

ИСТОЧНИКИ ОБРАЗОВАНИЯ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ НА ГИДРОМЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ЗАВОДАХ ПО ПЕРЕРАБОТКЕ УРАНОВЫХ РУД

**Р.Е. Кузин^{1, 2, 3, @}, профессор, главный научный сотрудник,
С.Н. Брыкин³, заместитель генерального директора по обращению с РАО,
Т.Н. Таиров⁴, ректор Санкт-Петербургского филиала ЦИПК Росатома**

¹Кафедра информационных систем в химической технологии,
Московский технологический университет (Институт тонких химических технологий),
Москва, 119571 Россия

²АО «Ведущий научно-исследовательский институт Госкорпорации «Росатом»
по химическим технологиям» (АО «ВНИИХТ»), Москва, 115409 Россия

³ФГУП «Предприятие по обращению с радиоактивными отходами «РосРАО»,
Москва, 119017 Россия

⁴НОУ ДПО «ЦИПК Росатома», Санкт-Петербург, 197348 Россия

@Автор для переписки, e-mail: rkuzin256@mail.ru

Отличительной особенностью предприятий по добыче и переработке урановых руд является неизбежное загрязнение окружающей среды твердыми, жидкими и газообразными отходами. По своим объемам данные радиоактивные отходы (РАО) являются наиболее значительными в ядерно-топливном цикле и, несмотря на их сравнительно низкую активность, вносят основной вклад в формирование радиационно-опасных факторов для населения и объектов окружающей среды. Радиоактивность урановых руд и отходов их переработки обусловлена природными радионуклидами урановой (^{238}U и ^{235}U) и ториевой (^{232}Th) цепочек радиоактивного распада. В статье рассмотрена основная схема образования РАО на технологическом переделе сорбции урана из пульпы выщелачивания гидрометаллургического завода по переработке урановых руд и приведена оценка образования радионуклидного состава пульпы, направляемой на хвостохранилище. При ликвидации хвостохранилищ должны быть обеспечены стабильность, гидрологический контроль, минимальное поступление загрязненных вод на установки очистки вод, прекращение поступления радона в атмосферу.

Ключевые слова: переработка урановых руд, гидрометаллургические заводы, обращение с радиоактивными отходами, радионуклидный состав пульпы.

SOURCES OF RADIOACTIVE WASTE IN LEACH PLANTS PROCESSING URANIUM ORES

R.E. Kuzin^{1, 2, 3, @}, S.N. Brykin³, T.N. Tairov⁴

¹Moscow Technological University (Institute of Fine Chemical Technologies),
Moscow, 119571 Russia

²Russian Reserch Institute for Chemical Technology of National Corporation "RosAtom"

³Federal State Unitary Enterpraise "RosRAO", Moscow, 119017 Russia

⁴RosAtom-CICE&T, Saint-Petersburg, 197348 Russia

@Corresponding author e-mail: rkuzin256@mail.ru

A distinctive feature of enterprises for extracting and processing uranium ore is the inevitable pollution by solid, liquid and gaseous waste. The amount of radioactive waste (RW) is most significant in the nuclear fuel cycle. In spite of its relatively low activity it is the major contributor to the formation of radiation hazards to the people and environment. The radioactivity of uranium ores and of their processing waste is due to natural radionuclides of uranium (^{238}U and ^{235}U) and thorium (^{232}Th) radioactive decay chains.

Keywords: radioactive waste, processing of uranium ores, hydrometallurgical plants, leach plant, management of radioactive waste.

По данным системы государственного учета и контроля радиоактивных веществ и радиоактивных отходов (СГУК РВ и РАО) в атомной промышленности, энергетике, медицине и в научных исследованиях, в Российской Федерации накоплено более 500 млн. м³ жидких радиоактивных отходов (ЖРО) и более 180 млн. тонн твердых радиоактивных отходов (ТРО) [1]. Из этого количества 99.5% приходится на отходы низкого (НАО) и среднего (САО) уровней активности, которые размещены в ~1400 приповерхностных радиационно-опасных объектах (хранилищах), расположенных по всей территории России [2, 3].

Для обращения с РАО (деятельность по сбору, сортировке, переработке, кондиционированию, перевозке, хранению и захоронению радиоактивных отходов) в соответствии с Федеральным законом от 11 июля 2011 г. № 190-ФЗ «Об обращении с радиоактивными отходами» (статья 10) создается Единая государственная система обращения с радиоактивными отходами (ЕГСО РАО). Главным информационным ресурсом ЕГСО РАО является СГУК РВ и РАО. Создание этой информационной системы определялось вызовом времени – огромными объемами и активностью новых техногенных радионуклидов, появившихся в процессе создания «Ядерного щита» Родины и атомной энергетики.

Отличительной особенностью предприятий по добыче и переработке урановых руд является неизбежное загрязнение окружающей среды твердыми, жидкими и газообразными отходами. По своим объемам данные отходы являются наиболее значительными в ядерно-топливном цикле и, несмотря на их сравнительно низкую активность, вносят основной вклад в формирование радиационно-опасных факторов для населения и объектов окружающей среды.

За период создания «Ядерного щита», с начала крупномасштабных геолого-разведочных работ и добычи урановых руд (1945 г.), в СССР было построено 9 комбинатов, расположенных на территориях шести союзных республик – в настоящее время самостоятельных государств. Общая площадь возможного воздействия этих объектов за счет выноса в окружающую среду радионуклидов и других загрязнителей воздушными потоками, поверхностными и грунто-

выми водами составляет более 220 км².

Радиационная опасность уранодобывающего и перерабатывающего производств в эксплуатационный и постэксплуатационный периоды зависит от разных факторов, определяющими из которых являются:

- технология добычи руды;
- технология переработки руд;
- способ складирования хвостов.

В данном перечне необходимо выделить в отдельную категорию горно-химическую технологию добычи урана, включающую в себя способы подземного блочного выщелачивания, кучное выщелачивание и подземное выщелачивание.

Радиоактивность урановых руд и отходов их переработки обусловлена природными радионуклидами урановой (^{238}U и ^{235}U) и ториевой (^{232}Th) цепочек радиоактивного распада. Основную роль при этом играет ^{238}U [4], поскольку концентрация урана-235 в исходных рудах наших предприятий почти на 3 порядка ниже концентрации урана-238. Цепочка распада ^{238}U показана на рис. 1.

Как видно из рис. 1, всего цепочка распада включает 19 радионуклидов, каждый из которых имеет активность основателя цепочки. На гидрометаллургическом заводе по переработке урановых руд (ГМЗ) извлекается уран (все три природных изотопа – уран-235, 238 и 234) с показателем излучения от 96 до 98.5%, а все остальные радионуклиды выделяются в группу радиоактивных отходов. Естественный распад прерывается перед торием-230 (устойчивое название – ионий). Именно ^{230}Th является первым в разорванном ряде радионуклидов РАО ураноперерабатывающих предприятий. Ряд радионуклидов РАО ГМЗ включает 14 элементов из 19 радионуклидов цепочки распада природного урана ^{238}U .

Для рассмотрения образования РАО обратимся к обобщенной схеме основных технологических процессов ГМЗ [5–7], которая представлена на рис. 2.

На переделе рудоподготовки, включающем процессы дробления – радиометрического обогащения и измельчения в мельницах с классификацией, происходит подготовка пульпы для передела кислотного выщелачивания. Часть объема руды (до 30%) сверхнизкой активности отправляется на хвостохранилище для укрепления ограждающей дамбы и упорных призм сооружения.

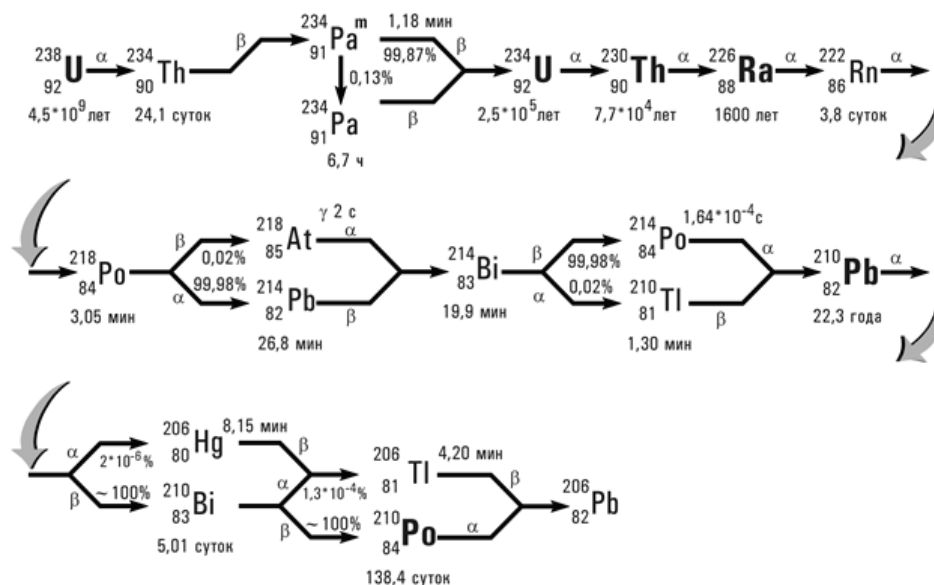


Рис. 1. Цепочка распада урана-238.

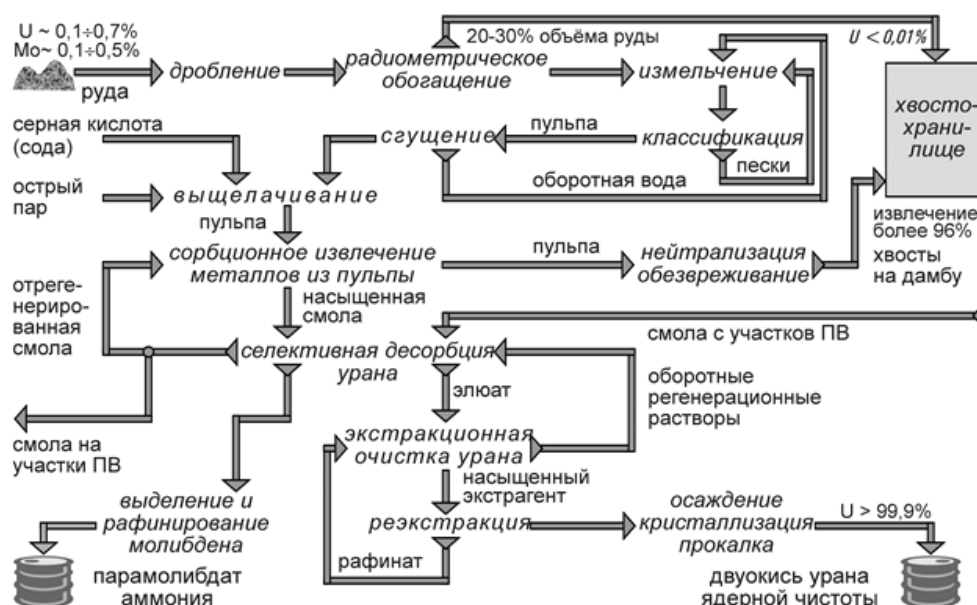


Рис. 2. Гидрометаллургическое получение урана ядерной чистоты.

Радон и его короткоживущие продукты распада, выделяющиеся в процессах дробления-измельчения, направляются системами воздухоочистки в атмосферные выбросы.

В технологическом процессе выщелачивания изотопы урана и тория переходят в жидкую фазу пульпы. Радий и продукты его распада остаются в твердой фазе, так как радий не выщелачивается серной кислотой. Извлечение изотопов природного урана из пульпы происходит в цепочке пачуков сорбции урана из пульпы (рис. 3) [6, 8, 9].

Пачук (аппарат с воздушным перемешиванием), изображенный на рис. 3, был сконструирован профессором Н.Н. Токаревым под руководством ака-

демика Б.Н. Ласкорина во ВНИИХТе в начале 60-х годов прошлого столетия. Внедрен на всех урановых заводах СССР и многих других стран. Применение сорбции из пульпы увеличило производительность заводов в 3–5 раз, резко снизило потребление энергии, воды и реагентов.

В аппарат поступает пульпа после выщелачивания, содержащая в жидкой фазе ионы многих металлов, включая уран. Через другую трубу поступает ионит (сорбционная смола, селективно извлекающая только уран; технология синтеза разнообразных ионитов также создана в отделе Б.Н. Ласкорина). Воздух, поступающий в нижнюю часть аппарата, пере-

мешивает сложную смесь жидкой и твердой фаз пульпы и создает кипящий слой ионита в пульпе. В таком режиме происходит интенсивное извлечение урана из пульпы на фазу сорбента. Система грохотов позволяет просто решить задачу разделения пульпы и ионита.

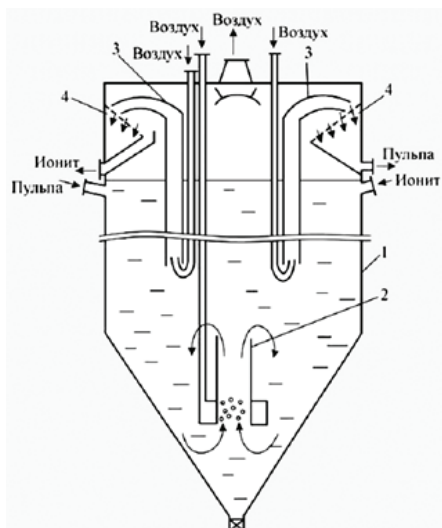


Рис. 3. Пачук сорбции урана из пульпы:

1 – корпус, 2 – дефлектор, 3 – аэрлифты, 4 – грохоты.

Насыщенный ураном ионит поступает на процесс десорбции и далее на аффинаж урана, а пульпа, содержащая РАО, после нейтрализации известковым молоком и обезвреживания отправляется по пульпопроводу в хвостохранилище (рис. 4).

Для крупных ГМЗ масса ежегодных сбросов РАО в твердой фазе пульпы достигает 5–6 млн. тонн. Что же касается жидкой фазы, то она составляет основу водооборота ГМЗ. Именно с поверхности хвостохранилища специальная насосная станция (поз. 5 на рис. 4) отбирает техническую воду для работы ГМЗ. За разработку схемы сорбционного извлечения урана с замкнутым водооборотом, что позволило в 3–5 раз увеличить добычу урана и резко снизить многие затраты, коллектив разработчиков во главе с Б.Н. Ласкориным был удостоен Ленинской премии 1 степени «За успешное выполнение важного задания Советского Правительства».

За 40–50 лет работы крупного ГМЗ в хвостохранилище накапливаются сотни млн. тонн твердых РАО, основу которых составляют долгоживущие радионуклиды: торий-230, радий-226, свинец-210 и полоний-210. Общая их активность примерно в 4 раза превышает активность добытого урана.

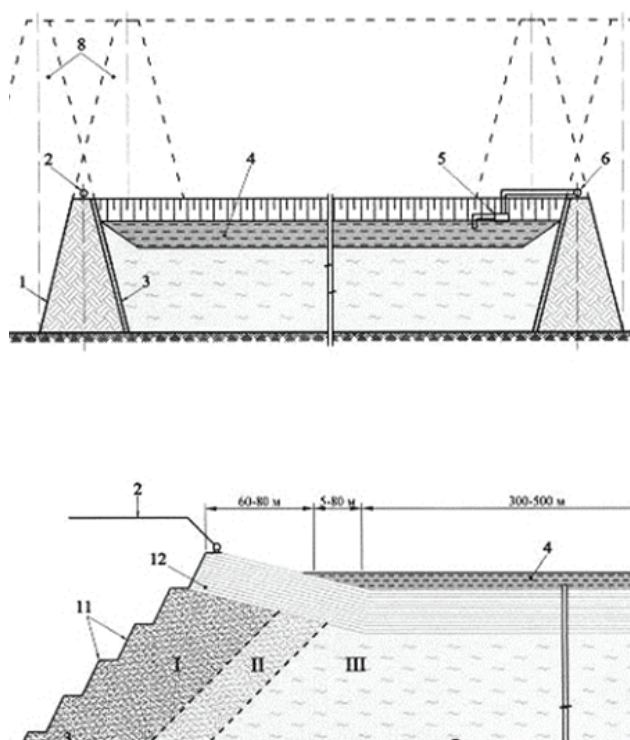


Рис. 4. Схема хвостохранилища:

I – упорная призма; II – переходная зона; III – центральная зона. 1 – ограждающая дамба; 2 – разводящий пульпопровод; 3 – экран из полимерных материалов или глинистых грунтов; 4 – прудок; 5 – плавучая насосная станция оборотного водоснабжения; 6 – водовод оборотной воды; 7 – отложения хвостового материала; 8 – варианты наращивания ограждающей дамбы; 9 – пионерная дамба из карьерных грунтов; 10 – дренаж; 11 – ярус намыва; 12 – слой намыва.

В процессе добычи урановых руд и их переработки радиационная нагрузка на окружающую среду, в первую очередь, обусловлена эмиссией радона-222, тория-230. После извлечения урана из руд содержание урана в отвалах и хвостах переработки составляет от 0.001 до 0.02%, при этом содержание ^{226}Ra (период полураспада 1600 лет) в отходах остается практически на уровне 80-95% от исходного равновесного его содержания в рудах. Скорость эмиссии радона-222 из отвалов и отходов составляет, как правило, 2-6 Бк/м²·см и считается постоянной в течение 10 тыс. лет.

Рекультивация территорий, загрязненных в результате деятельности уранодобывающих предприятий, должна предусматривать мероприятия по дезактивации или захоронению всех зданий и сооружений, ликвидации поверхностных загрязнений территорий, предотвращению пыления отвалов и

хвостохранилищ, стабилизации отвалов и хвостохранилищ, предотвращению загрязнения поверхностных и подземных вод.

Выводы

С учетом огромного объема накопленных в хвостохранилищах твердых РАО (сотни млн. тонн), длительного периода их высокой активности (десять тысяч лет) до получения технологических и организационных решений по ликвидации хвостохранилищ, которые еще предстоит найти, должны быть обеспечены стабильность, гидрологический контроль, минимальное поступление загрязненных вод на установки очистки вод, прекращение поступления радона в атмосферу, а также постоянный радиационный мониторинг окружающей природной среды.

Список литературы:

1. Брыкин С.Н., Кузин Р.Е., Пыжов А.В., Таиров Т.Н., Якушев С.А. // Прикладная информатика. 2013. № 3 (45). С. 42–46.
2. Карамушка В.П., Камнев Е.И., Кузин Р.Е. Проблемы рекультивации территорий, загрязненных предприятиями по переработке урановых руд. М.: Горная книга, 2014. 276 с.
3. Агапов А.М., Новиков Г.А. // Атомная стратегия. 2004. № 13. С. 15–21.
4. Карамушка В.П., Камнев Е.Н., Тадеев М.Н., Касаткин В.В., Кузин Р.Е. // Горный журнал. 2012. № 8. С. 133–136.
5. Тураев Н.С., Жерин И.И. Химия и технология урана: учеб. пособие для вузов. М.: ЦНИИАТОМИНФОРМ, 2005. 407 с.
6. Галкин Н.П., Судариков Б.Н., Верятин У.Д., Шишков Ю.Д., Майоров А.А. Технология урана. М.: Атомиздат, 1964. 309 с.
7. Бекман И.Н. Уран. М.: МГУ, 2009. 300 с.
8. Ласкорин Б.Н. // Атомная энергия. 1960. Т. 9. № 4. С. 286–296.
9. Волков В.П. Сорбционные процессы действующих производств. М.: Издательский дом «Руда и металлы», 2014. 160 с.

References:

1. Brykin S.N., Kuzin R.E., Pyzhov A.V., Tairov T.N., Yakushev S.A. // Prikladnaya informatika [Applied Informatics]. 2013. № 3(45). P. 42–46.
2. Karamushka V.P., Kamnev E.I., Kuzin R.E. Problemy rekul'tivacii territorij, zagryaznennyh predpriyatiyami po pererabotke uranovykh rud (Problems of recultivation of the territories contaminated by enterprises for the processing of uranium ores). M.: Gornaya kniga, 2014. 276 p.
3. Agapov A.M., Novikov G.A. // Atomnaya strategiya [Atomic Strategy]. 2004. № 13. P. 15–21.
4. Karamushka V.P., Kamnev E.N., Tadeev M.N., Kasatkin V.V., Kuzin R.E. // Gornyy zhurnal [Mining Journal]. 2012. № 8. P. 133–136.
5. Turaev N.S., Zherin I.I. Himiya i tekhnologiya urana (Chemistry and technology of uranium). M.: CNIATOMINFORM, 2005. 407 p.
6. Galkin N.P., Sudarikov B.N., Veryatin U.D., Shishkov Yu.D., Majorov A.A. Tekhnologiya urana (Technology of uranium). M.: Atomizdat, 1964. 309 p.
7. Bekman I.N. Uran (Uranium). M.: MGU Publ., 2009. 300 p.
8. Laskorin B.N. // Atomnaya energiya [Atomic Energy]. 1960. V. 9. № 4. P. 286–296.
9. Volkov V.P. Sorbcionnye processy dejstvuyushchih proizvodstv (Sorption processes of existing facilities). M.: Publishing house «Ruda i metally», 2014. 160 p.