры с Намибией по геологоразведочным работам на обнаруженных там радиометрических аномалиях. Однако, по оценкам международных аналитиков на мировом рынке наблюдаются признаки нехватки урана. Например, российского складского запаса урана хватит только до 2012–2015. Именно этими складскими запасами Россия покрывает в настоящее время дефицит урана.

Годовое потребление урана в России сейчас составляет 16 тыс. т. и складывается из расходов на собственные АЭС в объеме 5,2 тыс. т, а также на экспорт тепловыделяющих средств (5,5 тыс. т) и низкообогащенного урана (6 тыс. т). Потребности в уране на 2010 прогнозируются на уровне 28 тыс. т. При нынешнем уровне добычи уже с 2011 возможен дефицит урана на уровне 8 тыс. т в год. Для его устранения необходимо резко увеличить добычу урана. На период 2006- 2020 годов планируется производство урана в объеме 210,9 тыс. т (в том числе 66 тыс. т на базе стран СНГ) и воспроизводство запасов урана в недрах в результате прогнозно-поисковых, поисково-оценочных и разведочных работ с приростом запасов по категориям С1+С2 – 210 тыс. т и прогнозных ресурсов по категориям Р1 – 540, Р2 – 1120, Р3 – 900 тыс. т.

В 2007 в 30 странах мира действовали 442 АЭС реакторы, которых потребляли в год 67 тыс. тонн урана, мире было добыто 41,12 тыс. т урана, т.е. производство урана обеспечивало лишь 60% объема его потребления. Всемирная ядерная ассоциация предполагала, что будет добыто не менее 43,3 тыс. т. Снижение показателей произошло из-за основных игроков, обеспечивающих половину мирового производства урана, - Канады и Австралии. При этом ряд стран, наоборот, нарастил добычу: Узбекистан - на 0,5%, Россия - на 6%, США - на 14%, а также Казахстан, которому удалось увеличить производство на 26%. Но их усилия не смогли компенсировать дефицит радиоактивной руды: в 2007 было потреблено примерно в 1,5 раза больше урана, чем добыто. Дефицит урана наметился давно.

Последние 15 лет потребление урана устойчиво превосходит его производство, а недостаток компенсируется из запасов, благодаря переработке высокообогащенного оружейного урана (концентрация радиоактивного изотопа ^{235}U - 90%) в низкообогащенный энергетический (3,5-4,5%), а также за счет повторного обогащения и использования части отработанного ядерного топлива.

ДОБЫЧА УРАНОВЫХ РУД на крупнейших рудниках мира

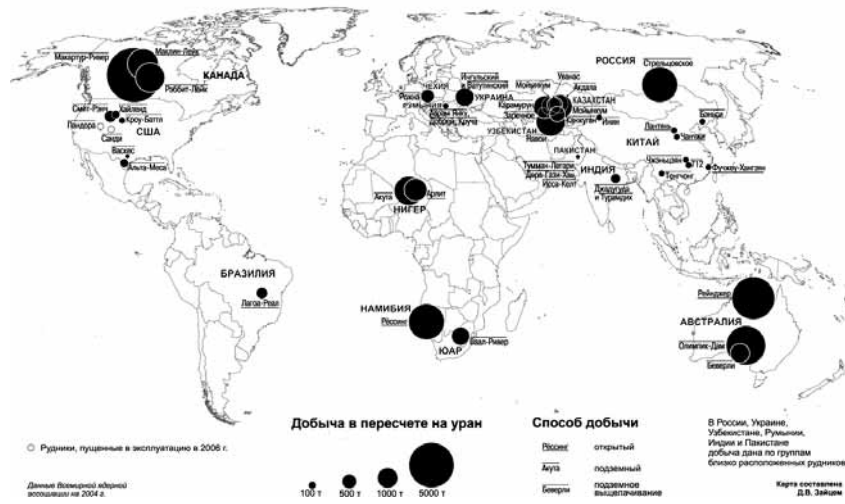


Рис. 132. Распределение по странам добычи урана в 2005.

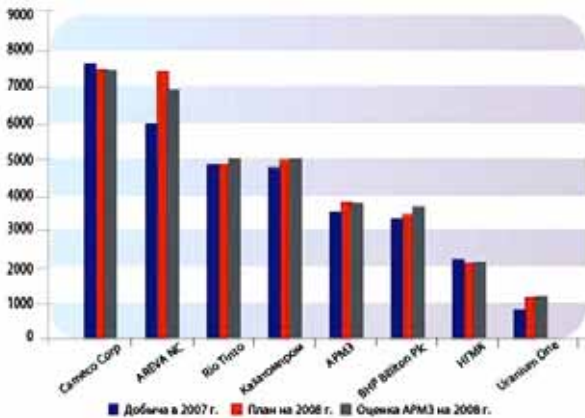


Рис. 133. Прогнозируемые показатели добычи урана по компаниям в 2008, первоначальные планы и сравнение с итогами добычи 2007.

Предпосылки сегодняшнего дефицита урана следует искать двадцатью годами ранее. После чернобыльской аварии привлекательность атомной энергетики несколько упала. Кроме этого в начале 90-х Россия выбросила на рынок большие объемы урана из советских запасов, в результате чего цена упала до уровня \$5-10 за фунт. После этого интерес к добыче резко пошел на спад, что, в свою очередь, привело к

недоинвестированию отрасли в течение последующих десятилетий. За последние 20 лет в мире не было реализовано ни одного крупного проекта по созданию урановых мощностей, а текущий уровень мировой добычи составляет лишь 60% от пикового уровня середины 80-х.

Эксперты предполагают, что ситуация должна кардинально измениться, поскольку мировые запасы добытого урана стремительно истощаются. Своеобразной переломной точкой может стать 2013, когда истекает срок соглашения между мировыми гигантами Техснабэкспортом и американской USEC о поставке российского переработанного высокообогащенного урана на американский рынок. Соглашение продлено не будет и с этого момента мировая отрасль перейдет на рыночные механизмы работы, поскольку контролируемая государством оборонная промышленность перестанет оказывать влияние на рынок урана как со стороны спроса, так и со стороны предложения.

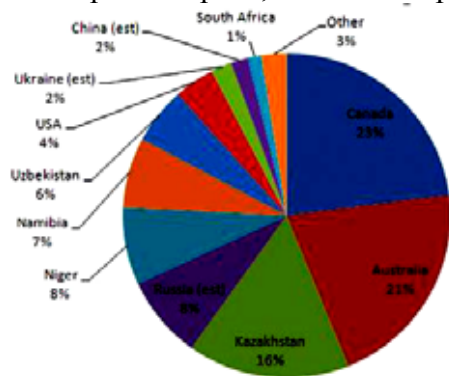


Рис. 134. Добыча урана в разных странах (2007)

По прогнозам к 2025 мощность ядерной энергетики будет находиться в интервале 450(+22%) – 530 (+44%) ГВт (в 2005 = 370 ГВт), что приведёт к ежегодным потребностям в уране 80-100 тыс. т. Эксперты ООН считают, что уже разведанных запасов вполне хватит для обеспечения роста потребностей. За время жизни (около 50 лет) тепловой реактор мощностью 1 ГВт (эл.) потребляет примерно 10^4 т. природного U, поэтому 10^7 т. U позволяют ввести 1000 энергоблоков АЭС с такими реакторами. Тем не менее, добыча урана должна резко возрасти. В долгосрочной перспективе, если использовать только тепловые реакторы и урановый цикл, дефицит урана возникнет в середине века. Необходимо переходить на уран-плутониевый или торий-уран-плутониевый циклы, реакторы-бридеры на быстрых нейтронах и т.п. Увеличение энергетического выхода от ядерного топлива (в 200 раз) по сравнению с тепловым реактором позволяет обеспечить 4000 ГВт (эл.) на быстрых реакторах дешевым ураном в течение 2,5 тыс. лет при малой топливной (сырьевой) составляющей затрат, а энергетику в 10000 ГВт (эл.) примерно на 1 тыс. лет. Для быстрых реакторов возможно использование урана из бедных месторождений, ресурсы которого в сотни или даже тысячи раз больше ресурсов дешевого урана.

Переход на новые ядерные топливные циклы позволит существенно упростить проблему обращения с радиоактивными отходами.

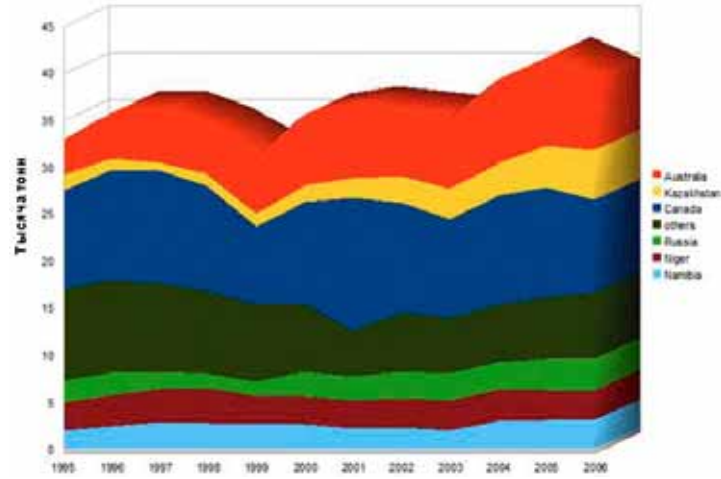


Рис. 135. Динамика добычи урана в разных странах.

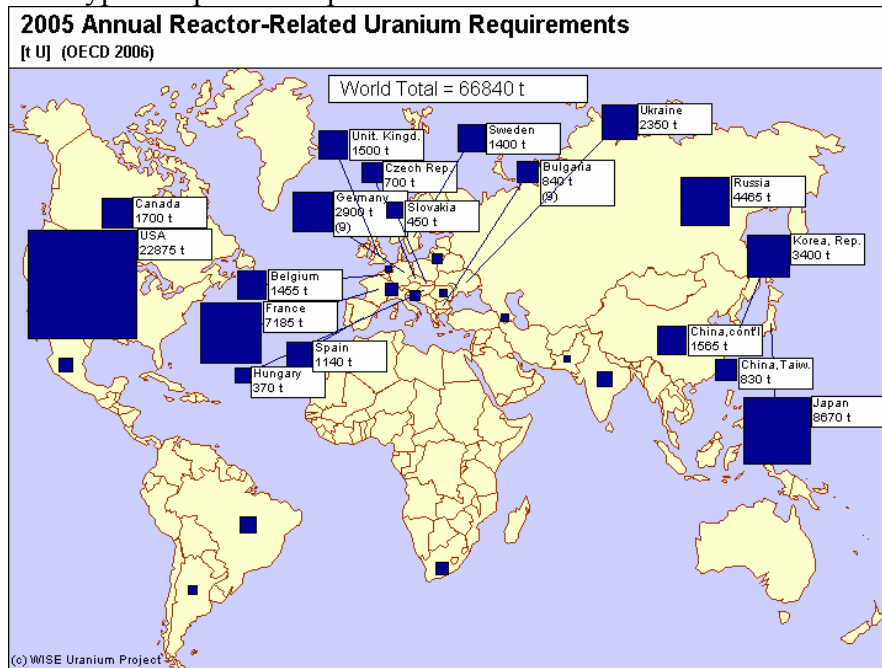


Рис. 136. Ежегодные потребности в уране разных стран (2005).

Сравнение потребности в уране с запасами урана показывает, что в случае применения легководных реакторов с относительно большим потреблением урана достоверные запасы урана будут исчерпаны к 2000-2025. Затем будут разрабатываться предполагаемые ресурсы урана. Для разработки этих ресурсов и производства урана потребуются определенные усилия. При использовании тепловых реакторов без переработки топлива мощности по производству и обогащению урана должны быть сильно увеличены. При переработке и повторном использовании отработавшего топлива положение несколько улучшится. Однако коренное изменение сложившейся ситуации может произойти только с внедрением быстрых реакторов-размножителей. В этом случае годовая потребность в природном уране достигнет максимального значения 100000 т и с течением времени будет сведена к нулю.

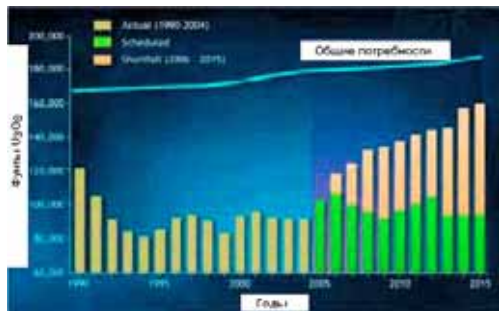


Рис. 137. Динамика добычи урана и потребностей в нём.

Согласно «Красной книге» суммарные запасы природного урана в России при стоимости добычи до 80 долл/кг оцениваются на уровне 240 тыс. т (RAR + EAR-I, II), причем запасы, оцененные с высокой степенью достоверности, составляют 150 тыс. т (RAR). Есть ещё одна категория (SR) с общим количеством урановых ресурсов, равным 1 млн. т, включая 550 тыс. т со стоимостью добычи до 130 долл/кг – примерно 15% мировых запасов. При этом в 2007 потребности страны удовлетворялись за счет добычи сырья лишь на 20%. Основная же часть необходимого урана берётся из складированных запасов.

Табл. 39. Запасы Российской Федерации по урановым ресурсам в залежах, т.

Категория залежей урана	Стоимость добычи 1 кг урана, долл.		
	<40	<80	<130
RAR	66100	145000	Нет данных
EAR-I	17200	36500	Нет данных
EAR-II	0	56300	104500
SR	Нет данных	Нет данных	550000

Ежегодная потребность современной атомной энергетики России в природном уране составляет 2800...3300 т, а с учетом экспортных поставок ядерного топлива 6000...7700 т. При имеющихся ресурсах урана (залежи в недрах, складские запасы на горнодобывающих предприятиях, запасы высокообогащенного урана) прогнозируемый срок функционирования отечественной атомной энергетики на тепловых реакторах при уровне мощности около 20 ГВт (эл.) составляет 80...90 лет.

Рис. 138. Рост потребностей разных стран в уране (к 2030 потребности России возрастут более, чем в 2 раза, в Китая – в 10 раз).



Россия планирует увеличить добычу урана с 3,2 тыс. тонн в 2006 до 4,6 тыс. тонн в 2010 и до 8 тыс. тонн к 2015.

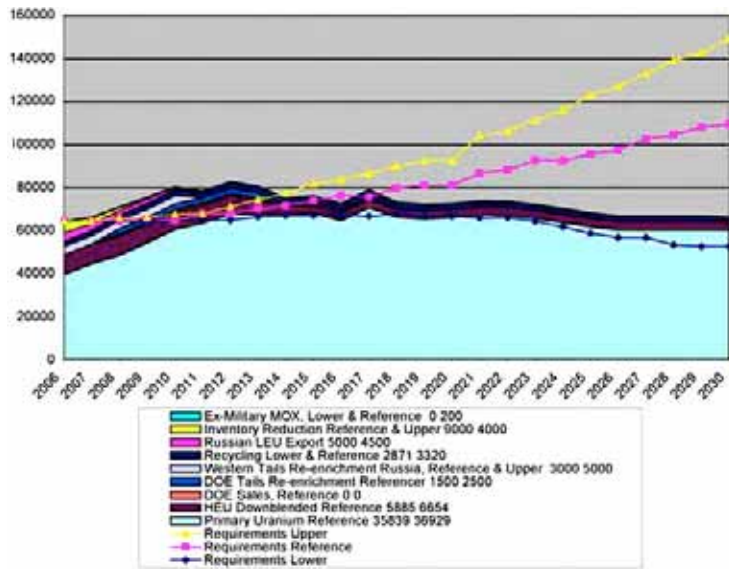


Рис. 139. Прогноз добычи и потребности в уране.

Замыкание топливного цикла тепловых реакторов с вовлечением энергетического плутония и регенерированного урана увеличит его на 10...20 лет в зависимости от способа изготовления регенерированного топлива. Стратегическим направлением развития атомной энергетики России является замыкание ядерного топливного цикла, в результате которого должны обеспечиваться: более полное использование природного ядерного топлива и искусственных делящихся материалов, образующихся при работе ядерных реакторов (плутоний и др.); минимизация образования РАО от переработки ядерного топлива; приближение к радиационной

эквивалентности захораниваемых отходов и извлеченного природного топлива. Реальным способом увеличения ресурсной базы атомной энергетики является повторное использование ядерного горючего. Замыкание топливного цикла по урану позволит увеличить мощность атомной энергетики на 13%, а замыкание по урану и плутонию вместе - на 17%. С сокращением ядерных вооружений появилась проблема использования оружейного плутония. Россия и США взяли на себя обязательства “поэтапно изъять из своих ядерных оружейных программ около 50 метрических тонн плутония и переработать его так, чтобы никогда нельзя было использовать этот плутоний в ядерном оружии”. Принципиальных проблем по использованию смешанного уран-плутониевого топлива в ядерных реакторах различных типов на сегодняшний день не существует. Утилизация избыточного оружейного плутония в быстрых реакторах технически возможна и наиболее экономически эффективна. Ее следует рассматривать в качестве первого этапа создания технологии будущего замкнутого ядерного топливного цикла.

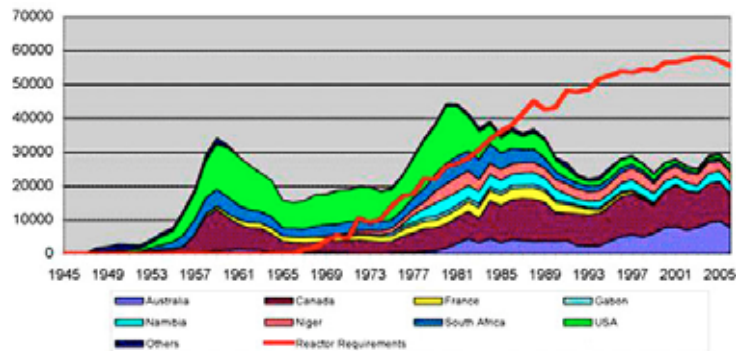
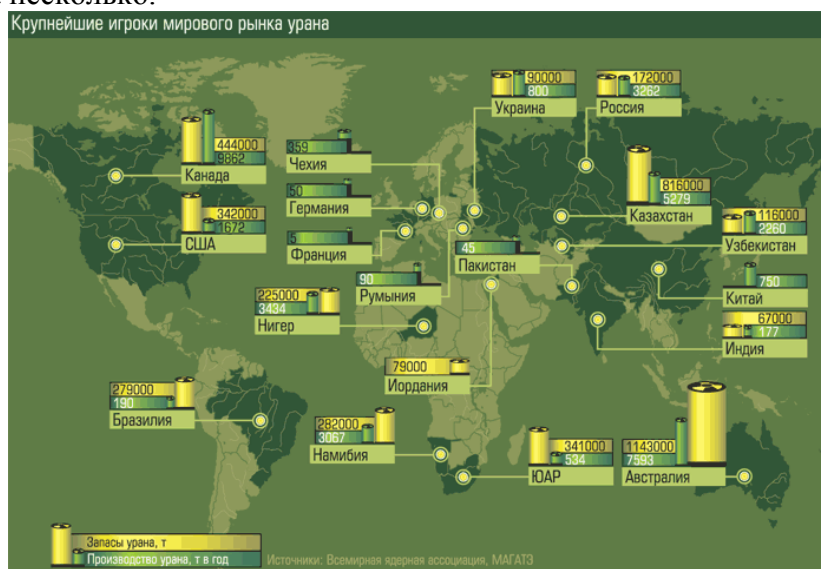


Рис. 140. Добыча урана в западном мире и потребности в уране.

12.5 Урановый рынок

Рынок урана по сравнению с рынками других металлов имеет ряд особенностей. Начать надо с того, что это не один рынок, а несколько.



Первый рынок - это рынок природного урана, активный, хотя и вполне сформировавшийся. В России сейчас добывается сравнительно мало урана, который идёт на удовлетворение собственных нужд. На мировом Россия присутствует, по сути, только за счет природной компоненты ВОУ-НОУ (высокообогащённый - низкообогащённый уран). Дело в том, что по контракту ВОУ-НОУ взамен поставляемого из России в США низкообогащенного энергетического урана, выработанного из нашего высокообогащенного оружейного урана (ВОУ), Россия получает от американцев не только деньги, но и природный уран. Именно его и выставляет Россия на первый рынок. Основные игроки рынка добычи и реализации природного урана - Канада, Австралия, Южная Африка, Казахстан. Россия играет не слишком заметную роль, но даже после 2013, когда закончится контракт ВОУ-НОУ, она собирается остаться на этом рынке и даже усилить своё присутствие.

Второй рынок - это рынок услуг по обогащению природного урана, где содержание изотопа ^{235}U 0,7%, до уровня энергетического (4,5%U). На этом рынке всего четыре основных игрока - Россия, американская компания USEC, французская AREVA и англо-немецкая URNCO. Россия контролирует четверть второго рынка (экспорт низкообогащённого топлива).

Третий рынок - фабрикация топлива, точнее, производство твэлов (тепловыделяющих элементов для реакторов), здесь много национальных игроков, но Россия контролирует пятую часть мирового рынка. Россия к 2030 собирается занять 45% мирового рынка услуг по обогащению урана для реакторов атомных электростанций.

Рынок дизайна реакторов. Есть российский дизайн, есть дизайн американских компаний General Electric, Westinghouse и немецкой-французской Siemens-Framatom. Это системообразующий рынок, потому что с дизайном реакторов связаны колоссальный объем машиностроения, развитие сопутствующих технологий, фабрикация топлива. Во всех странах, выбравших тот или иной дизайн реактора, сразу же возникает масса компаний, обслуживающих основной кластер.

Табл. 45. Цены на природный уран в закиси-окиси и услуги ядерного топливного цикла на мировом урановом рынке.

Показатель	Единица измерения	2005	2006	2007	2008	Измерение показателя		
		г	г	г	г	2007/2006	2008/2007	2009/2008
Природный уран в U_3O_8 на мировом рынке ($U \times U_3O_8 \text{ Price}$)	\$/U	86,45	156	221,0	117,0	80,5%	41,7%	-47,1%
Услуги по конверсии на рынке Европы ($EU \text{ Conv Price}$)	\$/U	11,50	12,50	11,0	9,75	8,7%	-12,0%	-11,4%
Услуги по обогащению на рынке России ($RU \text{ SWU Price}$) с апреля 2006г. не публикуется на мировом рынке ($SWU \text{ Price}$) в таблице с 2007г.	\$/EPP	92,00	98,00	143,0	159,0	6,5%	45,9%	11,2%

Следует иметь в виду, что поступающий на рынок ядерное топливо имеет как первичные (добыча на рудниках), так и вторичные источники.

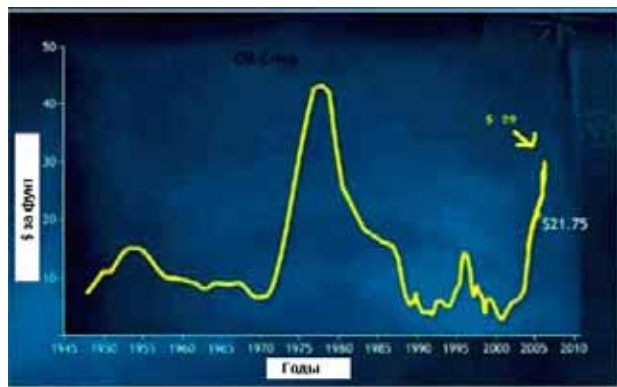


Рис. 141. Динамика цен на уран за 60 лет.

К вторичным источникам относятся: рецикл урана и плутония из отработанного топлива и изготовление смешанного оксидного (МОХ) топлива, обогащение обеднённых урановых хвостов, разбавление оружейного урана, запасы, ранее принадлежавшие военно-промышленному комплексу, запасов энергокомпаний, остатки от переработки руд других металлов (молибдена, висмута, золота, серебра и др.), оружейный плутоний. Сейчас 60% мировой потребности в уране удовлетворяется за счет добычи, остальное покрывается из

вторичных источников, однако эти поступления постепенно сокращаются. Вследствие того, что ввод в эксплуатацию новых мощностей по выпуску первичного урана сильно ограничен, доступность и объем урана, произведенного из вторичного сырья, определяют состояние мирового рынка урана. Рост цены на уран в будущем должен способствовать расширению производства первичного урана, так как поставки вторичного материала на рынок нестабильны, их объем постепенно сокращается и нет четкой информации о них даже на следующий год.

Спрос на урановое топливо более предсказуем, чем на другие сырьевые товары, т.к. он зависит от установленных и действующих мощностей АЭС и почти не привязан к колебаниям экономического цикла. В основном уран продается по долгосрочным контрактам между производителями и энергетическими компаниями, на спот-рынок (по краткосрочным контрактам) приходится лишь 12% мировой торговли. Электроэнергетические компании обычно закупают уран по контрактам со сроком исполнения от пяти до десяти лет, с тем чтобы гарантировать будущие поставки и уровень издержек. Спотовые цены превышают контрактные (в 1978 была зафиксирована двукратная разница), что естественно - чтобы не останавливать реакторы покупатели готовы платить повышенную цену.

Цены на уран также подвержены циклическим колебаниям, причём, цикл продолжается примерно 8 лет. Так, если в начале 70-х годов прошлого столетия в связи с перспективами строительства новых АЭС спрос на уран был высок, то в начале 80-х после аварий на АЭС (1979 – США, 1986 – СССР), темпы строительства АЭС резко снизились, что привело к затовариванию рынка урана и существенное отставание спроса от предложения (в 1980 производство урана на Западе 44 тыс. т, а потребности 22 тыс.т.) и привело к падению цен на уран. В 1996 цены выросли до уровня рентабельности, затем снова упали и начали повышаться только с конца 2003, активный рост достиг пика в 2007, после чего цены начали снижаться.

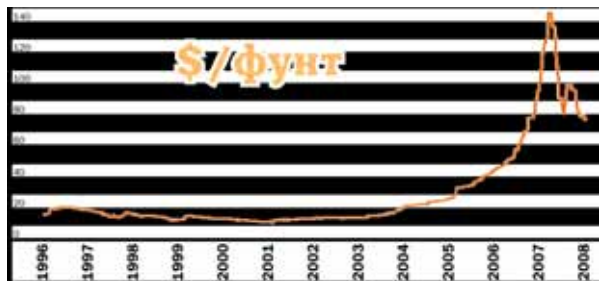


Рис. 142. Цены на урановый концентрат (U_3O_8) в последнее десятилетие.

На кривой динамики цен на уран в различные годы заметны максимумы при 1954 (рост атомной энергетики, создание атомного флота), 1976 (нефтяной кризис), 1995 (реакция рынка на предыдущее резкое падение, вызванное резким выбросом на рынок оружейного урана и, как следствие, закрытие шахт и уменьшение добычи) и 2007. В начале 21-го века в связи с исчерпанием складских запасов и активизации развития атомной энергетики цены на уран начали расти: если в 2003 они составляли 26,5 дол/кг, то в феврале 2006 превысили 102 дол/кг, а к началу 2007 достигли 300 дол/кг по спотовым контрактам. После шестикратного роста цен в 2005-2007 в середине 2008 они упали вдвое. Высокая степень неопределенности на рынке урана связана с влиянием двух разнонаправленных факторов - ожидаемым сокращением поставок сырья со стороны оборонной промышленности, с одной стороны, и большим количеством проектов по увеличению добычи урана – с другой. Падение цен во второй половине 2007 связано с землетрясением, повредившем одну из японских атомных станций и приостановкой реакторов в Великобритании и Германии, в 2008 цены падали уже из-за мирового финансового кризиса.

Замечание 1. Уровень спотовых цен не является показателем общерыночной стоимости урана, поскольку большая его часть (около 90%) реализуется путем закрытых сделок между поставщиками и конечным потребителем в рамках долгосрочных контрактов.

Замечание 2. Внутророссийские цены никак не реагируют на мировые: российские компании (например, ППГХО поставляет весь добываемый уран своей материнской структуре по строго фиксированным ценам). Рынка урана в России нет.

Несмотря на начало падения цен, большинство компаний наращивает добычу урана, рассчитывая на активное развитие атомной энергетики. В ближайшем будущем в мире будет построен 251 новый ядерный реактор для АЭС, в основном в Китае и странах Азии. МАГАТЭ и Всемирная ядерная ассоциация

прогнозируют неуклонный рост мировых потребностей в уране с 62 тыс. т в 2000 г. до 75 тыс. т и выше. Поэтому крупнейшие мировые производители приступили к реализации целого ряда проектов по увеличению добычи - преимущественно в Казахстане, Канаде и африканских странах. Продукция этих проектов должна заместить поставки оружейного урана в десятилетней перспективе, и от успеха их реализации во многом будет зависеть динамика цен на уран в ближайшем будущем. Ожидаемое бурное развитие атомной энергетики может привести к 2020 к увеличению цены на уран в 4 раза. При этом в 2010 дефицит поставок урана прогнозируется на уровне 5,7 тыс. т.

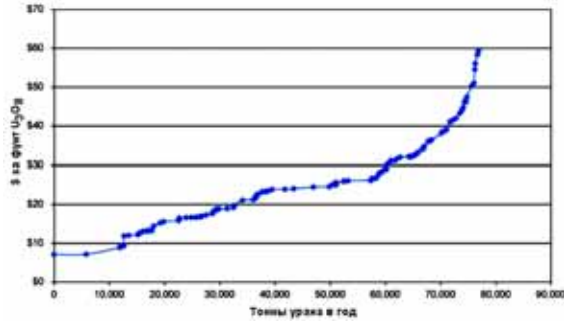


Рис. 143. Зависимость цены на уран от интенсивности его добычи (оценки на период 2007-30).

Замечание 1. Следует понимать, что увеличение добычи урана, т.е. вовлечение в производство бедных и труднодоступных руд, неминуемо приведёт к росту цен на уран (**Рис.**).

Замечание 2. В структуре ценообразования ядерного топлива на долю последнего этапа (фабрикации) приходится не более 8-10%. Сейчас обогащение урана является наиболее дорогой стадией ядерного цикла.

Затраты на него могут достигать 50% общих затрат на производство. Но в связи с ожидаемым ростом стоимости урана этот процентный баланс может существенно измениться. Например, при текущих спотовых ценах затраты на обогащение будут составлять уже 40% общих затрат на производство топлива, в то время как затраты на закупку урана - 50%.

12.6 Способы добычи урана

Особенностью разработки урановых месторождений является возможность применения для них как обычных горных способов добычи (открытый и подземный), так и способов подземного (скважинное, блочное) и кучного выщелачивания. Горные способы находят применение при отработке эндогенных, жильных и штокверковых месторождений, а также пластовых месторождений в плохо проницаемых (глины, угли) породах. При открытой разработке скальных пород используется буровзрывная технология отбойки и транспортировка горной массы автосамосвалами, а в рыхлых породах – прямая экскавация обычными и роторными экскаваторами. Подземная разработка ведется с применением различных, преимущественно высокоселективных систем с твердеющей закладкой очистного пространства.



Рис. 144. Распространённость в мире различных способов добычи урана (СПВ – скважинное подземное выщелачивание).

Скважинное подземное выщелачивание применяется при отработке пластовых экзогенных месторождений. Главными условиями его применимости являются высокая естественная проницаемость и обводненность рудовмещающей среды. При использовании этого способа месторождение разделяется на полигоны, последовательно разбуриваемые системами закачных и откачных скважин, причем на одну откачную приходится две-три или более закачных. Время выщелачивания урана из пород на каждом полигоне составляет 1-3 года. В зависимости от состава используемых рабочих растворов выделяют кислотную схему выщелачивания урана (растворы серной кислоты) и карбонатную схему (растворы карбонатов-бикарбонатов натрия и аммония). Выбор кислотной или карбонатной схемы решается экономическими расчетами с учетом химического состава руд и типом урановой минерализации.

При добыче и производстве урана предпринимаются различные меры предосторожности для защиты здоровья персонала:

- Тщательно контролируется уровень запыленности, чтобы минимизировать попадание в организм γ - или α -излучающих веществ. Пыль является главным источником радиоактивного облучения. Она обычно дает вклад в 4 мЗв/год в ежегодную дозу, получаемую персоналом.
- Ограничивается внешнее радиоактивное облучение персонала в шахтах, на заводах и местах размещения отходов. На практике уровень внешнего облучения от руды и отходов обычно настолько низок, что он практически не влияет на увеличение допустимой ежегодной дозы.
- Естественная вентиляция открытых месторождений уменьшает уровень экспозиции от радона и его дочерних изотопов. Уровень облучения от радона редко превышает один процент от уровня, допустимого для непрерывного облучения персонала. Подземные рудники оборудуются совершенными системами вентиляции

для достижения того же уровня. На Австралийских и -Канадских подземных рудниках средняя доза облучения составляет, приблизительно, 3 мЗв/год.

- Существуют строгие гигиенические нормы на работу персонала с концентратом оксида урана, поскольку он химически токсичен, подобно оксиду свинца. На практике предпринимаются предосторожности, защищающие органы дыхания от попадания токсинов, аналогичные тем, которые используются при работах на свинцовых плавильных печах.

Остановимся на основных методах добычи уранового сырья несколько подробнее.

12.6.1 Шахты

Шахтный способ добычи урана – самый старый, но до сих пор один из основных способов производства урана. Организация работ, в принципе аналогична методам горно-добывающей промышленности других металлов, но есть и отличия.



Урановые рудники отличаются от прочих методами добычи руды. Это вызывается тем, что залежи урановой руды встречаются чаще всего в виде узких пластов, что приводит к образованию рудника в виде разветвлённых штреков. Так как разработка урановой руды ведётся на одном горизонте с образованием штреков и очистных блоков, расположенных вблизи от основной откаточной выработки, то образование пыли в значительной мере локализовано. Разрабатываемые поверхности связаны между собой через проходы, ведущие к основной откаточной выработке. Отсутствие циркуляции воздуха от одного блока к другому не вызывает их взаимного загрязнения, а образование пыли при разработке поверхностей в урановых рудниках не велико.

При эксплуатации подземных урановых рудников необходимо следить, чтобы шахтные воды рудника постоянно откачивались и направлялись на гидрометаллургический завод в систему замкнутого технологического водооборота, а стены и верхний свод шахты не просачивали воду. На шахте также должна быть разрешена проблема радона: мощная вентиляция не должна позволять концентрироваться радону в воздухе. В то время, как образование кремниевой пыли происходит только при производстве работ по добыче руды, выделение радона и продуктов его распада происходит непрерывно. Если после окончания рабочей смены вентиляция выключается, то атмосферные концентрации радона и его дочерних продуктов резко возрастают, и поэтому перед началом следующей смены возникает необходимость снижать эти концентрации до предельно допустимых значений.

В обычных, не урановых рудниках и в каменноугольных шахтах, в которых происходит выделение газов, общая вентиляционная система работает непрерывно. В урановой шахте лучшим средством по снижению концентраций выделяющегося газа – радона также является непрерывная работа общей вентиляционной системы. Очевидно, отработанные выработки необходимо тщательно изолировать, т.к. они могут быть источником радиоактивного загрязнения вентилируемых областей.

При расчёте вентиляции урановых рудников особого внимания заслуживает специфическая особенность, связанная с присутствием в воздухе радиоактивного газа – радона – и продуктов его распада. Эта особенность состоит в том, что по мере того, как происходит удаление уже имеющихся в рудничном воздухе дочерних продуктов, из вновь поступающего в атмосферу радона успевают образоваться продукты его распада, и имеется некоторый предел, ниже которого при данной скорости вентиляции концентрация этих продуктов не может быть уменьшена. Этот предел зависит от скорости выделения радона, которая является одним из основных факторов, определяющих необходимый объём рудничной вентиляции.



Рис. 145. В урановой шахте.

Основная опасность для шахтёров урановых рудников исходит от вдыхания воздуха, содержащего радон; последний представляет собой тяжёлый газ, выделяющийся из руды вместе с продуктами радиоактивного распада. В урановых рудах, кроме урана, содержатся все другие члены радиоактивного ряда, в котором он является материнским нуклидом. Наибольшую опасность для здоровья горняков представляют следующие элементы этого семейства: радон (^{222}Rn), ^{214}Pb , ^{211}Bi и ^{214}Po .

Радон поступает в атмосферу рудника путём диффузии из руды или из протекающих в рудниках грунтовых вод. Несмотря на то, что радон мало растворим в воде, заметное количество его может переноситься грунтовыми водами под землёй на большие расстояния, выделяясь из них при уменьшении внешнего давления. Содержание радона в атмосфере рудника определяется скоростью эманирования,

скоростью вентиляции и периодом полураспада радона. Непосредственные дочерние продукты распада радона имеют малый период полураспада и поэтому они очень быстро накапливаются в атмосфере, даже если радон поступает в шахту без дочерних продуктов. Однако для установления радиоактивного равновесия между ними требуется около трёх часов, поэтому атмосферные концентрации этих элементов сильно подвержены действию вентиляции, в результате чего в рудниках редко можно встретить равновесные количества радона и его дочерних продуктов.

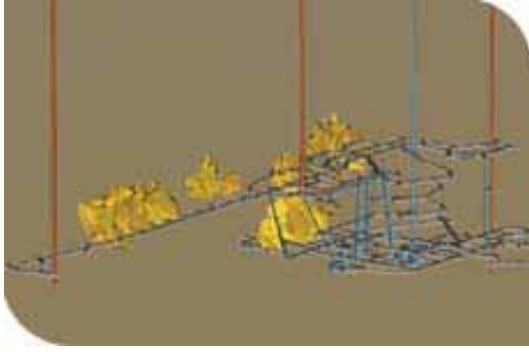


Рис. 146. Схема урановой шахты McArthur River (Канада).

В урановых шахтах следует непрерывно измерять концентрацию радона в атмосферном воздухе. Используются разные методы измерения атмосферных концентраций радона и продуктов его распада, которые отличаются друг от друга способом отбора проб, используемой аппаратурой и различной степенью точности.

Все они основаны на радиоактивности самого радона и его дочерних продуктов. Методик подробно описаны в нашем курсе лекций РАДОН: враг, врач, волонтер, и здесь мы на них останавливаться не будем.

Важно учитывать, что уже относительно небольшой обмен воздуха значительно уменьшает концентрацию радона и его дочерних продуктов в атмосфере угольных шахт; фильтрация воздуха является эффективной мерой удаления продуктов распада радона из рудничной атмосферы, снижающей их концентрацию до некоторой предельной величины, которая зависит от концентрации радона.

Основным условием безопасности работы в рудничной атмосфере является наличие хорошей общей вентиляции. Обеспечивая рудник кислородом, поступающий свежий воздух уменьшает также атмосферное содержание продуктов, вредных для здоровья горняков (пыли, продуктов сгорания различных веществ, газа, выделяющегося из трещин породы, и др.). Кроме того, вентиляция позволяет поддерживать в шахте необходимую температуру и влажность. При разработке системы общей рудничной вентиляции вентиляционные выработки необходимо планировать таким образом, чтобы свежий воздух поступал к рабочим местам возможно более коротким путём. Бездействующие и заброшенные горные выработки должны быть полностью изолированы от коммуникаций, по которым поступает свежий воздух; все двери и перекрытия должны быть выполнены так, чтобы предотвратить возможные утечки воздуха через них. В местах, где общая вентиляция не обеспечивает безопасные условия работы, необходимо использовать дополнительную искусственную вентиляцию, действие которой будет эффективным только в том случае, если правильно спланирована общая рудничная вентиляция.

Атмосферные концентрации радона и его дочерних продуктов зависят от скорости поступления радона в атмосферу путём диффузии из урановой руды (и за счёт эффекта отдачи) и из воздуха соседних выработок; скорости, с которой радон и его дочерние продукты удаляются из атмосферы этой выработки за счёт радиоактивного распада, а также посредством вентиляции или фильтрации; скорости осаждения дочерних продуктов радона на стенки. В результате действия вентиляции, концентрации дочерних продуктов радона уменьшаются в значительно большей степени, чем концентрация радона. Ввиду того, что относительная вредность дочерних продуктов радона больше, чем вредность самого радона, контроль за радиоактивным загрязнением воздуха в урановых рудниках может осуществляться по продуктам его распада. В качестве допустимого рабочего уровня содержания дочерних продуктов распада радона в рудничной атмосфере предлагается величина «скрытой энергии», равная $1,3 \cdot 10^5$ МэВ/л воздуха.

В заключение отметим, что в урановых рудниках, помимо радона, определённый экологический риск связан с загрязнением грунтовых вод токсичными химикалиями, используемыми для переработки урановых руд.



Рис. 147. Урановый карьер.

12.6.2 Карьеры

Помимо подземных шахт, популярным способом добычи урана являются открытые карьеры (некоторые из них глубиной до 500 м). Считается, что радиационная опасность таких карьеров для шахтёров значительно меньше, чем подземных шахт. Однако, для окружающей среды открытая добыча урана может представлять серьёзную опасность из-за пылеуноса. Изменения ландшафтов,

нарушение растительного покрова, неблагоприятные воздействия на местную фауну, - неизбежные последствия открытых разработок. Загрязнение поверхностных и грунтовых вод часто порождает проблемы,

особенно при использовании выщелачивающих жидкостей при добыче растворением и сливе жидкостей при гидравлической разработке. Серьёзная проблема возникает и из-за необходимости засыпки карьера отработанной породой и рекультивации после окончания горно-добывающих пород. Отработанные карьеры часто используются для захоронения радиоактивных отходов.

Существуют правила и законы, определяющие меры по охране окружающей среды как обязательный элемент при проектировании добычи. Они оговаривают такие требования, как предварительные оценки воздействия на окружающую среду; постепенное проведение программы восстановления, включая восстановление ландшафтов и лесных массивов, посадка эндогенной флоры, восстановление эндогенной дикой природы; а также одномоментные и долговременные проверки соответствия состояния окружающей среды существующим нормам.

12.6.3 Выщелачивание

Методы выщелачивания (шахтное подземное и скважинное подземное) в последнее время считается самым перспективным способом добычи урана.

Выщелачивание [leaching] - извлечение одного или нескольких компонентов из твердых тел (руд, концентратов, промежуточных продуктов, отходов производства) водным раствором, содержащим щелочь, кислоту или другой реагент, а также с использованием определенных видов бактерий; частный случай экстрагирования из твердой фазы. Обычно выщелачивание сопровождается химической реакцией, в результате которой извлекаемый компонент переходит из формы, не растворимой в воде, в растворимую.

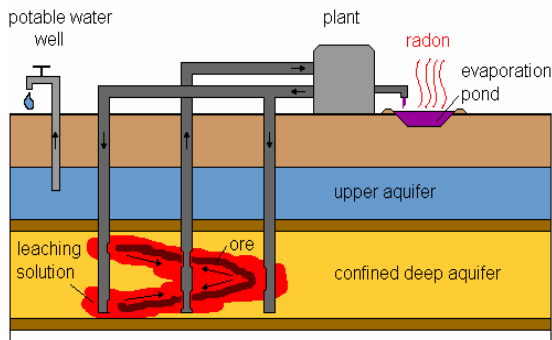


Рис. 148. Скважинное выщелачивание.

Рис. 149. Добыча урана методом подземного выщелачивания.

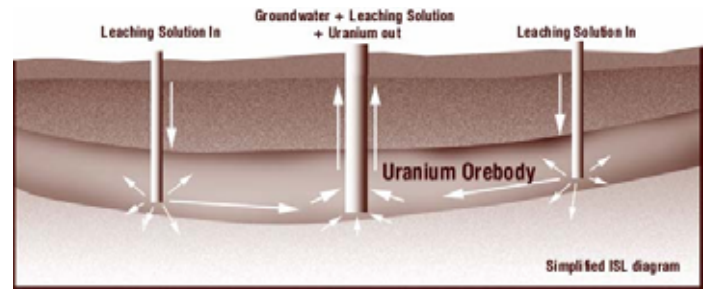
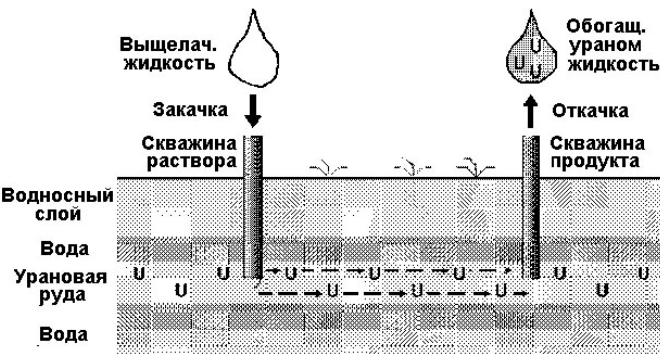
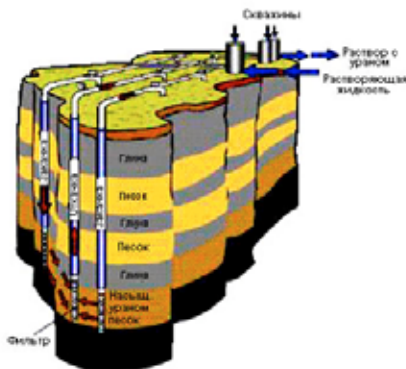


Рис. 150. Упрощенная схема скважинного выщелачивания.

Выщелачивание может сопровождаться окислением извлекаемого материала с целью перевода труднорастворимых соединений в легко растворимые (окислительное выщелачивание). В качестве окислителя применяют газы (воздух, кислород), жидкие и твердые неорганические вещества (HNO_3 , MnO_2 , KMnO_4 и др.), бактерии (бактериальное выщелачивание).

Рис. 151. Скважинное подземное выщелачивание урана.



Подземное выщелачивание [underground (in-situ) leaching] - выщелачивание на месте залегания урановых руд. Оно включает впрыскивание серной кислоты в массу руды и исключает проблему хранения хвостов, но при неблагоприятных условиях может вызвать загрязнение подземных вод. Подземное выщелачивание эффективно, когда рудное тело доступно растворителю, а получаемый раствор (щелок) по достижению водонепроницаемых пород (глины, гранита и др.) накапливается, что позволяет откачать его на верхний горизонт для последующего концентрирования и переработки. Подземное выщелачивание используют для извлечения Cu , Mo , U и др. металлов, когда минералы, содержащие металлы,

находятся в линзах - рудных телах размером > 200 м, разделен, большими промежутками пустой породы, и когда либо мощность пластов невелика, либо содержание металла в них мало. В качестве используют растворители, избирательно растворяющие нужный минерал и не реагирующие с вмещающей породой, при этом растворитель и получаемый щелок не должны закупоривать поры и капилляры в выщелачиваемой руде.



Рис. 152. Щелочное скважинное выщелачивание на урановом руднике, США.

Подземное выщелачивание состоит в подаче выщелачивающего раствора под землю непосредственно в рудное тело или в слой специально подготовленной руды и выкачивании раствора, просочившегося через слой руды, на поверхность. Известны два основных варианта подземного выщелачивания - скважинный (бесшахтный) и шахтный (блочный). В подземных рудниках используются старые или специально созданные шахты, подготовленные подземные камеры с обрушенной рудой, а для сбора продукционного раствора - штольни или штреки.

Подземное выщелачивание, применяемое обычно при глубине залегания рудного тела не более 600 м, позволяет вовлечь в горно-рудную промышленность бедные урановые руды, резко сократить объемы капитальных вложений и сроки строительства предприятий, повысить в 2-4 раза производительность труда, значительно уменьшить вредное воздействие на природу (не нарушать ландшафт, резко снизить количества твердых отходов и вредных веществ, выносимых на поверхность земли, сравнительно просто восстанавливать отработанные участки). Несмотря на определенные требования при выборе участков для подземного выщелачивания (наличие подстилающих водонепроницаемых горных пород, высокая проницаемость самого рудного тела, удобная гидрологическая обстановка и др.), таким путем в мире добывают 10% U и 18% Cu.

При бактериальном выщелачивании используется способность автотрофных бактерий (*Thiobacillus ferrooxidans*, *Ferrobacillus thiooxidans* и др.) поглощать для своей жизнедеятельности энергию, выделяемую при окислении сульфидов и тиосульфатов металлов, серы, а также при переходе Fe^{2+} в Fe^{3+} . Указанные бактерии содержат вещества, катализирующие эти реакции. В результате образуется H_2SO_4 или соли Fe^{3+} , которые можно применять как реагенты для выщелачивания. Наибольшая активность бактерий наблюдается при 30-35° и определенной кислотности среды. Бактериальное выщелачивание сочетают с подземным, культивируя бактерии перед подачей под землю в специальных ёмкостях.

Подземное выщелачивание цветных металлов известно с 16 в. (Испания), в крупных промышленных масштабах метод впервые освоен на медном руднике Кананеа в Мексике (1924) и на медноколчеданных месторождениях Урала (1939-42). Урановые руды разрабатываются подземным выщелачиванием с 1957. Выбор растворителя при подземном выщелачивании зависит от состава руды и характера химического соединения, образуемого полезным компонентом. Подземное выщелачивание относится к фильтрационным процессам и основано на химических реакциях «твёрдое тело – жидкость».

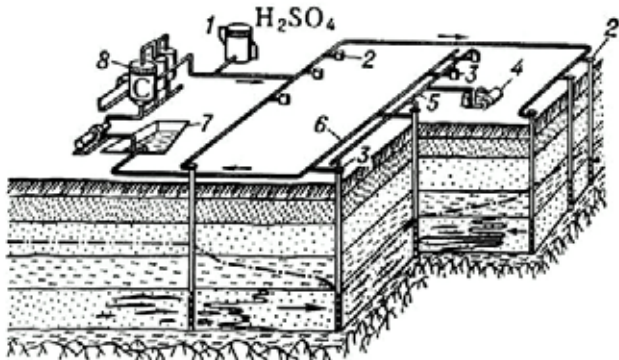


Рис. 153. Схема отработки пластовых месторождений выщелачиванием через скважины: 1 - узел приготовления растворов; 2 - нагнетательные скважины; 3 - дренажные скважины; 4 - компрессор; 5 - воздухопровод для эрлифта продуктивных растворов; 6 - коллектор для продуктивных растворов; 7 - отстойник; 8 - установка для переработки раствора.

Метод подземного скважинного выщелачивания (ПСВ) отличается высокой экологической безопасностью и рентабельностью по сравнению с традиционным методом разработки. Подземное скважинное выщелачивание является способом разработки рудных месторождений без поднятия руды на поверхность путем избирательного перевода ионов природного урана в продуктивный раствор непосредственно в недрах. Данный метод осуществляется бурением скважин через урановорудные тела, подачей раствора в урановорудные тела, подъема урансодержащих растворов на поверхность и извлечением из них урана на сорбционных ионообменных установках, добавлением кислоты в маточные растворы и закачкой их снова в недра. Скважинное выщелачивание является наиболее привлекательным способом добычи урана с точки зрения упрощенности технологических операций. При скважинном выщелачивании не происходит изменения геологического состояния недр, так как не производится выемка горнорудной массы. Общая

поверхность земли, занимаемая полигоном подземного выщелачивания и перерабатывающим цехом для получения 500 метрических тонн U/год U_3O_8 , в 3-4 раза меньше площади, занимаемой типичным гидрометаллургическим заводом на эту же производительность.

В процессе скважинного выщелачивания в подвижное состояние в недрах переходит и выводится на поверхность менее 5% радиоактивности, по сравнению со 100% при традиционных способах добычи урана. Отпадает необходимость строительства хвостохранилищ для хранения отходов с высоким уровнем радиации. Однозначно установлено, что природная гидрогеохимическая среда на урановых месторождениях обычно способна к самовосстановлению от техногенного воздействия. За счет постепенного восстановления естественных окислительно-восстановительных условий происходит хоть и медленный, но необратимый процесс рекультивации подземных вод рудовмещающих водоносных горизонтов. Существуют методы значительной интенсификации этого процесса, ускоряющий рекультивацию в десятки раз.

Тем не менее, метод скважинного выщелачивания является достаточно опасным с экологической точки зрения способом добычи. Выщелачивающий уран-содержащий раствор может вытечь из рудного тела зоны через любые разломы в горной породе или разрывы в гидроизолирующих слоях, через треснувшие скважины, с последующим распространением по водоносному слою, по штрекам старых шахт и т.п. Это может привести к постоянному загрязнению грунтовой воды на больших расстояниях от рудника. Помимо урановых, выщелачивающие растворы растворяют и другие минералы, в результате чего подвижным становится не только уран, но и элементы: радий, мышьяк, ванадий, молибден, кадмий, никель, свинец и другие, причём они концентрируются в тысячу раз. Из-за свойств грунтовой воды и химии рудного тела, твёрдые минералы могут осаждаться из раствора в процессе подземного выщелачивания, образуя кальцит, гипс, ярозит и другие минералы. Возникшие осадки могут уменьшить или даже полностью заблокировать поток раствора через уран-содержащие области, приводя к непредсказуемым результатам или преждевременному закрытию рудника.

Рис. 154. Подземное выщелачивание скальных руд.

Скважинное выщелачивание производит чрезвычайно большие количества сточных вод и растворов, от которых нужно избавиться экологически приемлемым способом. К ним относятся промывные воды (избыточная насосная вода) и жидкие отходы от урановой обогатительной фабрики. Эти жидкости смешивают и повторно закачивают в ту же самую грунтовую воду, что участвовала в добыче урана, или закачивают в глубокий водоносный слой далеко от других пользователей грунтовых вод или от экологически чувствительных областей. В этих жидких отходах находятся высокие концентрации радионуклидов и тяжелых металлов, и область их распространения нуждается в восстановлении после закрытия рудника.

При подземном выщелачивании проницаемых рудных тел месторождение вскрывается системой скважин, располагаемых (в плане) рядами, многоугольниками, кольцами. В скважины подает растворитель, который, фильтруясь по пласту, выщелачивает полезные компоненты. Продуктивный раствор откачивается через другие скважины (Рис. 154). В случае монолитных непроницаемых рудных тел залежь вскрывают подземными горными выработками, отдельные рудные блоки дробят с помощью буровзрывных работ. Затем на верхнем горизонте массив орошают растворителем, который, стекая вниз, растворяет полезное ископаемое. На нижнем горизонте растворы собирают и перекачивают на поверхность для переработки.

Одно из основных препятствий для применения подземного выщелачивания - низкая скорость реакций, для увеличения которой применяется воздействие на рудный массив электрическими и электромагнитными полями, предварительным нагревом, обжигом и др. При разработке месторождений урановых руд часто используют комбинированные системы подземного выщелачивания: из элементов скважинных и шахтных систем выщелачивания; из элементов систем шахтного выщелачивания и какого-либо другого типа выщелачивания.

Одно из основных препятствий для применения подземного выщелачивания - низкая скорость реакций, для увеличения которой применяется воздействие на рудный массив электрическими и электромагнитными полями, предварительным нагревом, обжигом и др. При разработке месторождений урановых руд часто используют комбинированные системы подземного выщелачивания: из элементов скважинных и шахтных систем выщелачивания; из элементов систем шахтного выщелачивания и какого-либо другого типа выщелачивания.

12.6.4 Кучное выщелачивание

Кучное выщелачивание - процесс получения полезных компонентов (прежде всего металлов) растворением подготовленного (раздробленных забалансовых руд и отвалов бедных руд или хвостов обогатительной фабрики) и уложенного в специальный штабель минерального сырья, с последующим их выделением (осаждением) из циркулирующих растворов.

Современная технология кучного выщелачивания благородных металлов получила свое развитие в основном в последние 20 лет, хотя применение этого метода имеет давнюю историю. Например, на шахтах Венгрии извлекали медь из подотвальных медьсодержащих вод еще в середине XVII века, а испанские

горняки делали то же самое, пропуская кислые растворы через крупные кучи окисленных медных руд на берегах Рио Тинго в 1752 году. В 1887 шотландцы Р. и У. Форресты получили патент на извлечение золота методом цианирования. К 1900 уже использовались такие технологии, как циклическое выщелачивание с выстаиванием с целью повышения извлечения металла. С конца 50-х годов кучное выщелачивание как кислыми, так и щелочными растворами практикуется в урановой отрасли.

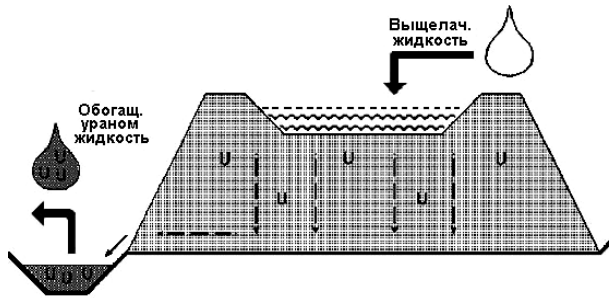


Рис. 155. Схема кучного выщелачивания урановой руды.

Кучное выщелачивание [heap leaching] - выщелачивание ценных компонентов из отвальных, забалансовых и потерянных руд, проводимое на открытых, специально оборудованных площадках; отличается высокой производительностью и низкой себестоимостью продуктов. Широкое применение в промышленной практике кучное

выщелачивание меди и урана из руд и отвалов получило в США (16 рудников), странах африканского континента, Австралии, Испании и др. В СНГ применяется на Николаевском месторождении (Казахстан) для переработки отвалов забалансовых медноколчедановых руд. Добавление H_2SO_4 при выщелачивании сведено к минимуму из-за её образования, при естественного окислении пирита.

Кучное выщелачивание применяется для переработки руд, содержащих легко растворимые полезные компоненты; такие руды должны быть относительно пористыми и недорогими (обычно они добываются в открытых разработках). Иногда кучное выщелачивание используется для переработки отвалов, возникших в результате процессов предшествующей добычи и утилизации руды, когда затраты на добычу уже произведены. Для загрузки руды подготавливается слабо наклонная поверхность, непроницаемая для выщелачивающих растворов. Вдоль и поперек этой поверхности создаются водосборные углубления для дренажа. После загрузки руда заливается большим количеством выщелачивающего раствора, достаточным для того, чтобы пропитать всю ее толщу. Раствор проникает между частицами руды и производит растворение полезных компонентов. Через некоторый период времени материал высушивают и извлекают корку, образованную растворившимися ценными составляющими, а обработанную рыхлую породу смывают в дренажную систему.

Выщелачивание путем просачивания используется при переработке руд, которые при дроблении измельчаются плохо и не содержат природного шлама или глины. Это довольно медленный процесс. Выщелачивание при просачивании осуществляется главным образом в баках, хорошо приспособленных для загрузки и разгрузки. Дно бака должно быть эффективным фильтром, позволяющим производить через него закачку и откачку раствора. Баки загружаются раздробленной рудой определенной фракции крупности; иногда в целях более плотной и равномерной загрузки она смачивается. Затем выщелачивающий раствор закачивается в бак и впитывается в руду. По истечении необходимого времени выдержки раствор с выщелоченными компонентами откачивается, а руда промывается для удаления остатков выщелачивающего раствора.

Крупнейшие производственные центры по добыче и переработке урановых руд						
Производственный центр	Виды производств	Месторождения	Проектная мощность, т/год	Добыч в 2007 г., т	% от миров. произв.	Владелец-оператор
МакАртур-Ривер, Канада	горнодобывающее предприятие	МакАртур-Ривер	7200	7201	17,48	Cameco – 69,8%
Рейнджер, Австралия	комбинат*	Рейнджер	4660	4589	11,14	ERA (68% Rio-Tinto)
Раббит-Лейк, Канада	комбинат	Игл-Поинт	4615	1544	3,75	Cameco 100%
Россинг, Намибия	комбинат	Россинг	4000	2582	6,27	Rossing (68% Rio-Tinto)
Олимпик-Дэм, Австралия	комбинат	Олимпик-Дэм	3930	3354	8,14	WMC Resources (100% BHP Billiton)
ППГХО**, Россия	комбинат	Антей, Стрельцовское, Октябрьское и др.	3500	3037	7,37	В доверит. управлении и АРМЗ
МакКлин-Лейк, Канада	комбинат	Сью А-С, МакКлин	3077	730	1,77	AREVA-70%
Акута, Нигер	комбинат	Акута, Акола	2300	1404	3,41	COMINAK (34% AREVA)
НГМК****, Узбекистан	комбинат	Сугралы, Северный Канимех и др.	2300	2270	5,51	НГМК

*Комбинат включает в себя горнодобывающее предприятие (рудник), обогатительную фабрику и гидрометаллургическое производство.

** ППГХО – Приаргунское производственное горно-химическое объединение.

***НГМК – Новоийский горно-металлургический комбинат

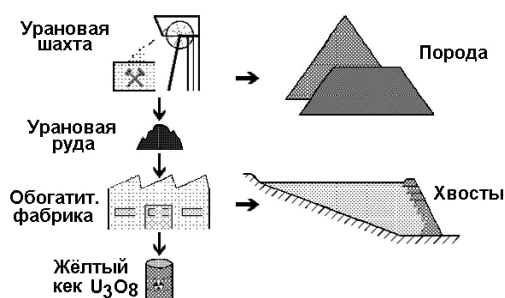


Рис. 156 Переработка урановой руды: отходы рудников и обогатительных фабрик.

12.6.5 Хвостохранилища урановых рудных отходов

Ядерная индустрия образует отходы на урановых шахтах и карьерах, обогатительных заводов и аффинажных производств (в отвалы идёт уран природного изотопного состава), заводов по изотопному обогащению урана (в отвалы идёт обеднённый уран) и заводов по производству ТВЭЛ для энергетических, промышленных и транспортных реакторов.

В ходе добычи, вблизи рудников возникают терриконы отвалов горной породы, содержащие вкрапления урановых минералов, а в окрестностях обогатительных фабрик – отвалы «хвостов», обеднённые по материнскому изотопу (урану) и сильно обогащенные по дочерним продуктам (радию, радону, полонию).

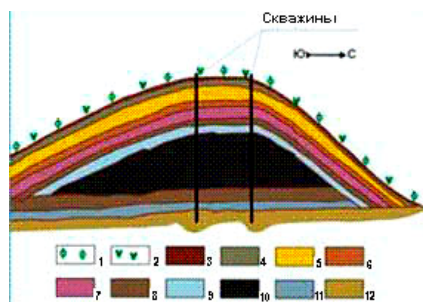


Рис. 157. Якутский могильник твёрдых радиоактивных отходов: 1 – кустарник, 2 – многолетние травы, 3 – почвенный слой, 4 – грунт, 5 – теплоизоляционный слой, 6 – суглинок, 7 – торф, цементированный льдом, 8 – суглинок, 9 – ледяной панцирь, 10 – твёрдые радиоактивные отходы, 11 – незагрязнённый грунт, цементированный льдом, 12 – основание могильника.

Замечание: Есть виды отходов старых обогатительных фабрик, обеднённых по радию, так как одно время урановые руды добывались не столько из-за урана, сколько из-за радия.

Наиболее существенным отходом переработки урановой руды является тонко разделенный твёрдый остаток, известный как хвосты. Они обычно содержат 70% радиоактивности первоначальной руды, включая долгоживущие радионуклиды ^{230}Th (период полураспада = 80,000 лет) и ^{226}Ra (период полураспада 1600 лет). Радий является непрерывным источником ^{222}Rn (период полураспада = 3.8 дня), который, будучи газом, легко

распространяется. Дочерние продукты радона являются источниками облучения и известной причиной рака легких у шахтеров урановых шахт.

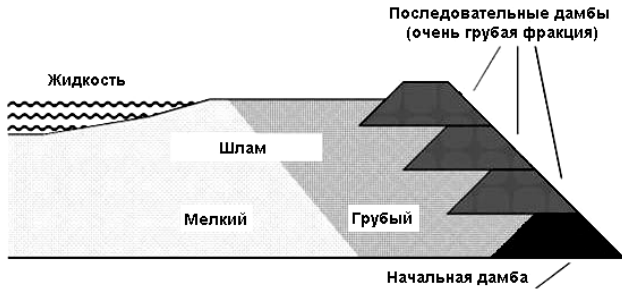


Рис. 158. Отвалы (хвосты) предприятий урановой горно-рудной промышленности.

Обычно одно хвостохранилище урановых руд занимает площадь 300 - 500 га и содержит 50 - 100 миллионов тонн отходов, активностью 2000-5000 ТБк. Первичные отходы (тип А) представляют собой тонкодисперсную массу,

образовавшуюся в результате содового или кислотного извлечения урана из измельченной руды. Они состоят из рудных (минеральных) остатков и технологических гидратных осадков (гидроксидов, сульфатов, карбонатов и т.д.). Распределение разных типов отходов и их состав как по площади хвостохранилища, так и по глубине многометровой толщи отходов крайне гетерогенное. Как правило, хвостохранилище оформляют в виде курганного могильника, т.е. засыпают песчано-гравийной смесью, глиной, землей, покрывают дерном, территорию обносят бетонным забором.

Радиоактивность хвостохранилища образуется долгоживущими изотопами, с периодами полураспада некоторых из них в миллионы лет. Тем не менее, в отличие от стабильных токсинов, концентрация радионуклидов падает во времени, причём на кинетике падения можно выделить три стадии (**Рис. 160**).

В настоящее время к некоторым отвалам возник промышленный интерес: рост цен на уран, улучшенные технологии экстракции, экологическая необходимость ликвидации хвостов, наличие других ценных компонентов (например, редких земель) делают рентабельной переработку некоторых отвалов старых производств. Особенно это актуально для Европы, где в Германии, Чехии и Франции скопились мощные отвалы переработки урановых руд.

Замечание. Уран содержится не только в отвалах урановых шахт, отвалы тепловых электростанций на угле, так же содержат уран в перспективных количествах. Например, канадские фирмы извлекают уран из угольных отвалов ТЭЦ Китая. В хвостах китайских угольных станций находится 0,28 кг урана в одной тонне угольных отвалов, так что переработка 5 млн. тонн отвалов может дать полторы тысячи тонн урана, и этот уран может обеспечить, в принципе, всю атомную энергетику Китая.

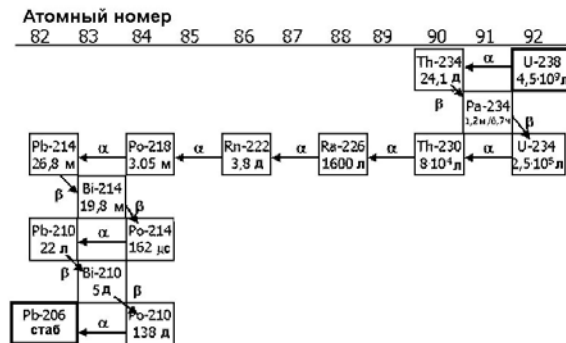


Рис. 159. Схема распада урана-238 (представлены только основные члены ряда).

Замечание. Примерно 95% радиоактивности в руде с содержанием 0.3% U_3O_8 исходит от радиоактивного распада ^{238}U и достигает 450 кБк/кг. Этот ряд имеет 14 радиоактивных долгоживущих изотопов и, таким образом, каждый из них дает 32 кБк/кг (независимо от массового соотношения). После обработки из руды удаляется ^{238}U и немного ^{234}U (и ^{235}U) и радиоактивность снижается до 85% ее первоначального значения. После удаления большей части ^{238}U , два короткоживущих продукта его распада (^{234}Th и ^{234}Pa) скоро исчезают и, по истечению нескольких месяцев, уровень радиоактивности снижается до 70% ее первоначального значения. Основным долгоживущим изотопом тогда становится ^{230}Th (период полураспада 77000 лет), который превращается в радий-226 с последующим распадом в радон-222.

12.6.6 Экологические проблемы предприятий горно-рудной промышленности

От деятельности урановой горно-добывающей промышленности в первую очередь страдают работники этих предприятий (шахтеры, операторы оборудования и т.п.), а во вторую – жители окрестных населённых пунктов и дикая природа.

Помимо традиционных рисков работников горно-рудных предприятий (например, силикоза) шахтеры урановых рудников имеют дополнительный онкологический риск, главным образом рака лёгкого, возникающего из-за вдыхания радиоактивной пыли, радона и продуктов его распада (вероятность возникновения рака лёгкого у горняков урановых шахт в шесть раз выше, чем у горняков нерадиоактивных шахт). Следует, однако, отметить, что у шахтеров есть много других причин заболевания раком лёгких, никак

не связанных с образованием в рудах радона (одна химическая токсичность самого урана чего стоит!). Это обстоятельство, а также большой временной интервал между вдыханием радиоактивной пыли и возникновением онкологического заболевания (15 – 30 лет) не позволяет количественно оценить величину радонового риска.

В давние времена «дикой» добычи урана, меры по защите шахтёров ни где в мире не применялись. Так, в 1955 концентрации радона в шахтах корпорации «Висмут» в среднем была равна 100000 Бк/м^3 , а максимальная - $1.5 \cdot 10^6 \text{ Бк/м}^3$. В конце пятидесятых, руду при обработке стали увлажнять, для предотвращения образования пыли, а шахты - интенсивно проветривать для понижения концентрации радона. В результате дозы от продуктов распада радона уменьшились от 150 WLM до 4 WLM ежегодно (WLM - месячный рабочий уровень - единица для дозы от продуктов распада радона). Но всё равно, в 1993 в воздухе румынской урановой шахты Avram Iancu была высокая концентрация радона (до 60000 Вк/м^3).

Добыча и переработка урановой руды оказывают вредное воздействие не только на здоровье работников этих предприятий, но и на здоровье населения и окружающую среду. Оно включает:

- загрязнение шахтных вод ураном и другими радионуклидами,
- слив сточных вод в грунтовые воды,
- смыв дождями радионуклидов с загрязнённых территорий и разнос их по окружающей среде,
- поступление радона из шахт, отвалов отработанной породы и хвостохранилищ,
- выщелачивание радионуклидов из хвостов с последующим стоком их в природные воды,
- эрозию систем хвостохранилищ с рассеянием токсинов ветром и водой,
- загрязнение подземных и поверхностных вод ядовитыми нерадиоактивными веществами, такими как тяжелые металлы и реактивы, используемые при переработке руды.

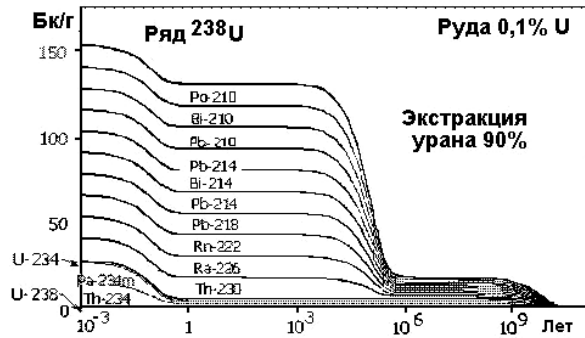


Рис. 160. Изменение во времени активности некоторых радионуклидов в отвалах урановых руд.

Трассером уранового загрязнения может быть изотопное отношение $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$, которое в рудах и рудных остатках близко к равновесному значению, а в поверхностных грунтовых водах существенно превышает его величину.

Основные пути переноса урана от хвостов рудников и обогатительных фабрик в среду обитания человека приведены на **Рис. 140**. При этом основным вредным фактором является радоновый риск (**Рис. 139**).

Как уже упоминалось, в Европе урановая руда добывалась либо в открытых карьерах, либо в подземных шахтах. При этом с пользой использовано только 0.1% руды, всё остальное - отходы. Сразу после Второй мировой войны, уран извлекали из неглубоких месторождений, потом – из глубоких шахтах. Со снижением цен на уран на мировом рынке, подземная горная промышленность стала нерентабельной, и большинство шахт было закрыто. В активный период горной промышленности, большие количества воздуха, загрязненного радоном и пылью были перенесены на открытую дневную поверхность. К примеру, в 1993 из шахты Schlemma-Alberoda (Саксония, Германия) в воздушный бассейн было вынесено $7,43 \cdot 10^9 \text{ м}^3$ (то есть скорость загрязнения составляла $235 \text{ м}^3/\text{с}$) воздуха со средней концентрацией радона 96000 Бк/м^3 .

Понизив дозу для шахтёров, вентиляция увеличила радиационную нагрузку на жителей окрестных посёлков. Важно, что это нагрузка продолжалась и после закрытия шахт, поскольку вентиляцию осуществляют в течение довольно длительного периода консервации рудника и его затопления. В 1992 уровни радона для жителей города Schlemma в Саксонии были значительно понижены путём изменения шахтной вентиляции: загрязненный воздух стали выбрасывать далеко от жилых массивов. В Болгарии закрытая урановая шахта расположена прямо на окраине деревни Eleshnitsa, так что в жилых домах радона много. Считают, что 0.3 - 1 случая возникновения рака лёгкого в год среди 2600 жителей деревни связаны с близостью шахты. Но радон и урановая пыль, выбрасываемая вентиляцией шахты, не только непосредственно увеличивают радиационную нагрузку на население. Анализ различных пищевых продуктов, выращенных в Ronneburge (уран, добывающий район в Тюрингии), показал, что потребление местной пищи вносит достаточно высокий дозовый вклад 0.33 мЗв ежегодно, в основном из-за пшеницы, выращенной у выхода шахтной вентиляции.

Большие количества грунтовой воды непрерывно выкачиваются из урановых шахт, чтобы держать их сухими в ходе добычи. Эта вода сливается в реки, ручьи и озера. Так, в отложениях рек в районе Ronneburge, концентрации радия и урана равны 3000 Бк/кг , т.е. в 100 раз выше естественного фона. В Чехии длительное загрязнение отложений реки Ploucnice вызвано плохой очисткой шахтных вод уранового рудника Hamr I, эксплуатируемого до 1989. Долина реки загрязнена на отрезке 30 км. Дозы, полученные от γ -радиации,

достигают в максимуме 3.1 Гр/час, т.е. в 30 раз выше фона. В реке Lergue во Франции, сточные воды Le Bosc уран-добывающего комплекса Herault привели к концентрациям ^{226}Ra в отложениях 13000 Бк/кг, что практически равно концентрации радия в самой урановой руде.

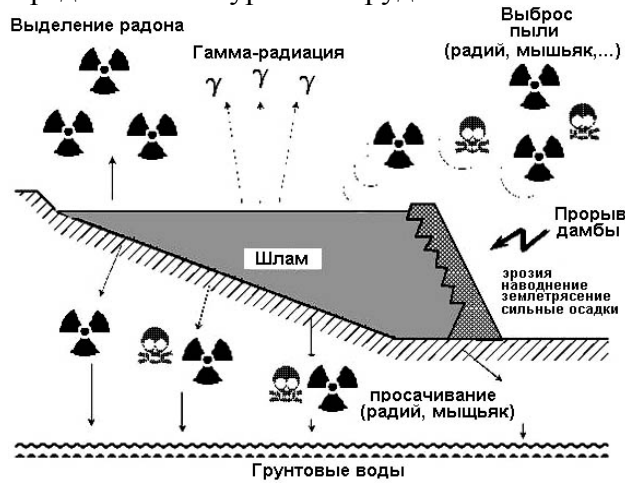


Рис. 161. Опасность отвалов предприятий урановой горно-рудной промышленности.

Следует отметить, что в старых областях горной промышленности, например, в Рудных горах, проблемы, возникающие из урано-добывающей промышленности накладываются на проблемы всей горной промышленности, имевшей место в средние века. В Schneeberg например, чрезвычайно высокие концентрации радона найдены в домах: в жилых помещениях 20000 Бк/м^3 , а в подвалах - 100000 Бк/м^3 . Эти уровни вызваны наличием прямого доступа к старым шахтным выработкам, существующего в основаниях многих зданий, и к другим путям миграции радона от шахты до фундамента. Роль этого фактора в онкологии жителей до сих пор чётко установить не удалось. К тому же, следует напомнить, что в районе Freital каменный уголь добывают с 1542. Этот уголь настолько радиоактивен, что в 1952-1955 и 1967-1989 концерн «Висмут» добывал его исключительно ради урана. Дома строились из шлака, образовавшегося при сжигании этого угля, пепел от печей покрывал все окрестности более 500 лет, поэтому разделить канцерогенный риск населения от урановых и неурановых шахт практически невозможно.

Экологическую опасность представляют и отвалы урановых рудников. Ненужная порода извлекается из открытых карьеров при вскрытии рудного тела, при строительстве подземных шахт, при прокладке штреков через нерудные зоны. Терриконы поднятой на поверхность породы обычно содержат больше радионуклидов, чем окружающие породы. Некоторые из них – те же урановые руды, но с содержанием урана ниже рентабельности добычи, в свою очередь зависящей от современной технологии и экономики. Все эти скопления отходов представляют опасность для окрестных жителей, так как и после закрытия рудников в них продолжается генерация радона, который выделяется и перемещается в среду обитания. Кроме того, ряд токсинов (не обязательно – радиоактивных) вымываются из терриконов и загрязняют грунтовые воды. К примеру, отвалы пустой породы при шахте Schlemka имеют объём 47 миллионов м^3 и занимают 343 гектара. Причём отвалы находятся в верховьях наклонной долины, внизу плотно заселённой. Результат: средняя концентрация радона в воздухе населённых пунктов 100 Бк/м^3 , а в некоторых – выше 300 Бк/м^3 . Это даёт дополнительные случаи рака лёгкого 20 (и 60, соответственно) на 1000 жителей. Для южной части г. Ronneburg пожизненный дополнительный риск рака легкого равен 15 случаям на 1000 жителей. Учитывая быстрое распространение радона с ветрами, существует риск жителей более широкого ареала: дополнительный риск рака легкого составляет 6 случаев ежегодно в пределах радиуса 400 км.



Рис. 162. Основные транспортные пути урана от отвалов рудников к среде обитания человека.

Другая проблема - утечка токсинов из отвалов горной породы. Например, водные утечки из отвалов в Schleme/Aue равны $2 \cdot 10^6$ м³ ежегодно, половина из которых втекает в грунтовую воду. Так называемая пустая порода часто перерабатывается в гравий или цемент с целью использования в строительстве железных или автомобильных дорог. В результате радиоактивность рассеивается по большому региону. В Чехии материал с концентрациями урана до 200 г на тонну и концентрациями радия до 2.22 Бк/г использовали для дорожного строительства вплоть до 1991.

Если переработка урановой руды на обогатительной фабрике нерентабельна, то уран из бедной руды извлекают методом кучного выщелачивания. Серная кислота заливается на верхнюю поверхность рудного слоя, после чего она просачивается сквозь руду, скапливается на футеровочном слое, вытекает с нижнего края, где её собирают и перевозят на перерабатывающий завод. Кучное выщелачивание низкосортных урановых руд «Висмут» проводил на месторождении Gessental в Ronneburg (7 миллионов тонн) и в Königstein (2 миллиона тонн), на венгерском руднике Pécs (2-3 миллиона тонн); в Mähring в Баварии (15000 тонн). Опасность кучного выщелачивания определяется пылеуносом, стоком урансодержащих растворов и утечкой кислоты. После завершения работ экологическая опасность сохраняется из-за естественных процессов выщелачивания, имеющих место благодаря присутствию в породе минерала пирита (FeS₂). Осадки, вместе с притоком воздуха вызывают в слое непрерывную генерацию серной кислоты, что приведёт к постоянному выщелачиванию урана и других загрязнителей, отравляя грунтовые воды в течение многих столетий.

Замечание. Сульфиды металлов в контакте с водой и воздухом в теплом климате имеют тенденцию вступать в реакцию, особенно в присутствии некоторых бактерий. Получающиеся при этом серная кислота и токсические тяжелые металлы могут попадать через грунтовые воды в водоемы.

В случае скважинного выщелачивания (in Situ Leaching) урановая руда не удаляется из месторождения, но по одним скважинам подаётся выщелачивающая жидкость, а обогатённая ураном жидкость извлекается через другие скважины. Выщелачивающая жидкость – это раствор карбоната аммония или серная кислота. Метод применим, если урановая руда находится в пористой породе, ограниченной непроницаемой породой. По экономическим причинам, это - единственная технология, используемая в США; в Саксонии шахта Königstein около Дрездена была переведена на выщелачивание, продолжавшегося до 1990. В малом масштабе, скважинное выщелачивание использовалось в Ronneburg (Тюрингия). В Чехии - в крупном масштабе на Stráz Ralskem, в Болгарии - на 8 месторождениях. Преимущества этой технологии: уменьшенные опасности для рабочих от несчастных случаев и радиации, низкие затраты; отсутствие отвалов пустой породы. Недостатки: риск распространения выщелачивающей жидкости за пределы рудного тела, с последующим загрязнением грунтовых вод, непредсказуемое воздействие экстрагента на окружающие рудное тело породы, возникновение шлаков и сточных вод в процессе извлечения урана из растворов, невозможность восстановления естественных условий залегания грунтовых вод после завершения добычи.

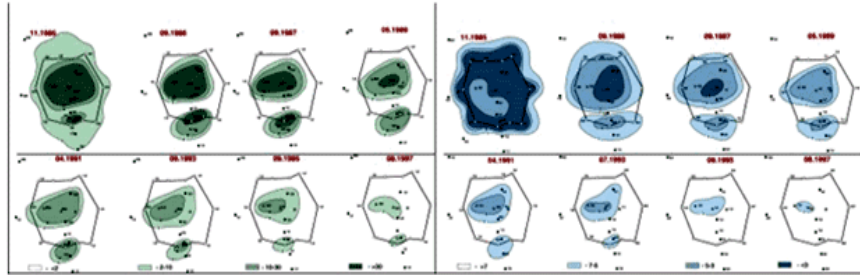


Рис. 163. Динамика рассасывания выщелачивающего раствора вокруг скважины, после прекращения её эксплуатации.

На месторождении Königstein 100000 тонн серной кислоты закачали в рудное тело. В настоящее время $1.9 \cdot 10^6$ м³ выщелачивающей жидкости все еще находятся в порах пород; а $0.85 \cdot 10^6$ м³ циркулируют между зоной выщелачивания и обогатительной фабрикой. Жидкость содержит высокие концентрации загрязнителей, превышающие стандарты питьевой воды: кадмий 400х, мышьяк 280х, никель 130х, уран 83х, и т.д. Она опасна для грунтовых – источника питьевой воды для населения. Ещё хуже дела на месторождении Stráz Ralskem: 28.7 миллионов м³ загрязненной жидкости содержатся в зоне выщелачивания, покрывая область 5.74 км². В зоне находится $1.5 \cdot 10^6$ тонн сульфата, 37500 тонн аммония, и др. В дополнение к химикатам, необходимым для операции выщелачивания (включая 3.7 миллиона тонн серной кислоты), в земле оказались 100000 тонн аммония - побочного продукта извлечения урана из экстрагента. Загрязненная жидкость распространилась вне зоны выщелачивания в горизонтальном и вертикальном направлениях, загрязнив площади 28 км², а затем и $235 \cdot 10^6$ м³ грунтовой воды.

Урановая руда перерабатывается на обогатительных фабриках. Они обычно располагаются вблизи рудников и включают механическую и химическую обработку. Руда размалывается и выщелачивается серной кислотой или карбонатами. При этом экстрагируется молибден, ванадий, селен, железо, свинец и мышьяк, от которых уран отделяется ионным обменом. Конечный продукт - Желтый Кекс - U₃O₈ с примесями

упаковывается в бочки и отправляется на дальнейшую переработку. Опасность обогатительных фабрик – выброс радиоактивной пыли. При закрытии таких фабрик возникает проблема захоронения высокорadioактивных отходов. Их обычно сваливают в терриконы пустой породы, однако химические реакции между хвостами обогатительных фабрик и отвальными породами, сопровождающиеся образованием газообразных продуктов, могут существенно ухудшить экологическую обстановку вокруг таких захоронений. Замечание. Техническая вода, которая используется в технологических процессах, содержит радий и другие металлы, присутствие которых нежелательно во внешней среде. Эта вода хранится и испаряется таким образом, чтобы содержащиеся в ней металлы были безопасны, и не попадали в окружающую среду. Техническая вода никогда не сбрасывается в естественные стоки, а сохраняется и испаряется в специальных прудах. Сток дождевых осадков, в соответствии с качеством содержащейся в них воды, осуществляется отдельно по специальным дренажным системам. *Это – в идеале!*

Отходы обогатительных фабрик – жидкие растворы. Обычно их накапливают в прудах-отстойниках. Исключением является завод Vukovo в Болгарии, где шламы в 1947 – 1958 просто сливали в долину реки, причём высокодисперсные частицы перелетали в соседние реки. Постепенно радионуклиды распространились на сельскохозяйственные земли, загрязнив 120 гектаров. Гамма-дозы составили 1000 микрорентген/час, стократно перекрыв фоновый уровень. Концентрация радия в зерне, выращенном на этих землях, достигла 1077 Бк/кг. Потребление этого зерна приведёт к ежегодной дозе 74 мЗв, в то время как допустимая доза - 1 мЗв. Водоёмы-отстойники для хвостов организуют в существующих депрессиях, или пётём возведения специальных дамб. Во Франции хвосты часто помещают в старые урановые карьеры. Самые большие такие водоёмы в Европе – хранилище Culmizsch около Seelingstädt (Тюрингия), содержащее 90 миллионов тонн твердых осадков, и Helmsdorf в Oberrothenbach около Цвиккау (Саксония), содержащее 50 миллионов тонн твердых отходов. Culmizsch организовано в отработанном урановом карьере, вместимость которого увеличена дополнительными дамбами. Helmsdorf - дамба установленная как барьер сточных вод на месте деревни с тем же названием, которую пришлось снести при создании хвостохранилища.



Рис. 164. Радоновый риск населения от предприятий горно-рудной промышленности.

Количество хвостов равно сумме переработанной руды: при 0.1% содержания в руде урана 99.9% её идёт в отходы. Кроме урана, хвосты содержат все элементы уранового ряда, т.е. 85% радиоактивности, бывшей в руде, ибо долгоживущие продукты распада урана: урана, торий-230 и радий-226 при переработке не удаляются. Поскольку уран не может быть в ходе перемалывания руды полностью отделён от пустой породы, 5 - 10% его отправляется в отвалы.

^{226}Ra распадается на радиоактивный газ – ^{222}Rn . Часть этого радона выделяется из залежей отходов в атмосферу. Хотя ^{222}Rn имеет сравнительно короткий период полураспада ($T=3.8$ дня), он представляет собой долгосрочную опасность, ибо распад ^{226}Ra ($T=1600$ лет) постоянно генерирует новый радон. К тому же, хвосты содержат ещё ^{230}Th (предшественник ^{226}Ra в цепи распада), который, распадаясь с $T= 80000$ лет, постоянно производит новый ^{226}Ra . Процесс уменьшения активности хвостов может длиться миллион лет, причём выход радона, стремится к уровню, определяемому остаточной концентрацией ^{238}U . Если, например, 90% урана удалось извлечь из руды с 0.1% содержанием урана, радиоактивность отвалов через 1 миллион лет стабилизируется на уровне в 33 раза превышающем естественный фон. Поскольку период полураспада ^{238}U 4.5 миллиардов лет, радиоактивность фактически перестаёт уменьшаться.

Кроме радиоактивных элементов, хвосты содержат другие токсичные вещества, которые ранее присутствовали в руде, например, мышьяк: одно хранилище отвалов немецкой шахты Хельмсдорф содержит 7590 тонн мышьяка. Кроме того, хвосты содержат химикалии, использовавшиеся при добыче руды. Все эти вредные вещества были извлечены из своего безопасного подземного расположения и принесены на поверхность в виде тонко помолотого песка или жидкого раствора. Загрязнители стали намного более подвижны и способны к выходу в окружающую среду. К тому же эти вещества нарушают геохимические равновесия в залежах отходов, вызывая различные процессы, опасные для окружающей среды, например: присутствие солей в отложениях препятствует дегидратации шламов, которая крайне желательна с точки зрения улучшения стабильности депозита, и уменьшения утечки токсинов. Эти соли высушивают смежные области с более низкой концентрацией соли, приводя к взламыванию внешнего слоя покрытия. В сухих регионах соли мигрируют к поверхности отложений, где подвергаются эрозии и распространяются по окружающей среде. Если руда содержит минерал пирит (FeS_2), то в залежах отходов при проникновении осадков и кислорода возникают кислоты, стимулирующие выщелачивание загрязнителей. Химические взаимодействия между шламом и футеровкой под депозитом могут ухудшить качества подстилающего изолирующего слоя, и тем самым увеличить выход токсинов в грунтовую воду.

Замечание. Большие терриконы отвалов в сочетании с теплым, дождливым климатом вызывают сток значительных количеств кислотных отходов, известных как "кислотный горный дренаж". Подобное событие, например, имело место на хвостохранилище урановой шахты Рам Джангл в Австралии.

Радиоактивные шламы потенциально опасны: радионуклиды, содержащиеся в хвостах, испускают гамма радиацию, на поверхности хранилища в 20 - 100 раз превышающую фоновую. Эта радиация быстро уменьшается при удалении от хранилища, поэтому представляет опасность только для людей, живущих непосредственно окрестности депозита.

Замечание 1. Гамма-излучение исходит преимущественно от изотопов висмута и свинца. Газ радон выделяется из горных пород, в которых происходит распад радия. При высоких концентрациях радон представляет опасность для здоровья (рак лёгкого и др.).

Замечание 2. Под «радоном» обычно понимают изотоп ^{222}Rn . Другой изотоп, ^{220}Rn (появляется вследствие распада тория и известен как «торон»), является распространенной составляющей многих минеральных песков, например австралийских.

Газообразный ^{222}Rn , выделяющийся из хранилища, представляет одну из самых серьезных опасностей, сохраняющуюся даже после закрытия урановых шахт, поскольку он вызывает рак лёгкого и непрерывно генерируется в течение длительного промежутка времени. Пожизненный дополнительный риск рака легкого жителей, живущих поблизости от открытых отвалов хвостов площадью 80 гектаров, составляет 2 случая из 100. Из-за быстрого распространения радона с ветром, население получает небольшие дополнительные радиационные дозы. Хотя дополнительный риск для человека мал, им нельзя пренебречь при большой плотности населения. Отвалы урановых хвостом, существовавшие в США в 1983 вызвали бы 500 смертельных случаев рака легкого за столетие, если бы не были предприняты контрмеры.

Хвостохранилище подвержено различным видам эрозии. Из-за постоянной угрозы должна быть обеспечена долгосрочная устойчивость отвалов. На захоронении возникают овраги; наводнения разрушить целостность отложений; корни растений и подземные животные рыхлят отвалы и распространяют радиоактивные вещества, увеличивая выделение радона, и делая отложение более восприимчивым к выветриванию и эрозии. При высыхании поверхности отложения, мелкий песок разносится ветром по окрестностям. Небо потемнело над деревнями в окрестностях хвостоотвалов уранового завода «Висмута», когда шторм вынес пески из сухих залежей отвалов. Большие концентрации ^{226}Ra и мышьяка были обнаружены в образцах пыли на улицах этих деревень. Впоследствии, сухие края хвостохранилища были покрыты дёрном для предотвращения дальнейшей ветровой эрозии. Эстонское хвостохранилище уранового завода в Sillamäe находится в опасности из-за расположения на самом берегу Балтийского моря. Эрозия береговой линии подходит в некоторых местах к отвалам, так что возможно обрушение всего хранилища в Балтийское море. Уже сейчас концентрации урана в морской воде (190 г/л) в 230 раз превышает фоновый уровень, причём загрязнение прослеживается на расстояниях 300 м от берега.

Хвостохранилища редко когда специально проектировались: отходы сами собой накапливались при обогатительных фабриках. Стабильность их под большим вопросом. Кроме того, дамбы по краям наращивали по мере заполнения хранилища. Некоторые дамбы (среди них Culmützsch и Trünzig в Тюрингии) сооружены с геологическими ошибками и расположены близко к центру сейсмической активности Восточной Германии. Поэтому они подвержены риску землетрясений. Главная дамба хвостохранилища Helmsdorf длиной 1800 м и высотой 59 м не отвечает немецким требованиям безопасности. В случае прорыва дамбы, большая часть деревни Oberrothenbach исчезнет под шламами.

Дамба может быть повреждена при повышении уровня воды выше шламов в хранилище. В мае 1994 уровень вод у дамбы Helmsdorf не достиг предельного всего на 6 см. В 1995 дамбу срочно нарастили. Дамба хвостохранилища Zirovski Vrh в Словении была сильно повреждена оползнем в 1990. Примеры отказа дамб: 1977, Grants, Нью-Мексико, США - разлив 50000 тонн жидкого раствора и нескольких миллионов литров загрязненной воды, 1979, Church Rock, Нью-Мексико, США: слив 1000 тонн жидкого раствора и 400 миллионов литров загрязненной воды, 1984, Key Lake, Saskatchewan, Канада: слив 100 миллионов литров загрязненной жидкости.

Американский опыт показывает, что сухие хвосты, в виде мелкозернистых песков, часто неправоммерно использовались для строительства домов или для засыпки бытовых отходов. В домах, построенных из таких материалов, имеют место высокие уровни γ -радиации и радона. Пожизненный дополнительный риск рака лёгкого жителей таких домов - 4 случая на 100 человек. Во Франции концентрации радона до 1200 Бк/м^3 обнаружены в детских садах Bessines (Haute Vena), вызванные использованием подобных песков при заливке полов. Этот радоновый уровень соответствует профессиональному уровню шахтеров урановых рудников. Во многих странах стандарт для бытового радона равен 200 Бк/м^3 .

Утечка из хвостохранилища загрязняет почву и грунтовые воды. Жители подвергаются опасности от ^{226}Ra и других токсинов (например, мышьяка) в питьевой воде и в рыбах. Следует помнить, что хвосты становятся мобильными в кислых средах. В благоприятных геохимических условиях, токсины находятся в

ловушке под отложениями, и их перемещение замедлено. К сожалению, эффект удержания уменьшается со временем. Если грунт подложки представляет собой раздробленные породы, миграция токсинов вполне возможна.

Смыв и просачивание радионуклидов из хвостохранилищ, шахт и других загрязненных участков повышает их концентрации в местных реках и питьевой воде. В европейской климатической зоне главную роль в миграции радионуклидов играет водная эрозия отходов под воздействием осадков. Вода, скапливающаяся на поверхности отходов, или стекающая по их поверхности, фильтруется через рыхлую массу отходов до грунта. При этом воды существенно меняют свой состав, обогащаясь многими относительно растворимыми макро- и микрокомпонентами, образовавшимися в отходах в результате выветривания. Радионуклиды, прежде всего атомы отдачи, вымываются из верхних горизонтов отходов и вымываются в более глубокие горизонты. Нахождение отходов на поверхности почв создает резкоградиентные двухзвенные системы, где из отходов идет постоянный диффузионный вынос наиболее подвижных радионуклидов. При этом из пограничного слоя отходов может выноситься более 90% радионуклидов. Градиент концентраций ^{238}U между отходами и почвой превышает два математических порядка.

Исходя из долгоживучести природных радионуклидов и огромного количества отходов уранодобывающей промышленности, очевидно, что полное устранение опасностей от последствий этой деятельности невозможно. Усилия по восстановлению направлены на уменьшение количества токсинов и предотвращение их распространения в окружающей среде. Следует предотвращать выход радона и γ -радиации, ветровую эрозию загрязненного материала, и сток токсинов в грунтовые воды и природные водоёмы.

В первые годы после 2-ой мировой войны в США компании часто бросали урановые рудники без какой-либо рекультивации. В Канаде отходы обогатительной фабрики просто сваливали в одно из многочисленных озер. Недопустимость подобной ситуации было признано американским законодательством, которое в 1978 определило юридические требования к рекультивации урановых производств. Эти инструкции не только определяют максимальные концентрации загрязнителя для почв и допустимых выбросов (в особенности - радона), но также и промежуток времени, в течение которого принятые меры должны быть эффективными: 200 - 1000 лет. Принятые меры должны обеспечить безопасность в заданный период без активного обслуживания. Если эти условия нельзя обеспечить на данном участке, хвосты следует переместить в другое, более подходящее место. Инструкции по защите грунтовых вод были включены в законодательство только в 1995. Рекультивационные усилия также включают дезактивацию домов, построенных из загрязненных материалов или на загрязненных землях.

На первый взгляд, самое простое решение проблемы отходов – возврат их туда, откуда их взяли – в подземные горные выработки, карьеры и т.п. Однако, это - не лучшее решение. Хотя уран был извлечён из руды, хвосты не менее опасны, чем руда. Даже наоборот: хвосты всё еще содержат 85% радиоактивности, и все токсины бывшие в руде; причём токсины теперь находятся в гораздо более мобильной форме и способны с большей лёгкостью выйти в окружающую среду. Возвращение отходов в подземную шахту в большинстве случаев - неприемлемый выбор: после остановки насосов, материал окажется в прямом контакте с грунтовой водой. К тому же, только часть старых штолен доступна. Тоже можно сказать и об идее возвращения отходов в карьеры. Захоронение в горных выработках возможно, если из-за наличия естественных или искусственных гидроизолирующих слоёв, контакт отходов и грунтовой воды полностью исключён. Преимущество такого захоронения - хорошая защита от эрозии.

Участок для захоронения отходов должен быть надёжным с геологической и гидрологической точек зрения: он не должен располагаться на геологических разломах или в зоне сейсмичности; должны быть обеспечены непроницаемые геологические слои; он не должен располагаться в пойме рек; уровень грунтовой воды должен быть настолько глубоким, насколько возможно; случаи утечки радионуклидов не должны подвергать опасности грунтовую воду; участок не должен располагаться слишком далеко от запасов глин, необходимых для создания покрытий и футеровки; и он должен находиться далеко от поселений, и т.д.

В ходе изучения перспективного участка, необходимо проконтролировать потоки грунтовых вод. Возраст грунтовых вод (определенный изотопическими методами) указывает на связь между грунтовыми и поверхностными водами. Совмещение экспериментальных данных и математического моделирования позволяет предсказать возможные выбросы токсинов. После нахождения подходящего участка, соответствующие подложки и покрытия должны быть смонтированы, обеспечивая ограничение выбросов самым оптимальным и долговечным способом. Для временного хранения хвостов подходят обустроенные водоемы; выход радона в этом случае может быть минимизирован организацией над отходами водного слоя толщиной минимум в 1 м.

Управление отходами начинаться с решения может ли старое хвостохранилище оставаться на своём месте. С этой целью проводится детальное гидрогеологическое исследование участка под отходами и в окрестностях хвостохранилища. При необходимости часть отходов временно удаляется, на участке создаётся

подстилающий гидроизолирующий слой, и хвосты возвращаются обратно. Если проведение таких работ невозможно, то ограничиваются созданием дополнительных барьеров ниже залежей, предотвращающих сброс шламов в долину и прочие утечки. При этом следует тщательно отбирать материал, из которого изготавливается гидроизолирующий слой и барьеры. В худшем случае всё накопленное богатство приходится перемещать в другое место. Такая ситуация возникает, если хранилище находится в густонаселённой местности или имеется явная угроза наводнения. Также принимаются меры для увеличения механической прочности залежей: шламы обезвоживаются, наклоны выравниваются, устанавливается арматура, препятствующая эрозии. Поверхность залежей покрывается специальным покрытием, препятствующего выходу γ -радиации и радона, проникновению осадков, росту растений, размножению животных-землероек, предотвращению эрозии. Для удовлетворения всем требованиям покрытие должно состоять из нескольких слоёв. Наконец, следует определить, можно ли использовать отходы в качестве материалов для строительства дорог, фундаментов домов, изоляции бытовых отходов и т.п.

Рекультивацию требуют и месторождения, отработанные методом скважинного выщелачивания. Здесь главная задача – восстановление водоносного слоя: она пока не имеет однозначного решения. На первом этапе, из пород выкачивают всю введённую туда кислоту (или щёлочь), в результате чего в рабочую зону начинает поступать чистая вода. Эту воду откачивают, очищают (например, обратным осмосом) и вновь закачивают в пласт. Затем в закачиваемую воду начинают добавлять химикат (H_2S , Na_2S и т.п.), вызывающий осаждение основных загрязнителей и тем самым очищающий пластовые воды. На последней стадии, закачивая-откачивая воду, осуществляют промывку пласта. К сожалению, эта схема не приводит к желаемому результату. Концентрацией такого мобильного элемента, как радий трудно управлять, процесс восстановления – длительный процесс, и далеко не все параметры можно понизить одновременно. К тому же, в настоящее время рекультивация проводится только для месторождений, подвергнутых щелочному выщелачиванию (основной метод в Западном мире), рекультивацией месторождений после кислотного выщелачивания никто не занимался и никто не знает, как это делать.