

марной толщине железа многослойной защиты. Многослойный цилиндр гораздо меньше ослабляет поток нейтронов, чем сплошной железный цилиндр эквивалентной толщины.

### Итоги исследования

1. Используемый в настоящей работе метод расчета позволяет детально проследить за изменением спектра нейтронов в любой многослойной системе. Учитывая универсальность метода, можно рекомендовать его для использования в расчетах пространственно-энергетического распределения нейтронов от источника, имеющего произвольный спектр при условии, что толщина защиты невелика (порядка десятков сантиметров).

2. Детально прослежено изменение энергетического спектра нейтронов, испускаемых точечным  $\text{Po} - \text{Be}$ -источником, находящимся в однородной конечной среде, состоящей из железа или воды. При этом, если средой является железо, то наблюдается значительное смятение спектра, причем на расстоянии больше 10 см преобладающими компонентами в интегральном нейтронном потоке становятся группы нейтронов с энергией меньше 2 Мэв. Особенно велика интенсивность потока промежуточных нейтронов, уже испытавших замедление ( $E < 0,9$  Мэв). Если же средой является вода, значительной компонентой энергетического спектра становятся группы нейтронов с энергией 10,8—1 Мэв. В то же время вода обеспечивает быстрое и эффективное замедление нейтронов меньших энергий.

3. Представляется целесообразным использовать комплекс из водородсодержащего вещества (воды, парафина) и металла (железа или меди). Применение свинца нецелесообразно. Защитные свойства двухслойного железо-водного экрана лучше по сравнению с однослойной водной защитой лишь при условии, что

общая толщина двухслойного экрана  $l$  больше инверсионной длины  $l_{\text{инв}}$  ( $l_{\text{инв}} = 25$  см). При этом источник сначала окружается экраном из железа, а затем слоем воды.

Такая защита имеет существенный недостаток: в интервале энергий нейтронов около 3—1 Мэв, где сечение неупругого рассеяния железа становится малым, а сечение упругого рассеяния на водороде еще невелико, создаются условия для накопления нейтронов этих энергий.

4. Двухслойная железо-водная защита указанной выше геометрии более эффективна, чем многослойная защита, при одинаковой суммарной толщине слоя железа.

На границе железо — вода создаются условия своеобразной «фокусировки» нейтронов низких энергий в центр системы, что также обуславливает лучшие защитные свойства рекомендуемой защиты. Возможно, что эффективность предложенной защиты можно несколько увеличить за счет усложнения рельефа поверхности сердечника, так как при этом, согласно ориентировочным оценкам, можно ожидать улучшения условий фокусировки нейтронов в центр системы.

Результаты исследования были применены для конструирования нейтронного контейнера. Создана модель контейнера, вес и объем которой почти в два раза ниже веса и объема стандартной заводской установки того же типа при одинаковой мощности дозы на поверхности обоих контейнеров.

Поступила в Редакцию 23/VII 1962 г.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Г. И. Марчук. Численные методы расчета ядерных реакторов. М., Атомиздат, 1958.
2. О. А. Барсуков, В. С. Авзянов. «Атомная энергия», 5, 478 (1961).
3. Справочник по ядерно-физическим константам для расчета реакторов. М., Атомиздат, 1960.

УДК 621.039.714.066

## Осветление и очистка радиоактивных сточных вод методом флотации

В. В. Пушкарев, Ю. В. Егоров, Е. В. Ткаченко, В. Л. Золотавин

Методом флотации гидроокисей железа и алюминия изучено осветление и очистка радиоактивных сточных вод, содержащих значительные количества моющих и комплексобразующих веществ. Показано, что по

сравнению с отстаиванием при флотации можно получать осадки с меньшим объемом при большей скорости осветления.



В результате осветления и очистки радиоактивных сточных вод осаждением гидроокисей железа [1] или алюминия образуются большие количества аморфных и влажных осадков, объем которых перед захоронением необходимо значительно уменьшить. К факторам, влияющим на объем осадка, можно, в частности, отнести условия осаждения [2] и присутствие ряда веществ, либо смещающих равновесие сольватации ионов осаждаемого металла с образованием малодисперсного осадка, либо «гидрофобизирующих» готовую твердую фазу [3]. В связи с этим представляло интерес исследовать условия осветления и очистки радиоактивных стоков флотацией гидроокиси железа и алюминия, так как известно, что в условиях флотации роль флотореагента по существу сводится к гидрофобизации поверхности твердых частиц.

Имеется много сведений о возможности осветления сточных вод введением в них твердых носителей с последующей флотацией [4, 5]. Применение этого метода к осадкам, содержащим радиоактивные изотопы, было освещено впервые в работе [6]. В ней приводятся данные по обработке предварительно отстаившихся осадков гидроокиси железа (5—15 г/л) методом флотации. Однако этот метод рассматривался лишь в сочетании с методом отстаивания и опыты проводились с водопроводной и дистиллированной водой. В связи с этим представлялось целесообразным изучить возможность осветления и очистки радиоактивных растворов методом флотации гидроокиси железа с использованием в десятки раз меньших количеств солей железа, чем в работе [6], чтобы избежать отстаивания при очистке сточных вод.

Особый интерес представляет исследование очистки в присутствии моющих и очищающих средств, а также комплексообразующих веществ, используемых обычно в качестве составных частей различных дезактивационных растворов. Последнее особенно важно, так как для некоторых процессов (выпаривание, ионный обмен) присутствие этих веществ нежелательно [7—9].

В настоящей статье приводятся результаты исследований возможности применения флотации гидроокисей железа и алюминия без их отстаивания для очистки радиоактивных сточных вод, имеющих в своем составе кроме обычных для таких вод солей поверхностно-активные, моющие и комплексообразующие вещества. В результате исследования были изучены: влажность сфлотированных гидроокисей

и эффективность удаления из раствора солей жесткости, моющих средств и некоторых радиоактивных элементов в зависимости от pH, расхода флотореагента, количества гидроокиси.

Определение степени очистки вод от радиоактивности проводили по извлечению  $Sr^{90}$ ,  $Y^{90}$  и  $Nb^{95}$ . Эффективность очистки от солей жесткости оценивали титрометрически, а от хозяйственного мыла и порошка «Новость» — нефелометрически. Для этого готовили растворы, которые моделировали сточные воды по солевому составу и не содержали взвешенных веществ. В эти растворы вводили различные количества хозяйственного мыла или порошка «Новость» и строили соответствующие градуировочные графики. Затем проводили операции флотации гидроокиси в растворах, содержащих хозяйственное мыло или порошок «Новость», с последующим нефелометрированием. Степень удаления указанных моющих и очищающих средств устанавливали по градуировочному графику. Чувствительность определения составляла: для хозяйственного мыла 3 мг/л, для порошка «Новость» 10 мг/л. Влажность сфлотированных гидроокисей определяли взвешиванием [10].

Опыты проводились следующим образом. В 1 л очищаемой воды осаждали гидроокиси железа и алюминия, затем раствором едкого натра устанавливали нужную величину pH. После этого образовавшуюся суспензию переносили в делительную воронку, добавляли флотореагент и перемешивали импеллерной мешалкой со скоростью ~3000 об/мин (в некоторых случаях гидроокись осаждали непосредственно в делительной воронке). После флотации гидроокиси осветленный раствор сливали через кран и отбирали пробы для анализа. Все опыты проводили при температуре 16—20° С. Ниже приводится состав сточной воды:

Соли жесткости . . . . .	до 200 мг/л
Моющие и очищающие средства:	
хозяйственное мыло . . . . .	до 70 мг/л
порошок «Новость» . . . . .	до 120 мг/л
трилон Б . . . . .	до 60 мг/л
гексаметафосфат натрия . . . . .	до 190 мг/л
Соли железа и марганца . . . . .	до 50 мг/л
Ионы хлора, нитрата и сульфата . . . . .	до 250 мг/л
Ионы натрия, калия и алюминия . . . . .	до 130 мг/л
Радиоактивные изотопы . . . . .	до 200 мккюри/л
pH сточной воды . . . . .	7,0—8,0

В результате предварительных опытов было установлено, что сульфатное мыло является удовлетворительным флотореагентом для выбранных гидроокисей. Оптимальный расход раствора сульфатного мыла (с концентрацией



800 г/л в 4%-ном растворе сульфата натрия) составлял 0,002—0,004 мл/мл гидроокиси. В этих условиях при интенсивности перемешивания 3000 об/мин в течение 1 мин разделение осадка и раствора происходило за 40 мин.

После определения условий, при которых наблюдалась устойчивая флотация гидроокиси, изучали влияние количества осадка, примесей и pH раствора на процесс флотации. Первоначально опыты проводили с гидроокисью железа. Наименьшая влажность сфлотированного осадка (92,0—95,0%) была получена при pH обрабатываемого раствора, равном 6,0—7,0. В этих условиях пена разрушалась за 10 мин. В щелочной среде (pH = 9,0 ÷ 11,0) влажность осадка составляла 94,7—96,6%, а пена разрушалась за 30—50 мин. Установлено, что влажность гидроокиси практически не зависит от расхода флотореагента. Следует отметить, что при отделении гидроокиси железа от исходного раствора отстаиванием осветление происходило через трое суток, а влажность получаемого осадка составляла 97,8—99,1%.

При флотации удалялись как макро-, так и микроколичества сорбирующихся осадком веществ (табл. 1, 2). Степень извлечения солей жесткости осадком гидроокиси железа несколько зависела от метода разделения фаз. В частности, гидроокись железа в количестве, большем 500—700 мг/л, при флотации хуже очищала воду от солей жесткости, чем при отстаивании. По-видимому, в первом случае происходило неполное удаление гидроокиси, на что указывает некоторое снижение извлечения Sr<sup>90</sup> из очищаемой воды. С другой сто-

Таблица 1

Извлечение Sr<sup>90</sup>, Y<sup>90</sup>, Nb<sup>95</sup> из сточных вод методом флотации гидроокиси железа

Fe(OH) <sub>3</sub> , мг/л	pH суспензии	Извлечение, %		
		Sr <sup>90</sup>	Y <sup>90</sup>	Nb <sup>95</sup>
200	7,0	40,0	90,0	98,4
	11,0	92,0	99,0	99,0
500	7,0	43,0	90,0	—
	11,0	99,1	99,5	98,0
1000	7,0	35,0	95,6	—
	11,0	98,3	99,5	—

Таблица 2

Извлечение солей жесткости, хозяйственного мыла и порошка «Новость» из сточной воды методом флотации гидроокиси железа

Fe(OH) <sub>3</sub> , мг/л	pH суспензии	Извлечение, %		
		соли жесткости	хозяйственное мыло	порошок «Новость»
100	11,0	68,1	70,0	70,0
500	9,0—11,0	81,9	90,0	100,0
1000	9,0—11,0	74,1	95,0	—

роны, если количество коагулянта не превышало 500 мг/л, то удаление Sr<sup>90</sup> флотацией выше, чем при отстаивании. Если принять во внимание, что сульфатное мыло умягчает воду, то повышение извлечения стронция можно объяснить образованием самим флотореагентом труднорастворимых соединений с кальцием и стронцием и фиксацией их осадком гидроокиси железа.

Были проведены сравнительные исследования по очистке вод методами флотации и отстаивания. Из данных этих опытов (табл. 3) видно, что образовавшийся при флотации осадок гидроокиси имеет меньшую влажность и объем, чем осадок, полученный в тех же условиях отстаиванием. Кроме того, для осветления сточных вод флотационным методом требовалось значительно меньше времени, чем при отстаивании.

При очистке сточных вод на некоторых промышленных предприятиях в качестве коагулянта используют не только соли железа, но

Таблица 3

Сравнение показателей очистки радиоактивных сточных вод методами флотации и отстаивания\*

Показатели очистки	Метод флотации	Метод отстаивания
Влажность осадка, %	92,0—96,5	98,5—99,8
Содержание Fe(OH) <sub>3</sub> в пульпе, г/л	50,0—75,0	5,0—15,0
Объем, занимаемый осадком (% от объема обрабатываемой воды)	3,3	17,0—18,0
Время, за которое осадок приобретает указанные свойства, ч	0,7	2,0—5,0

\* Исходное количество Fe(SH)<sub>3</sub> 500 мг/л.



и соли алюминия или смесь этих солей. Были проведены исследования по осветлению вод указанного выше состава с использованием гидроокиси алюминия. Опыты, проделанные в слабощелочной среде, показали, что гидроокись алюминия хорошо осветляет раствор как отстаиванием, так и флотацией. Единственным ограничением при работе с гидроокисью алюминия — необходимость поддерживать рН очищаемого раствора не выше 9,0, так как в противном случае наблюдалась значительная пептизация осадка и заметное его растворение. Объем сфлотированного осадка гидроокиси алюминия (исходное количество 500 мг/л) после его отделения от очищаемого раствора составлял 3—5% от объема обработанного исходного раствора. Отстаивание в течение 70 ч в тех же условиях приводило к образованию осадка, составляющего 23% от объема исходного раствора.

Поступила в Редакцию 28/I 1963 г.

## ЛИТЕРАТУРА

1. С. А. Вознесенский и др. В кн. «Труды Второй международной конференции по мирному использованию атомной энергии». Докл. сов. ученых. Т. 4. М., Атомиздат, 1959, стр. 189.
2. Э. А. Остроумов. В кн. «Применение органических оснований в аналитической химии». М., Изд-во АН СССР, 1959, стр. 10.
3. Н. А. Фигуровский, Н. Н. Ушаков. «Заводск. лаборатория», 16, 1063 (1950).
4. И. И. Караваев. «Вестн. Всесоюзн. и-и. пн-та ж.-д. транспорта», 6, 59 (1960).
5. A. Banister. *Sewage and Industr. Waster*, 28, 100 (1956).
6. С. А. Вознесенский и др. «Атомная энергия», 9, 208 (1960).
7. «Водоподготовка и водный режим котлов на тепловых электростанциях». Под ред. М. С. Шкроба. Вып. 7. М., Госэнергоиздат, 1958.
8. G. Hargish. *Chem. Engng*, 60, 184 (1953).
9. J. E. S. *Industr. and Engng Chem.*, 43, 1526 (1951).
10. Д. И. Рябчиков, В. К. Беляева. «Усп. хим.», 24, 240 (1955).

УДК 669.822.053.4

## Исследование сорбции урана на минералах вмещающих пород

Г. М. Алазашивили, Б. В. Невский, И. И. Архарова

Известные технологические методы не обеспечивают полного извлечения урана из руд. Так как его определенное количество остается в твердой части «хвостов» даже при жестких условиях выщелачивания. Этим обусловлена большая часть общих потерь урана при гидрометаллургической переработке руд.

В работе приведены экспериментальные данные, подтверждающие, что одной из причин потерь урана с твердой частью хвостов является сорбция его на минералах вмещающих пород. Исследована сорбционная способность таких минералов, как монтмориллонит, каолинит, вермикулит, боксит, альбит, а также возможность десорбции урана растворами различных солей и кислот.

При гидрометаллургической переработке урановых руд определенное количество урана теряется с твердой минеральной частью хвостов. Высказывалось предположение, что одной из причин этих потерь является сорбция урана на поверхности частиц минералов. Однако по данным ранее проведенных работ, посвященных изучению сорбции урана на твердых телах из растворов, нельзя было сделать определенных выводов о характере этого процесса при выщелачивании урана из руд. Поэтому были проведены работы по выяснению

того, в какой степени неполнота извлечения урана из руд вызвана сорбцией его на твердой фазе.

Закономерности обменных процессов для щелочных и щелочноземельных ионов были предметом усиленных исследований [1—4]. Закономерности обмена ионов тяжелых металлов представляют собой наименее изученный вопрос. Немногочисленные работы, в которых изучен обмен ионов тяжелых металлов на алюмосиликатах, позволили сделать вывод, что этот процесс в основном подчиняется обычным закономерностям ионного обмена.

В работе [5] при изучении адсорбции урана из водных растворов уранилнитрата на активированном угле и природных ленинградских сланцах доказано, что адсорбция на угле имеет ионный характер (адсорбируется уранил-ион).

В работе [6], в которой изучалась сорбция урана из сернокислых растворов на некоторых глинистых минералах, показано, что монтмориллонит может сорбировать в условиях обычного сернокислотного выщелачивания