

# Обращение с отходами, образующимися при добыче и обработке урановых руд

К. Т. Томас\*

Операции по добыче и обработке урановых руд не вызывают серьезного беспокойства в отношении создаваемых ими опасностей, и по мере совершенствования технологии процессов переработки уранового сырья и обращения с отходами урановой промышленности ситуация в этой области будет улучшаться. Однако удаление больших количеств отходов, образующихся в процессе добычи и обработки урановых руд, оказывает воздействие на окружающую среду вследствие больших периодов полураспада и легкой доступности токсичных радионуклидов  $^{226}\text{Ra}$  и  $^{222}\text{Rn}$ .

## Добыча урана

Хотя отвалы пород, образующиеся при добыче урана, не содержат значительной радиоактивности, необходимо осуществлять контроль за уровнем их радиоактивности. Породы, которые не используются для засыпки шахт, часто применяются для других целей: для создания насыпей вокруг рудника, строительства дорог и т. д. В том случае, если эти материалы используются для строительства, они должны быть проверены соответствующими компетентными органами в целях гарантии, что любая результирующая доза облучения населения будет оставаться в приемлемых пределах. Необходимо производить оценку воздействия любой утечки естественных изотопов из отвалной породы, в которой их концентрации выше, чем "фоновые" уровни окружающей среды, и там, где необходимо, выделенные материалы должны собираться и обрабатываться.

Обычно, насколько это возможно, шахтная вода повторно используется в шахтах и на обогатительных фабриках. Она может содержать растворенный уран, торий, радий и другие металлы, которые могут увеличивать содержание радона в атмосфере шахты. В тех местах, где шахтной воды образуется больше, чем можно использовать, ее содержат в системе удержания отходов или в некоторых случаях осуществляют контролируемый сброс в поверхностные воды.

Воздух из вытяжной шахтной вентиляции загрязнен радоном и его дочерними продуктами, а также до некоторой степени рудной пылью, пылью породы и парами. За этим воздухом осуществляется дозиметрический контроль, и там, где требуется, производится его обработка перед выбросом в атмосферу таким образом, чтобы отдельные лица и население не подвергались воздействию неприемлемых уровней содержания радона или пыли.

\* Сотрудник Секции обращения с отходами, Отдел ядерного топливного цикла МАГАТЭ.

## Обработка руды

Процессы обращения с отходами зависят от минералогии исходной породы и технологии извлечения урана. Так как ураносодержащие минералы по своей твердости значительно мягче, чем кварц и кремнистые минералы, которые образуют основную массу жильной породы, уран, радий и другие представляющие интерес минералы имеют тенденцию к образованию шламовых вкраплений и к смешиванию с глинами. Шламовые вкрапления играют различную роль в процессах обогащения руды и обращения с отходами.

Наиболее часто применяется процесс кислотного выщелачивания, если в руде не содержится высокая концентрация известняка или других материалов жильной породы, благоприятных для щелочной обработки. Отходы, содержащие пириты, представляют собой основную проблему при осуществлении операций по обращению с отходами. Они постепенно окисляются в "хвостах", образуя серную кислоту и создавая высокую концентрацию сульфатов. Характер этого эффекта усложняется в том случае, если другие тяжелые металлы, такие, как медь и цинк, также присутствуют в виде сульфидов, которые могут быть окислены и выщелочены из "хвостов".

Для борьбы с сухой рудной пылью, образующейся в процессе добычи, с парами, возникающими при обработке кислотой, со взвешенными в воздухе загрязненными частицами, образующимися при разделении желтого кека и сушке, применяются обычные методы, такие, как экстракция пыли, электростатическое осаждение, а также циклонная и скрубберная очистка. Безопасный метод борьбы с радоном, образующимся на стадии обогащения, заключается в правильном проектировании вытяжной вентиляции, хотя удаление радона из воздуха связано с определенными трудностями.

Пустые растворы, образующиеся в процессе щелочного выщелачивания, большей частью используются повторно. Шламовые воды используются для транспортировки выщелоченных, очищенных "хвостов", в которых содержатся такие химические соединения, как карбонаты, сульфаты и нитраты. Пустой раствор, являющийся отходом процесса кислотного выщелачивания, применяется для транспортировки "хвостов" и содержит более высокие концентрации загрязненных веществ, в число которых входят серная кислота, тяжелые металлы, нитраты, сульфаты, амины и хлориды. Основными радионуклидами, содержащимися в данных растворах, являются  $^{230}\text{Th}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{222}\text{Rn}$ ,  $^{210}\text{Pb}$ , из которых наиболее опасным является  $^{222}\text{Ra}$ .

Для уменьшения количества растворов, содержащих отходы, рекомендуется повторно использовать воды, контролировать уровень их загрязнения и сокращать их расход. Основным способом обработки эффлюентов кислотного обогащения является нейтрализация их известью или смесью известняка и извести до щелочного значения pH с последующей обработкой бариевыми или натриевыми солями жирной кислоты с длинной цепочкой. В случае эффлюентов, имеющих активность 4-40 Бк/л (100-1000 пКи/л), подобная обработка может обеспечить снижение активности до уровня 0,07-0,2 Бк/л (2-5 пКи/л), который считается приемлемым. В отношении отфильтрованных растворов, поступающих из системы удержания отходов, в которых содержится излишек воды, применяются аналогичные операции.

Характер просачивающихся растворов меняется со временем, особенно в старых, содержащих сульфиды "хвостов", в результате чего впоследствии образуется кислота. Просачивание можно уменьшить за счет выбора соответствующей конструкции системы удержания отходов. Там, где происходит просачивание, раствор может быть закачан обратно в систему или обработан вместе с отфильтрованной жидкостью. Долговременный постоянный контроль за процессом просачивания является проблемой, требующей постоянного внимания.

#### "Хвосты" производства

"Хвосты" уранового производства, содержащие радиоактивные и нерадиоактивные материалы, представляют собой твердые осадки и соответствующие жидкости, остающиеся после экстракции урана из руды. Твердые остатки состоят в основном из массы мелкозернистой породы исходной руды, а также из большого числа химических веществ, осажденных из жидких "хвостов".

Шламовые "хвосты" закачиваются в систему удержания отходов, в которой твердые вещества отстаиваются и накапливаются. В некоторых местах руда перерабатывается без тонкого измельчения, и образующиеся в результате "хвосты" транспортируются практически в сухом виде к району захоронения отходов.

Уровень удельной радиоактивности "хвостов" урановой обогатительной фабрики невелик. Около 15% всей радиоактивности, имеющейся в исходной руде, сохраняются в желтом кеке, являющемся продукцией обогатительной фабрики. После распада короткоживущих радиоактивных изотопов в "хвостах" остается около 70% радиоактивности, имевшейся в исходной руде. Так как торий и радий характеризуются большими периодами полураспада, а также вследствие наличия в "хвостах" остатков урана, также имеющего большой период полураспада (сотни миллионов лет), "хвосты" остаются радиоактивными практически в течение неопределенного времени.

По меньшей мере 97%  $^{226}\text{Ra}$ , поступающего на обогатительную фабрику, не растворяется в процессе выщелачивания, и концентрация радия в "хвостах" немногим меньше, чем в руде. Из-за наличия  $^{226}\text{Ra}$

образование радона в "хвостах" будет происходить непрерывно. Несмотря на то, что частицы, переносимые ветром с поверхности "хвостов", могут иметь определенное значение с точки зрения радиационной безопасности, выбросы радона наиболее трудно поддаются контролю. Эти выбросы могут быть уменьшены путем сокращения до минимума площади "хвостов", путем затопления "хвостов" водой, путем их закрытия непроницаемой пленкой или засыпки толстым слоем земли. В дополнение к этим мерам доза облучения населения может быть снижена за счет размещения систем удержания отходов на максимальном удалении от населенных пунктов и путем запрещения строительства населенных пунктов поблизости от мест хранения "хвостов". Некоторыми странами предложен верхний предел для выхода  $^{222}\text{Rn}$  из стабилизированных "хвостов", равный  $0,07 \text{ Бк} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$  ( $2 \text{ пКи} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ ).

В настоящее время не имеется какой-либо общеприемлемой альтернативы захоронению твердых "хвостов" в системе удержания отходов. Для размещения этих систем можно и должно тщательно выбирать площадки, их необходимо строить в соответствии с лучшими стандартами, эксплуатировать с большой осторожностью и обслуживать на высоком уровне.

Основными целями проектирования и эксплуатации хранилищ "хвостов" обогатительных фабрик является обеспечение физической и химической стабильности "хвостов" и поддержание потерь радиоактивных элементов на допустимо низких уровнях. Минимальная утечка в основном достигается путем создания в месте размещения "хвостов" малопроницаемых и малопроводящих водяных барьеров по всем направлениям, по которым действует гидравлический напор или движущая сила, перемещающие воду из места расположения "хвостов". Существует несколько вариантов создания наружного покрова, и выбор конкретного варианта для каждой площадки зависит от большого числа факторов, включая степень требуемого контроля и затраты.

После снятия обогатительной фабрики с эксплуатации в связи с контролем и наблюдением за системой удержания отходов и ее обслуживанием возникает ряд проблем долговременного характера. К числу таких проблем относятся: наличие жидкого шлама, трудности, возникающие при попытках озеленения поверхностей "хвостов", неблагоприятные погодные условия и условия выпадения осадков, утечки и образование кислоты в рудах, содержащих пириты. Проект и сооружение системы обваловки должны, если они оптимизированы, учитывать эти проблемы. Озеленение поверхности "хвостов" может обеспечить фиксацию пыли, образующейся на поверхности отходов под действием выветривания, и при соответствующем рельефе поверхности "хвостов" растительность может уменьшать вымывание и до некоторой степени проникновение влаги.

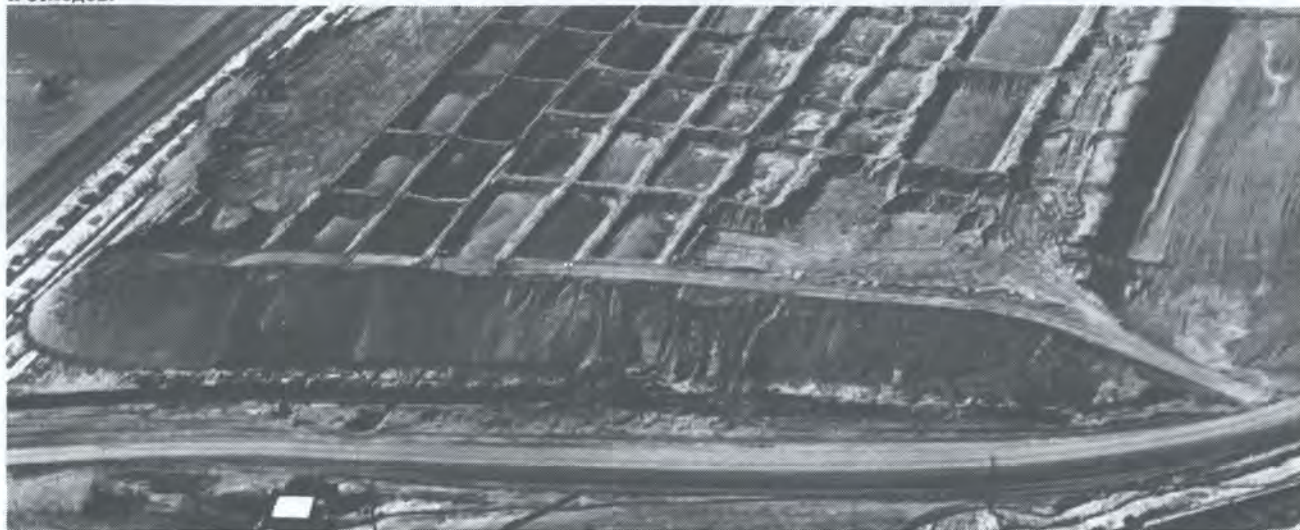
За последнее время были предприняты значительные усилия по усовершенствованию методов обращения с "хвостами" обогатительных фабрик и снижению их возможного воздействия на окружающую

щую среду. Проектирование в этой области в настоящее время претерпевает техническую эволюцию.

Вследствие низкой удельной радиоактивности "хвостов" последствия повреждения системы удержания и возникшее в результате медленное рассеивание "хвостов" не приводят к катастрофическому или даже к какому-либо значительному радиационному воздействию, так как для появления неблагоприятных эффектов требуется длительное и устойчивое облучение радиоактивностью, содержащейся в "хвостах". Однако, несмотря на то, что, как ожидается, возможные долговременные последствия повреждения системы удержания "хвостов" окажутся незначительными, наша ответственность перед будущими поколениями требует, чтобы операции по обращению с "хвостами" обогатительных предприятий преследовали цель фиксации и удержания "хвостов" в течение неопределенного времени с применением лучших доступных практических средств.

При оценке нежелательных созданий облучения на здоровье человека важно учитывать содержание радиоизотопов  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{222}\text{Rn}$  и  $^{210}\text{Pb}$  в "хвостах" и изотопов  $^{238}\text{U}$  и  $^{234}\text{U}$ , образующихся при производстве желтого кека. Эманация  $^{222}\text{Ra}$  может продолжаться в течение нескольких сотен тысяч лет, в то время как активность  $^{226}\text{Ra}$  соответствует активности  $^{230}\text{Th}$ . Однако продолжительное присутствие этих исходных изотопов на протяжении таких длительных периодов кажется неправдоподобным, и в некоторых оценках в отношении радия и тория принимается среднее время их пребывания, равное 1000 лет. Эти исследования оценивают коллективную ожидаемую дозу в интервале от 10 до 33 кчел-бэр/ГВт·год для различных топливных циклов. В этом случае предполагается, что весь  $^{226}\text{Ra}$  переходит из "хвостов" в пресную воду в течение 1000 лет. Выбросы радона вносят лишь небольшой вклад в общий эффект. Детальные анализы показали, что вклад радиоактивности, остающейся в "хвостах" обогатительной фабрики, в коллективную ожидаемую дозу мал по сравнению с естественным радиационным фоном.

Проект, использующий метод кучного выщелачивания, в шт. Вайоминг, США; здесь уран извлекается из породы с малым содержанием урана путем пропускания выщелачивающего раствора через массу руды. При использовании этого метода, а также других методов обработки руды, описанных в данной статье, необходима защита окружающей среды от образующихся стоков и отходов.



## Деятельность МАГАТЭ

На протяжении многих лет Агентство активно занималось изучением радиационных и технических основ обращения с отходами, образующимися в урановом производстве. Заседания, посвященные этим вопросам, были включены в программы симпозиумов, семинаров и международных совещаний по обращению с радиоактивными отходами.

На Конференции ООН по проблемам окружающей человека среды, которая проходила в Стокгольме с 4 по 16 июня 1972 года, к правительствам обратились с просьбой рассмотреть, совместно с Агентством и другими соответствующими организациями, возможность международного сотрудничества по проблемам радиоактивных отходов, включая проблемы удаления отвалных пород и "хвостов" обогатительных фабрик. Поэтому МАГАТЭ проявляло интерес к этим проблемам.

Руководство по радиационной безопасности при добыче и обработке урановых и ториевых руд было опубликовано в 1976 году совместно с Международной организацией труда (МОТ). МАГАТЭ провело совещания экспертов для разработки исходного справочного материала, необходимого для подготовки свода положений по обращению с отходами при добыче и обработке урановых и ториевых руд и руководства к этому своду. Этот свод положений и руководство к нему были опубликованы в 1976 году (Серия изданий МАГАТЭ по безопасности, № 44). После утверждения этой публикации государствам-членам было рекомендовано учитывать содержащиеся в ней нормы и требования при разработке национальных регулирующих правил.

Начиная с 1978 года группы экспертов МАГАТЭ рассматривают современную практику и варианты удержания "хвостов" уранового производства. Технический доклад по этому вопросу будет опубликован в 1981 году. В нем будет представлен обзор современной практики хранения "хвостов" обогатительных фабрик и опыта в области выбора площадок для хранения. Этой теме соответствует

программа координированных исследований по источникам, распределению, перемещению и отложению радия во внутренних водах и водоносных пластах. Работы по этой программе осуществлялись в период с 1976 года по 1980 год, и по ее результатам в 1982 году будет издан доклад.

Учитывая произошедшие за последние годы изменения в этой области, а также актуальность этой темы сейчас и в будущем, считаем, что будет весьма своевременным провести в 1982 году международный симпозиум (в сотрудничестве с Агентством

по ядерной энергии ОЭСР) по рассмотрению технологии и практики обращения с отходами, образующимися при добыче и обогащении урановых руд. Это будет первый симпозиум МАГАТЭ, посвященный исключительно этой теме, и на нем будет освещено текущее состояние программ научных исследований и разработок с указанием перспективных разработок будущего. Начиная с 1982 года планируется приступить к работам по пересмотру и исправлению свода положений по обращению с отходами при добыче и обработке урановых и ториевых руд и руководства к нему.

## Предстоящие конференции, симпозиумы ...

Дата	Тема	Место проведения
<b>1981 год</b>		
27-31 июля	Международный симпозиум МАГАТЭ/АЯЭ/КЕС по миграции в земной среде долгоживущих радиоизотопов, являющихся продуктом ядерного топливного цикла	Ноксвилл, шт. Теннесси, США
28 сентября-2 октября	Международная конференция по промышленному применению радиоизотопов и радиационной технологии	Гренобль, Франция
19-23 октября	Международный симпозиум МАГАТЭ/ВОЗ/АЯЭ/МКРЗ по применению системы ограничения доз на предприятиях ядерного топливного цикла и в других связанных с ионизирующими излучениями областях	Мадрид, Испания

## ... и семинары МАГАТЭ

31 августа-4 сентября	Семинар для развивающихся стран по перспективным методам радиотерапии	Киото, Япония
14-18 сентября	Семинар по эксплуатации и использованию исследовательских реакторов	Юлих, ФРГ
5-9 октября	Семинар по обращению с радиоактивными отходами атомных электростанций	Карлсруэ, ФРГ
9-13 ноября	Семинар ФАО/МАГАТЭ по облучению пищевых продуктов для развивающихся стран Азии и района Тихого Океана	Такасаки, Япония
16-27 ноября	Семинар ЮНЕСКО/МАГАТЭ по использованию изотопных методов в освоении водных ресурсов в Азии и районе Тихого Океана	Коломбо, Шри-Ланка
23-27 ноября	Семинар по вопросам анализа безопасности и инспекций атомных электростанций	Вена, Австрия
30 ноября-11 декабря	Семинар по готовности на случай радиационных аварий — медицинская физика и медицинские аспекты — для района Азии и Тихого Океана	Калпаккам, Индия

Более подробную информацию по указанным совещаниям можно получить в МАГАТЭ или в соответствующих органах каждого государства-члена: организации, занимающейся вопросами атомной энергии или в министерстве иностранных дел.