



Промышленные методы переработки бедных урановых руд

Г. Е. Каплан, Б. Н. Ласкорин, Б. В. Невский

За последние годы достигнут большой прогресс в технологии переработки урановых руд. Сравнительно недавно разработанный метод извлечения урана из растворов с помощью сорбции на смолах в настоящее время обеспечивает получение более 70% всего добываемого урана. Экстракция урана жидкими экстрагентами тоже получает широкое применение, особенно на предприятиях, осуществляющих кислотное выщелачивание урана.

Обычные методы механического обогащения (гравитация, флотация и др.) играют сравнительно небольшую роль. Однако в связи с вовлечением в переработку комплексных и низкопроцентных руд значение механического обогащения в переработке урановых руд увеличивается. Особенно прогрессивным является радиометрическое обогащение, использующее радиоактивное свойство урановых минералов для отделения их от пустой породы.

Введение

До второй мировой войны ввиду незначительных масштабов потребления урана и его соединений переработке подвергались только богатые руды — с извлечением преимущественно радия, в то время как соединения урана получались в качестве побочного продукта.

Создание после второй мировой войны крупной промышленности урана в связи с его применением в военной технике и ядерной энергетике и отработкой запасов богатых руд привело большинство стран к необходимости массовой переработки бедного сырья, характеризующегося обычно многообразным урансодержащих компонентов и тонкой вкрапленностью минералов урана.

В связи с переходом к использованию весьма убогого сырья интерес к вопросам механического обогащения урансодержащих руд возрастает с каждым годом. Однако, если судить по литературным данным, методы обогащения урановых руд имеют пока сравнительно ограниченное распространение, главным образом ввиду трудностей обогащения большинства руд, связанных с указанным выше характером урановой минерализации.

Приводится удельный вес различных процессов при переработке урановых руд (в %) [1]:

Кислотное выщелачивание и сорбционное извлечение урана	73
в том числе сорбция из растворов . .	51
» » из пульп . .	22 ¹
Кислотное выщелачивание с химическими методами извлечения урана (главным образом фосфатное осаждение)	11
Кислотное выщелачивание и экстракционное извлечение урана из растворов	4
Карбонатное выщелачивание с химическими методами осаждения урана	10
Механические методы обогащения	2

Механическое обогащение

Во многих странах ведутся интенсивные научно-исследовательские работы по нахождению наиболее совершенных методов обогащения бедных урановых руд [2], [3]. В США, Англии, Канаде, Австралии, Южной Африке и других странах созданы специальные научно-исследовательские институты и лаборатории по разработке методов переработки урановых руд.

Механическое обогащение с получением отвальных хвостов применяется лишь для весьма бедных руд (с содержанием урана не более 0,05—0,1%). Для более богатых руд также иногда применяется механическое обогащение, но при этом, как правило, выделяется богатый концентрат, направляе-

¹ Только в США при переработке карнититсодержащих песчанников плато Колорадо.

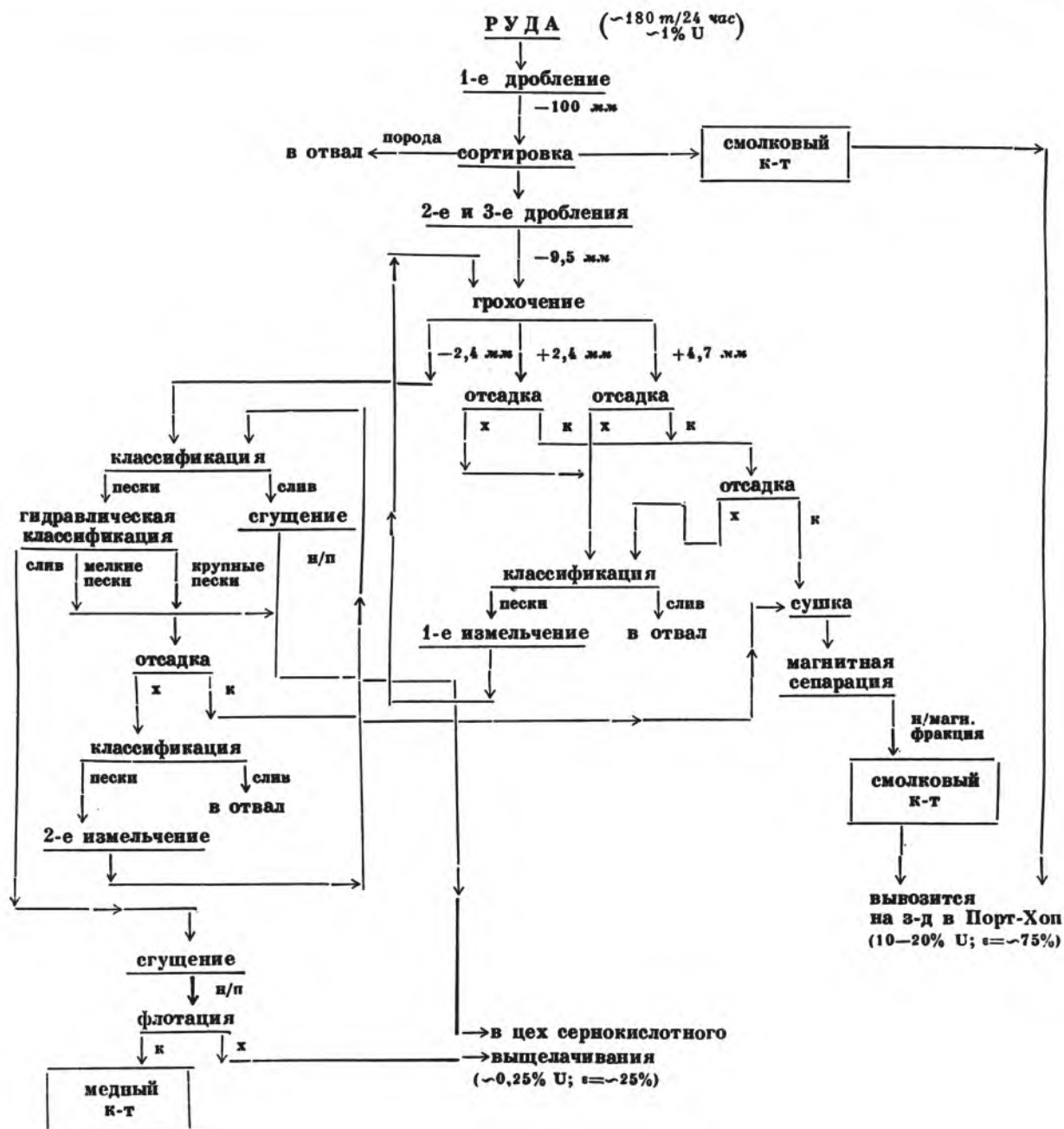


Рис. 1. Типичная схема гравитационного обогащения смоковой урановой руды (фабрика в Порт-Радии, Канада).

мый для переработки на центральные заводы, и бедный промышленный продукт, перерабатываемый обычно на месте гидрометаллургическими методами. В частности, такая схема применяется на фабриках в Порт-Радии (Канада) и Бельгийском Конго [4].

Основными методами обогащения, которые находят применение в промышленности, являются: гравитационное обогащение, в том числе в тяжелых суспензиях с применением гидроциклонов (завод Кварнсдорп в Швеции, фабрика Радиум-Хилл в Австралии), радио-

метрическое обогащение (в последнее время с применением сцинтилляционных счетчиков — фабрика в Порт-Радии), а также в некоторых случаях процессы флотации, избирательного измельчения и магнитной сепарации.

Методы гравитационного обогащения, видимо, применяются несколькими фабриками, но подробно они описаны только для фабрики в Порт-Радии, где руда обогащается по развернутой схеме с применением отсадки и флотации в замкнутом цикле с дробилками, грохотами, мельницами и классификаторами (схема 1).

Из многочисленных исследовательских работ по гравитационному обогащению видно, что лучше всего обогащаются руды, содержащие комплексные ураноносные титанообиты, в которых извлечение достигает 90% при высокой степени концентрации (до 100%).

При обогащении руд, содержащих урановую смолку, обычно получают более низкие показатели вследствие ее тонкой вкрапленности в минералах вмещающей породы; извлечение урана в концентрат не превышает 70—75%, но при этом иногда удается получить достаточно богатые концентраты. Так, например, на фабрике в Порт-Радии при содержании ~1% урана в исходной руде получают концентраты с содержанием урана до 20%, которые вывозятся на самолетах в США, а также на завод в Порт-Хоп (Канада). Хвосты обогащения представляют собой не отвальный продукт, они содержат ~0,2—0,3% урана и перерабатываются на месте методом сернокислого выщелачивания [4].

Обогащение в тяжелых суспензиях, например, магнетита и ферросилиция описано для шведских сланцев и для выделения давидитовых концентратов (урансодержащий титановый минерал) на руднике Радиум-Хилл. Описываются также исследовательские работы по обогащению сравнительно тонковкрапленных руд урана с применением тяжелых суспензий в гидроциклонах. Для ряда канадских руд этот метод обогащения дает вполне удовлетворительные результаты даже при дроблении их до 0,3—0,5 мм.

Радиометрическая сортировка (ручная и автоматическая) применяется, видимо, на некоторых рудниках, однако подробно она описана лишь для фабрики в Порт-Радии,

где установлены машины, производящие кусковую сортировку для выделения пустой породы и богатого концентрата. Применяется радиометрическая сортировка также на австралийских и других предприятиях.

Флотационное обогащение применяется и для извлечения некоторых попутных компонентов из руд (перед выщелачиванием урана) или, чаще, из хвостов (после выщелачивания) [5].

В последнее время появились сведения о применении флотации для выделения концентратов урана с получением отвальных хвостов, например, о применении флотации для обогащения урановых руд во Франции (парсонсита — фосфата урана и свинца), а также для карнититов плато Колорадо в сочетании с процессом избирательного измельчения [6].

Флотационное обогащение применяется на некоторых предприятиях Южной Африки для извлечения минералов урана и пирита из весьма бедных хвостов от цианирования золотых руд, а также для извлечения пирита (для производства серной кислоты) из хвостов после выщелачивания урана [2], [5].

Флотация давидита применяется на руднике Радиум-Хилл, где продукт +1,65 мм обогащается в тяжелой суспензии, а —1,65 мм — методом флотации. Флотационным методом в комбинации с промывкой обогащаются также урансодержащие фосфориты Флориды. Схема их обогащения не отличается от схемы, принятой для обогащения обычных фосфоритных руд. Основная часть урана переходит при этом в фосфоритный концентрат, из которого извлекается при переработке этого концентрата для удобрения.

На руднике Рам Джангл (Австралия) хвосты от сернокислотного выщелачивания руд урана подвергаются флотации с целью получения медного концентрата. На фабрике в Порт-Радии из хвостов после гравитационного обогащения минералов урана флотацией извлекается серебряно-кобальтовый концентрат [4]. Иногда применяется обогащение методом избирательного измельчения, например для карнититовых руд на некоторых предприятиях плато Колорадо. На одном из рудников обогащение избирательным измельчением комбинируется с химической обработкой, состоящей из промывки песков в классификаторах весьма слабым раствором

смеси серной и соляной кислот, в результате чего получаются отвальные хвосты.

Имются исследовательские работы по применению других методов обогащения, например электромагнитной сепарации. Этот метод используется на фабрике в Порт-Радии (Канада) для удаления магнетита, не содержащего уран, как перед обогащением непосредственно из руды, так и из гравитационных концентратов. Проводятся исследовательские работы по электростатическому обогащению применительно к комплексным урансодержащим рудам.

Пирометаллургические процессы

Пирометаллургические процессы переработки урансодержащего сырья имеют ограниченное применение (главным образом в качестве вспомогательных процессов для последующей гидрометаллургической переработки). Так, для урано-ванадиевых руд обычно применяется предварительное спекание с хлористым натрием и оборотной пятиокисью ванадия с последующим выщелачиванием ванадия водой и урана раствором кислоты или соды. Для глинистых урановых руд иногда применяется предварительное прокаливание при температуре $\sim 500^\circ\text{C}$ с целью достижения их лучшей сгущаемости и фильтруемости. Для урансодержащих углей и других руд с органическими соединениями часто применяется предварительный обжиг с целью удаления органического вещества.

Гидрометаллургические процессы

Выщелачивание. В качестве реагентов для выщелачивания применяются растворы кислот или соды. Некоторые упорные урансодержащие минералы (фосфориты, титанаты, ниобаты, цирконисвые минералы и др.) разлагаются только концентрированными кислотами при нагревании с применением в некоторых случаях специальных добавок или же предварительным сплавлением с солями. При этом сырье перерабатывается комплексно с извлечением урана и попутных компонентов: фосфора, тантала, ниобия и др.

В настоящее время в США работают два цеха по переработке урансодержащих фосфоритов и завод по переработке комплексных

тантало-ниобатовых урансодержащих концентратов.

Основным, более экономичным процессом выщелачивания рядовых урановых руд в настоящее время является кислотное выщелачивание ($\sim 90\%$ всего тоннажа руд). Для руд с невысоким содержанием урана в основном применяется выщелачивание с применением растворов кислот малых концентраций (главным образом серной), у которых pH соответствует 1—2. Выщелачивание производится без подогрева и долго (24 часа и более) [6], [7], чаще всего с перемешиванием, как правило, по непрерывному процессу (схема 2). Подача кислоты на выщелачивание обычно производится дробно: не только в первый, но и в следующие реакторы, причем подача регулируется автоматически по pH-метру. Перемешиватели применяются как пневматические—типа Пачука (Южная Африка и Австралия), так и пневмомеханические—типа Дорра (Канада). В отдельных случаях используется метод просачивания (шведские сланцы, карнитовые руды).

Иногда применяется выщелачивание методом замеса после сухого измельчения руды с выдержкой замешанной массы в течение нескольких часов. Такой метод выщелачивания дает некоторое снижение расхода кислоты, в частности для руд со значительным содержанием карбонатов (завод Шипрок, США).

В качестве окислителей для перевода урана из четырех- в шестивалентную форму в основном применяются перекись марганца (Южная Африка, Австралия) и хлорат натрия (Канада). Подача окислителей также производится дробно и автоматически регулируется по величине окислительно-восстановительного потенциала. В случае применения перекиси марганца она иногда регенерируется из растворов после сорбции из них урана [8].

Богатые руды и концентраты с высоким содержанием урана (1—50%) обрабатываются крепкими кислотами, например азотной, на заводах Спрингфилд (Англия), Ле-Буше (Франция), Порт-Хоп (Канада) и др.

Руды перед кислотным выщелачиванием измельчаются до 0,3—1 мм. В целях минимального обводнения процесса с попутным удалением растворимых в воде примесей пульпу перед выщелачиванием сгущают, а

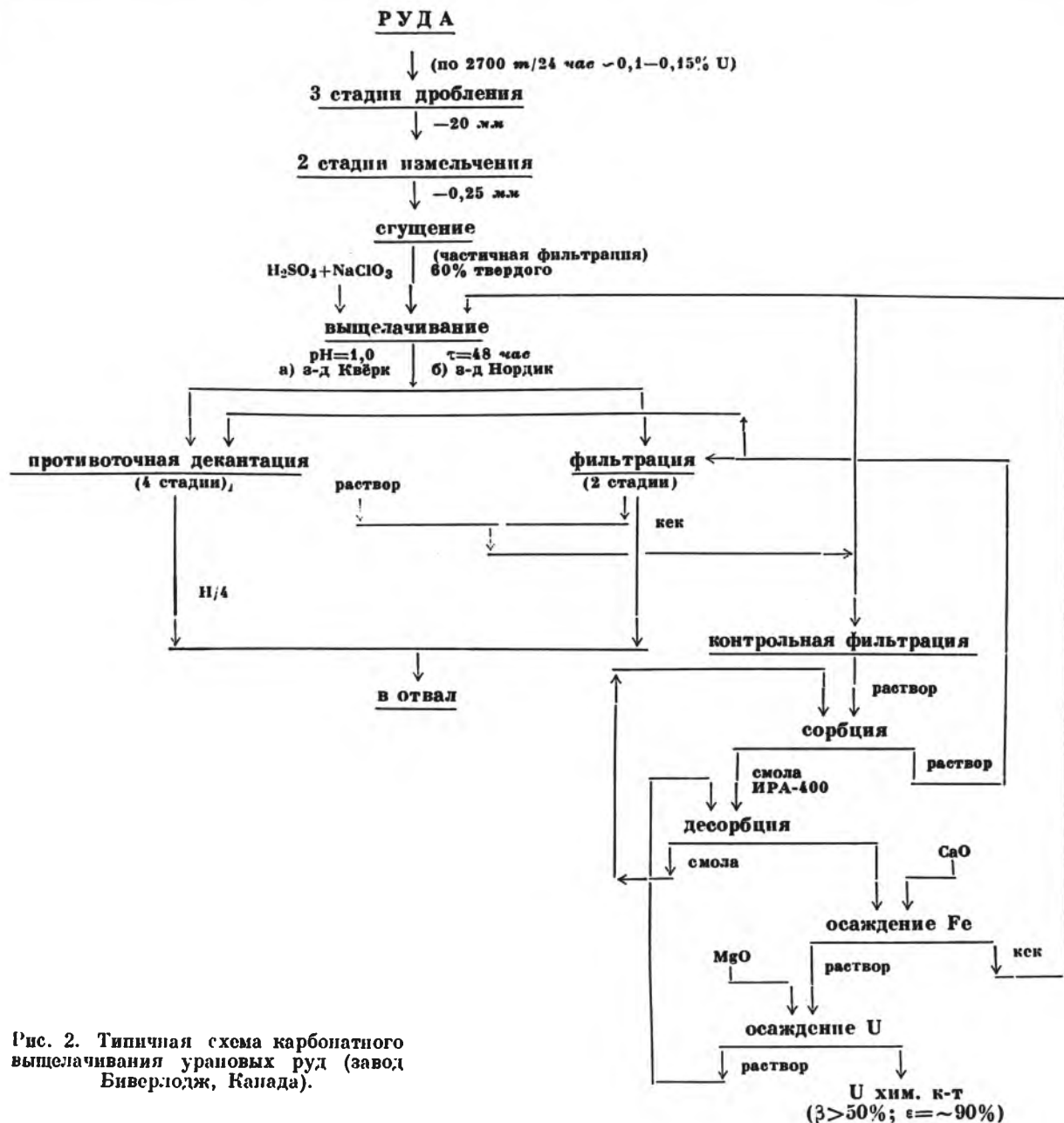


Рис. 2. Типичная схема карбонатного выщелачивания урановых руд (завод Биверлодж, Канада).

иногда и фильтруют (заводы Нордик, Квёрк и др. в Канаде) [9], [10]. В последнее время для этой же цели применяется сухое измельчение руды в мельницах нового типа — Аэрофол (два завода в Южной Африке и опытная установка в Канаде), где руда измельчается свободным падением в барабанах боль-

шого диаметра без шаров. Подобные мельницы оказались более экономичными, чем обычные, благодаря меньшему расходу стали и энергии.

В ряде случаев при выщелачивании часть растворов оборачивается в голову процесса с целью экономии расхода кислоты и повыше-

ния концентрации урана в выводных растворах. Аппаратура для выщелачивания изготовляется обычно из простой стали и защищается от коррозии гуммировкой или керамической плиткой. Применяются также бетон и дерево. Нержавеющая сталь используется сравнительно редко.

Для переработки сульфидных руд предложен метод, который состоит в обработке измельченной руды водой, воздухом или кислородом при нагревании последнего до 120°C, парциальном давлении 10 атм и степени измельчения 50—65% до —74 мк. Плотность пульпы 65% твердого. Извлечение урана составляет 90—95%. В этом случае кислота на выщелачивание не расходуется, а получается из сульфидов в процессе выщелачивания [11], [12]. Упоминаются сообщения об извлечении урана из раствора путем обработки руд сернистым газом и о применении метода хлорирования газообразным хлором в присутствии восстановителя при температуре 700—1000° С. Содовое выщелачивание применяется преимущественно для высококарбонатных руд, для которых кислотный процесс выщелачивания неприменим из-за большого расхода кислот [13].

В связи с избирательным извлечением урана при карбонатном выщелачивании руды перед процессом выщелачивания измельчаются до —0,2 — 0,15 мм в содовом растворе и, как правило, часть растворов заворачивается в голову процесса для снижения расхода соды и повышения концентрации урана в растворах. Выщелачивание производится при нагревании смесью карбоната и бикарбоната натрия. Время выщелачивания колеблется в пределах от нескольких часов для руд со вторичными урановыми минералами до нескольких десятков часов — для смолковых руд. Перемешивание обычно производится в аппаратах пневматического типа, так как воздух в этом случае является окислителем урана [14] (схема 3). В некоторых случаях при содовом выщелачивании вводятся и химические окислители, в частности перманганат калия. Начиная с 1953 г. в зарубежной печати появился ряд статей, описывающих метод карбонатного выщелачивания урана из руд с применением в качестве окислителя кислорода под давлением. Эти публикации, помимо технологических данных, содержали также результаты физико-химических исследований [13].

В последние годы постросно и испытано несколько опытных установок по этой технологии. На первой секции завода в Биверлодже (Канада) было принято карбонатное выщелачивание в автоклавах с применением воздуха под давлением в несколько атмосфер и выделением урана из растворов путем осаждения едким натром. Вторая очередь завода работает по карбонатной схеме без применения давления, но с длительным выщелачиванием (~100 час) с интенсивной аэрацией (в Пачуках, схема 3). Карбонатное выщелачивание под небольшим давлением используется также на заводе в Блуотере (США) [10], [15].

Выделение урана из растворов с применением водорода под давлением в присутствии катализатора описывается лишь по данным лабораторных исследований.

Сгущение и фильтрация. В большинстве технологических схем выделение урана из растворов требует предварительного отделения твердого от жидкого. Для этого при плохой фильтруемости пульпы применяются процессы сгущения, а для хорошо фильтрующихся руд — фильтрация (Южная Африка). При сравнительно крупнозернистых пульпах пески обычно выделяются после выщелачивания на классификаторах и гидроциклонах и затем промываются на 3—4 классификаторах или на горизонтальных вакуум-фильтрах.

В случае отделения растворов сгущением обычно применяется схема противоточной декантации с 3—4 ступенями. Фильтрация проводится в 2—3 стадии в зависимости от содержания урана в руде и характера руды (величины остаточной влажности после сгущения и фильтрации).

Применяются те или иные комбинации сгущения и фильтрации, например одна стадия сгущения плюс две стадии фильтрации или же две стадии сгущения плюс одна стадия фильтрации и т. д. В основном применяются сгустители обычные, иногда — двух- и трех-ярусные (Канада). При сгущении часто добавляются специальные коагулянты и флокулянты типа синтетических полиэлектролитов (сепаран и др.).

Для кислых пульп сгустители изготовляются из дерева или из стали с защитной гуммировкой. В большинстве случаев применяются фильтры барабанного типа, так как они позволяют производить промывку кека,

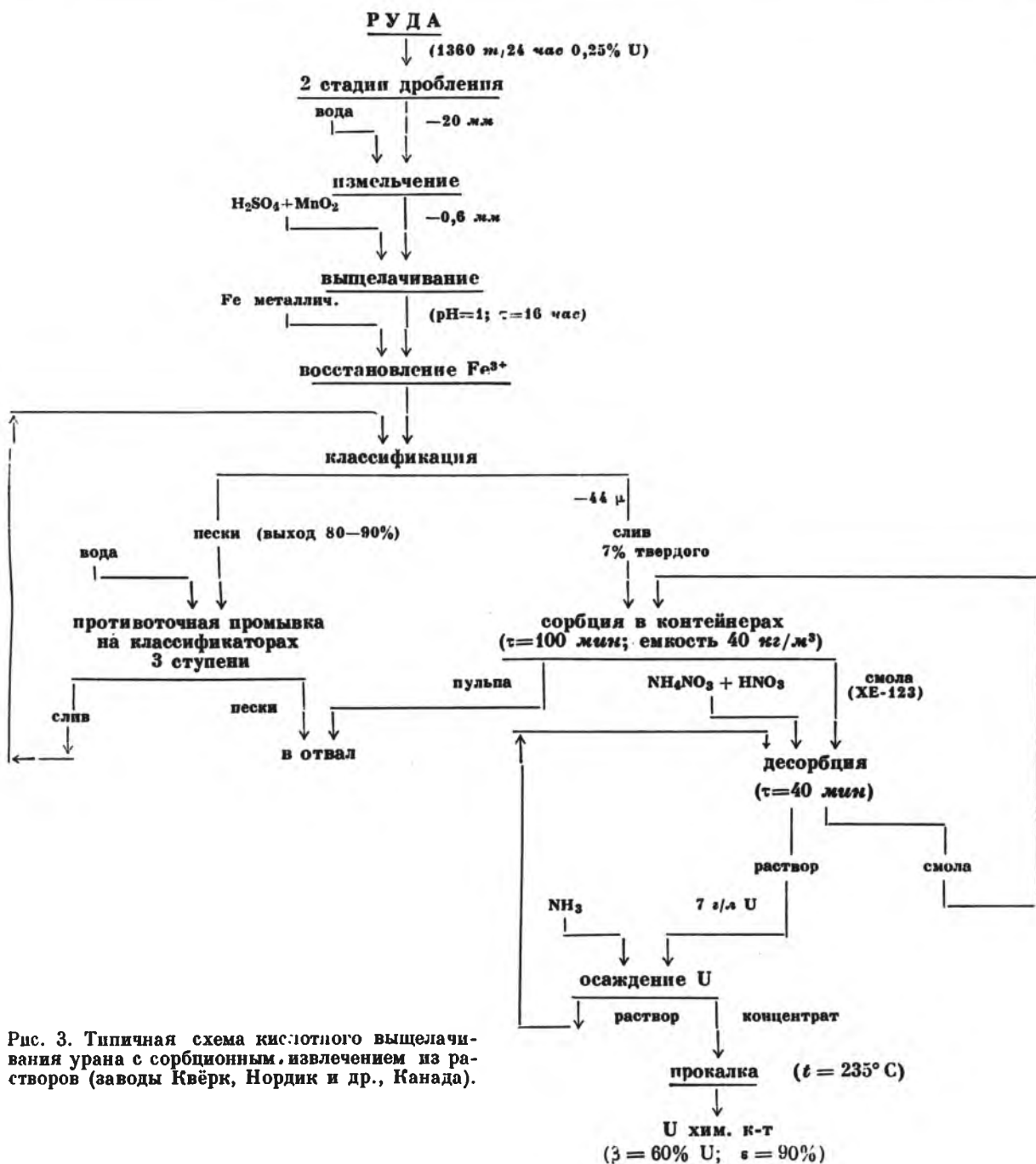


Рис. 3. Типичная схема кислотного выщелачивания урана с сорбционным извлечением из растворов (заводы Квёрк, Нордик и др., Канада).

что уменьшает необходимое число стадий фильтрации (обычно до двух).

Съем кека в них производится обычно рядом непрерывных шнуров, что повышает

производительность фильтров, увеличивает срок службы ткани и улучшает отмывку урана (вследствие отсутствия отдувки). Дисковые фильтры применяются реже, так

как требуют большого числа стадий фильтрации (отмывка раствора производится только путем репульпаций), иногда применяются автоматические фильтр-прессы различных конструкций (Бурта, Эймко и др.). В последнее время упоминается о применении вакуум-фильтров с горизонтальной поверхностью (карусельных, ленточных, барабанных с верхней подачей), главным образом для сравнительно крупнозернистых материалов.

Для контрольной фильтрации применяются в основном рамные вакуум-осветлители, фильтр-прессы, иногда песочные осветлители (Южная Африка). При фильтрации также применяются специальные флокулянты: животный клей, синтетические полиэлектролиты для кислых пульп, каустизированные крахмалы и синтетические флокулянты для содовых пульп. Вследствие этого производительность фильтров часто достигает 5—6 m твердого на 1 m^2 поверхности в сутки. Ткань на фильтрах в основном синтетическая, из новых видов гидрофобных волокон (нейлон, перхлорвинил и др.) [16], [17]. Иногда используются ткани, предварительно покрытые легкофильтрующимися порошками, например кизельгуром.

Выделение урана из растворов. Для выделения урана из кислых растворов применяются, хотя сравнительно редко, некоторые химические методы, осаждающие уран в виде фосфатов, арсенатов, ванадатов и др. (завод в Порт-Радии и некоторые заводы в США). Больше распространены сорбционные и экстракционные методы выделения урана из кислых растворов и пульп (с исключением энергоемких и трудоемких операций фильтрации и репульпации) [18], [19].

До Женевской конференции 1955 г. исследования по сорбции урана из производственных растворов и пульп не опубликовывались. Имелись лишь сведения об использовании метода ионообмена для аналитических целей и отрывочные упоминания о применении ионитов с целью извлечения урана из производственных растворов на южноафриканских заводах, однако типы сорбента и аппаратное оформление процесса не указывались. Впервые подробные данные по этим вопросам были опубликованы на Женевской конференции 1955 г. Согласно этим данным, сорбция осуществлялась из кислых растворов,

а также из кислых рудных пульп с применением исключительно анионитов типа четвертичных аммониевых оснований дауэкс-1 и амберлит-ИРА-400, ИРА-410, деацедит F—F и др. Кроме того, на конференции 1955 г. приводились лабораторные данные по сорбции урана из содовых растворов [14], [20].

Кунин, Прейс, Арден и др. утверждали, что анионообменные смолы не могут быть использованы для селективной сорбции урана из растворов, и указывали, что благодаря открытию в 1949 г. способности иона уранила образовывать в серноокислых средах отрицательно заряженные комплексы стало возможным применить аниониты для избирательной сорбции урана.

Необходимо отметить, что наличие анионной формы урана в серноокислых растворах было впервые установлено Дитрихом в 1892 г. Кунин и Прейс сообщают, что аниониты со слабоосновными функциональными группами также сорбируют уран, но их емкость и селективность не так велики, как у сильноосновных смол; Гринстед, Эллис и Олсон придерживаются противоположной точки зрения.

Сорбция урана из растворов в динамических условиях широко применяется на многих предприятиях Южной Африки, Канады, США и Австралии в промышленных масштабах. Полный цикл сорбции и десорбции осуществляется в 3—4 последовательно соединенных колоннах, причем в одной из колонн происходит регенерация смолы, в остальных — сорбция урана [5], [16], [17]. Десорбция осуществляется слабыми растворами соляной или азотной кислот в смеси с их аммониевыми солями; применяется также смесь серной кислоты с поваренной солью.

Некоторые авторы отмечают, что емкость сильноосновных смол по урану с уменьшением pH раствора от 2 до 0,5 снижается в 6 раз. Присутствие в растворах таких анионов, как ванадат, фосфат, цианид, молибдат, титан, трехвалентное железо и др., снижает сорбционную емкость смолы. Серьезную угрозу на южноафриканских заводах представляют такие химические яды, как кобальт-цианид, полиитонат, элементарная сера и кремниевая кислота.

В 1955 г. Холлисом и Макартуром были изложены основы бесфильтрационного ме-

тода сорбции урана из рудных пульп. Первые промышленные испытания этого метода были начаты в США в 1953 г. В настоящее время в США заводы, перерабатывающие карнотитовые песчаниковые руды по сорбционному бесфильтрационному методу, используют аниониты типа амберлит-ИРА-400 или дауэкс-1 [21], [22].

Процесс осуществляется следующим образом: пульпа с частицами размером менее 43 мк (после выделения песков на классификаторах и гидроциклонах) и с содержанием не более 7—8% твердого проходит последовательно через ряд ванн, в которых расположены сетчатые контейнеры, на одну треть объема заполненные смолой и совершающие возвратно-поступательное движение по вертикали. При движении контейнера вниз смола взрыхляется и находится во взвешенном состоянии, а при обратном движении уплотняется. Обедненная пульпа, пройдя через указанную цепь ванн, сбрасывается в отвал. Каждая цепочка сорбции урана состоит из 6—8 ванн, в которых помещено по 4 контейнера размерами $183 \times 183 \times 183$ см³. В контейнер вмещается до 1,4 м³ смолы в набухшем состоянии, зернение сорбента — 0,8—1,6 мм. Полный цикл сорбции и десорбции происходит в 14 ваннах: в шести — сорбция, в шести — регенерация смолы, две ванны запасные. Сорбционная емкость смолы при pH=1,5 и переработке руд с содержанием урана 0,3% составляет ~100 кг/т. Извлечение урана из пульп — свыше 99%. Процесс сорбции и десорбции производится по принципу противотока. Общие потери смолы за 2 года работы установки составили 25%, а сорбционная емкость понизилась всего на 10%.

Из регенерата после сорбции уран осаждается обычно аммиаком или окисью магния (Канада). Полученный концентрат подвергается 2—3 репульпациям с фильтрацией на барабанных фильтрах с целью отмывки от хлора и других примесей, так как регенерация смолы обычно производится раствором поваренной соли. Химические концентраты подвергаются сушке в механизированной гребковой сушилке муфельного типа. Самая крупная сорбционная установка в Южно-Африканском Союзе имеет 45 колонн [23].

Фуз предполагает, что бесфильтрационный метод в будущем заменит метод сорбции из осветленных растворов, однако ука-

зывает, что для разрешения проблемы фильтрования и сгущения было разработано много новых флокулирующих средств, которые позволяют успешно осветлять растворы при незначительных затратах. Ввиду этого противоточная декантация и сорбция из растворов, по утверждению автора, в некоторых случаях будет конкурировать с методом сорбции урана из пульп [24].

Иссо сообщает, что в США уже в конце 1956 г. работало 12 заводов по переработке урановых руд с применением ионообменного процесса. Наиболее крупный завод в Моаб, шт. Юта (схема 4), начавший функционировать в 1956 г. по методу сорбции из пульп, имеет производительность 1360 т руды в сутки с содержанием урана ~0,25%. На этом заводе работает 175 человек.

Некоторые авторы подробно излагают данные по работе 16 крупных заводов Южно-Африканского Союза производительностью от 1000 до 7000 т руды в сутки, где перерабатываются хвосты предприятий золотодобывающей промышленности с содержанием 0,006—0,1% урана (при содержании урана ниже 0,01—0,015% хвосты предварительно обогащаются флотацией). На ряде заводов с 1950 г. переработка руды производится сорбционным методом из осветленных растворов в динамических условиях на сильноосновных смолах зернением 0,3—0,9 мм при pH=1—1,5. Фильтрация пульп производится на барабанных вакуум-фильтрах (две стадии). Осветление растворов производится на рамных вакуум-фильтрах. В пульпу для повышения скорости фильтрации добавляется животный клей. Сорбция из осветленных растворов осуществляется в трех последовательно соединенных колоннах: в двух — сорбция, в одной — регенерация смолы. Высота каждой колонны 3,36 м, диаметр 2,25 м, высота слоя смолы 1,525 м, скорость потока при сорбции 6—10 м/час, при регенерации — 1—1,5 м/час. При концентрации урана в исходном растворе 0,5 г/л и pH=1,5 емкость свежей смолы достигает 48 кг/м³. Максимальная концентрация урана в регенерате достигает 30 г/л. Регенерация осуществляется азотнокислыми смесями, содержащими нитрит аммония. Указывается, что содержание в исходном растворе незначительных количеств нитритов и хлоридов приводит к понижению емкости смол по урану. Особенно резко

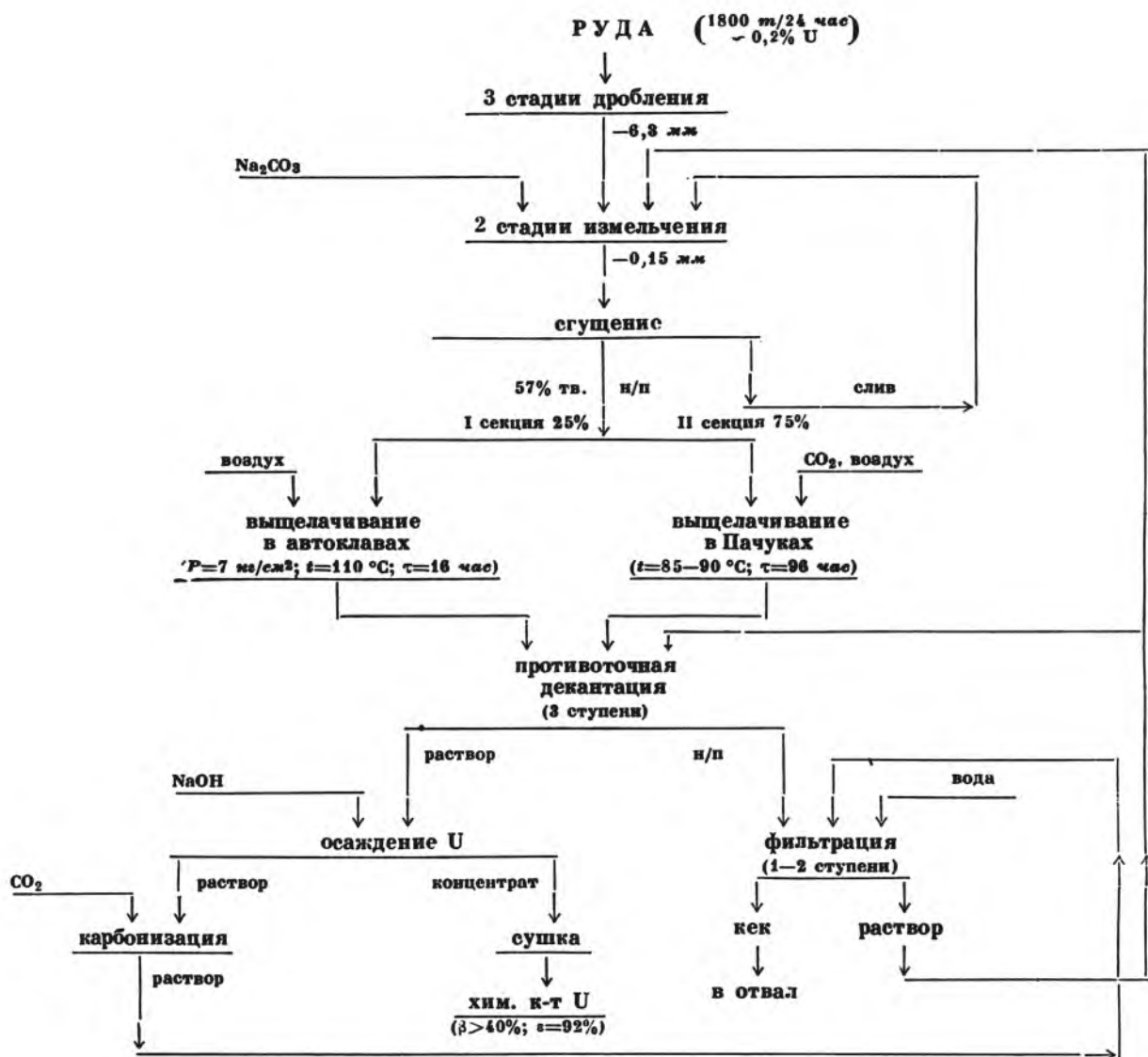


Рис. 4. Типичная схема кислотного выщелачивания с сорбцией урана из пульпы (завод в Моаб, США).

уменьшается емкость смол за счет хлорат-иона [5], [23].

В работе Шинкера и сотрудников описаны лабораторные опыты по сорбции урана из производственных и искусственно приготовленных содовых растворов на сильноосновном анионите марки ИРА-400. Указывается, что сорбционная емкость смолы уменьшается с увеличением карбонатности раствора. Органические вещества поглощаются смолой и понижают ее емкость по урану. Такие анионы, как фосфаты, арсенаты и ванадаты,

практически не поглощаются сорбентом. Регенерация смолы осуществляется раствором, в котором содержится азотнокислый натрий и карбонат натрия, причем в регенератах среднее содержание урана составляет 20—25 г/л [25].

В 1955 г. на Женевской конференции в ряде докладов сообщалось о применении экстракционного метода в промышленности. Так, например, в сообщении Гринстеда указывалось, что в США на опытном заводе перерабатываются экстракционным путем серно-

кислые пульпы при отношении $T : Ж = 1 : 1$ с содержанием урана в исходной руде до 1%. В качестве экстрагента применяют 2%-ный раствор моно- и диалкилфосфата в керосине.

В докладе Лонга описывается извлечение урана из фосфорнокислых растворов при содержании урана в растворе до 1 г/л при помощи алкилпирофосфатов.

После Женевской конференции 1955 г. появилось значительное количество статей с описанием различных экстракционных схем извлечения урана [26] — [28].

Наиболее широкое применение нашел экстракционный метод для извлечения урана из фосфорнокислых растворов. В США на нескольких заводах осуществляется попутное получение урана при переработке фосфоритов; экстракция производится растворами моно- и диалкилфосфатов, а также высших аминосоединений в керосине.

В США работает ряд заводов с экстракционной схемой извлечения урана из сернокислых растворов. В качестве экстрагента используется 3%-ный раствор ди- и додецил-

фосфорной кислоты в керосине. Для экстракции из сернокислых растворов применяется также раствор ди-2-этилгексилфосфорной кислоты (с добавкой небольшого количества трибутилфосфата) в керосине.

В связи с большими потерями пироалкилфосфатов и продуктов их гидролиза (от 3 до 10 г/г урана) на некоторых заводах производится азотнокислос вскрытие руд и экстракция урана из азотнокислых растворов при помощи трибутилфосфата.

В литературе упоминается также о работах, проведенных в США по экстракции урана из плотных сернокислых и солянокислых пульп в лабораторных условиях. Извлечение осуществлялось в ленточных экстракторах. В качестве экстрагентов испытывались ацетон, трибутилфосфат и растворы моно- и диалкилфосфата в метилизобутилкетоне и других кислородсодержащих органических окислителях. В результате экстракции из солянокислых пульп был получен 20—30%-ный концентрат урана. Основные примеси: ванадий, железо и кальций [26].

Поступила в Редакцию 25/VIII 1958 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. R. H. Kennedy. *Mines mag.*, XLVII, No. 9, 22 (1957).
2. T. V. Lord. *Canad. min. Metall. bull.*, 49, No. 526, 91 (1956).
3. E. J. Duggan. *Mines mag.*, XLVI, No. 3, 99 (1956).
4. R. L. Behan, D. F. Lillie. *Canad. min. metall. bull.*, 49, No. 528, 254 (1956).
5. Симпозиум: Урановая промышленность Южной Африки. *J. of South. Afric. instit. min. metall.*, 57, No. 3—11 (1956/57).
6. *Chem. engng news*, 34, No. 25, 2968 (1956).
7. A. Linz. *Chem. engng progr.*, 52, No. 5, 205 (1956).
8. A. M. Gandin. *J. metals*, 8, No. 8, 1065 (1956).
9. W. L. Lenneman. *Min. engng*, 8, No. 6, 622 (1956).
10. Симпозиум: Урановая промышленность Канады. *Canad. min. J.*, 77, No. 6, 123 (1956).
11. A. H. Ross. *Canad. Min. metall. bull.*, 49, No. 532, 570 (1956).
12. R. A. Foos. *Mining engng*, 8, No. 9, 893 (1956).
13. Симпозиум: Технологии переработки урановых руд. *Min. engng*, 9, No. 9, 973 (1957).
14. T. V. Arden. *Mine and Quarry Engng*, 22, No. 12, 88 (1956).
15. W. A. Gow. *Canad. min. J.*, 78, No. 3 (1957).
16. J. N. Botsford. *West. Miner*, 30, No. 3, 37 (1957).
17. N. W. Byrne. *West. miner*, 30, No. 4, 71 (1957).
18. H. N. Dunkin. *Chem. engng min. rev.*, 49, No. 7, 51 (1957).
19. H. L. Hazen. *Min. world*, 19, No. 5, 44 (1957).
20. Y. Dasher. *J. metall.*, 9, No. 1, 185 (1957).
21. S. Dayton. *Min. world*, 9, No. 2, 36 (1957).
22. T. Yzzo et al. *Engng and mining J.*, 158, No. 1, 90 (1957).
23. W. Q. Hull, E. T. Pinkney. *Industr. engng chem.*, 49, No. 1, 1 (1957).
24. R. F. Hollis, C. K. McArthur. *Min. engng*, 9, No. 4, 442 (1957).
25. T. V. Arden, A. Himsley. *West. miner*, 30, No. 9, 51 (1957).
26. R. H. Bailes, Y. E. Magner. *Mines Mag.*, XLVII, No. 6, 51 (1957).
27. G. V. Argall. *Min. world*, 19, No. 8, 44 (1957).
28. R. S. Olsen, M. T. McCarty. *Min. Congr. J.*, 43, No. 7, 50 (1957).

