

ТЕХНОЛОГИЯ ПЕРЕРАБОТКИ УРАНСОДЕРЖАЩЕЙ ОБОРОТНОЙ ВОДЫ, ОБРАЗУЮЩЕЙСЯ ПРИ ОЧИСТКЕ РАДИОАКТИВНО ЗАГРЯЗНЕННЫХ ГРУНТОВ МЕТОДОМ ГИДРОСЕПАРАЦИИ

М. А. Маряхин, М. К. Крапивина, А. П. Варлаков, А. В. Германов, Г. А. Варлакова

АО «Высокотехнологический научно-исследовательский институт неорганических материалов
им. академика А. А. Бочвара», Москва

Статья поступила в редакцию 16 февраля 2021 г.

В статье изложены результаты создания и испытания в лабораторных условиях технологии переработки оборотной воды, образовавшейся в процессе очистки загрязненного ураном грунта с территории сублиматного производства АО «АЭХК» методом гидросепарации. В ходе испытаний продемонстрирована возможность переработки оборотной воды с применением как мембранных технологий, так и ионного обмена и последующего получения вторичных продуктов переработки в виде полиурната аммония, определены технологические параметры стадий. По результатам исследований разработана принципиальная схема стадии очистки оборотной воды после гидросепарации грунта, исключающая образование радиоактивных отходов.

Ключевые слова: радиоактивно загрязненный грунт, радиоактивные отходы, гидросепарация, обратный осмос, сорбция, полиурнат аммония, лабораторный стенд.

Задача вывода из эксплуатации (ВЭ) ядерно и радиационно опасных объектов (ЯРОО), а также реабилитация загрязненных территорий (РЗТ) является актуальной. В 2019 году Госкорпорация «Росатом» назначила топливную компанию АО «ТВЭЛ» интегратором в области управления ВЭ ЯРОО, включая работы с реакторными установками атомных электростанций и обращение с радиоактивными отходами (РАО). На площадках предприятий топливного дивизиона развернуты активные работы по испытанию технологий ВЭ, а также дезактивации радиоактивно загрязненного грунта (РЗГ), который образуется в значительных объемах в ходе проведения ВЭ и очистки РЗТ. Практический опыт показывает, что извлекаемый грунт имеет разные уровни радиоактивного загрязнения и

относится частично к категории РАО, а частично — к промышленным отходам с содержанием радионуклидов ниже уровня отнесения их к радиоактивным. В связи с этим разработка технологий дезактивации РЗГ нацелена на снижение объемов РАО и вывод РЗГ из-под радиационного контроля.

В АО «ВНИИНМ» для дезактивации РЗГ была создана установка очистки грунта методом гидросепарации [1]. Технология очистки опробована на грунтах сублиматного производства (СП) АО «АЭХК», загрязненных изотопами урана и относящихся как к промышленным отходам, так и к категории очень низкоактивных радиоактивных отходов (ОНРАО) [2, 3].

Технологический процесс, основанный на методе гидросепарации, водно-гравитационном

разделении фракций грунта по крупности, подразумевает многократное использование водных сред в качестве оборотных [3]. В процессе испытаний технологии очистки грунта категории ОНРАО [3] в оборотной воде постепенно повышалась удельная активность изотопов урана. После достижения отношения масс очищенного грунта и оборотной воды равного 1, оборотная вода была выведена из цикла гидросепарации. По содержанию радионуклидов урана она соответствовала категории жидких радиоактивных отходов. Таким образом, очевидным стал вопрос о решении задачи по минимизации объемов загрязненных водных сред с помощью технологии дезактивации РЗГ. Поэтому большое практическое значение приобретает создание технологии переработки оборотных растворов после очистки РЗГ.

На практике для очистки отходов в виде водных солевых растворов и ЖРО применяются ионообменное обессоливание и сорбционные методы с селективным извлечением загрязняющих компонентов. Для сильнозагрязненных вод, имеющих сложный солевой многокомпонентный состав, используются универсальные методы, такие как мембранное обессоливание, дистилляция и их комбинации [4, 5].

В качестве технологий для переработки урансодержащей оборотной воды от дезактивации РЗГ методом гидросепарации в статье рассматриваются процессы очистки воды и концентрирования урана как методом обратного осмоса, так и путем сорбционного извлечения урана на сильноосновной анионообменной смоле с последующим осаждением из концентратов в форме полиураната аммония (ПУА).

В настоящей статье представлены результаты создания и лабораторных испытаний технологии переработки оборотной воды с получением воды, очищенной до норм сброса в централизованную систему водоотведения, и вторичных отходов, не относящихся к категории РАО.

Экспериментальная часть

Объектом исследования являлась партия оборотной воды, образовавшаяся после очистки грунта категории ОНРАО АО «АЭХК» на лабораторном стенде. Оборотная вода, находившаяся длительное время в емкостях хранения, представляла собой водный раствор с осадком на дне. В результате ее разделения отстаиванием получены твердый осадок в виде мелкодисперсной фракции грунта с удельной активностью изотопов урана (234, 235, 238) 64 Бк/г и осветленный водный раствор — главный объект дальнейших

исследований. Удельная активность изотопов урана (234, 235, 238) в осветленном растворе составляла 6 Бк/г. Химический состав солей осветленного водного раствора следующий (масс. % от общего количества солей, равного 1100 мг/дм³): HCO₃⁻ — 35,7; Ca²⁺ — 15,2; NO₃⁻ — 12,5; SO₄²⁻ — 6,4; Na⁺ — 3,2; Mg²⁺ — 2,4; K⁺ — 0,8; уран — 23,5; прочие — 0,3. Результаты анализа пробы оборотной воды, нормативы сброса в соответствии с [6–9] и коэффициенты очистки представлены в табл. 1. Требуемые и достигнутые коэффициенты очистки по различным показателям ($K_{оч}$) определены как отношение содержания компонентов в исходном растворе к нормам сброса и их содержанию в очищенной воде соответственно.

Испытания основных технологических стадий переработки проводили на оборудовании стенда очистки высокосолевых растворов АО «ВНИИНМ» [5] с использованием блока предварительной очистки от механических примесей, двух ступеней блока очистки методом обратного осмоса и блока очистки методом ионного обмена.

Предварительная очистка от механических примесей осуществлялась на каскаде из двух песчаных фильтров, последовательно включенных в схему. В качестве фильтрующей загрузки использовался кварцевый песок с размером зерен 0,8–2 мм и 0,2–0,7 мм соответственно. Промывка песчаных фильтров осуществлялась до и после фильтрации партии оборотной воды. Фильтрат направлялся в емкость блока высоконапорного обратного осмоса или в колонку блока ионного обмена. Данные по каждому из вариантов обработки подвергались сравнительному анализу для определения наиболее эффективных показателей.

Очистка воды и концентрирование примесей методом обратного осмоса осуществлялась на двух ступенях. На первой ступени создавали контур циркуляции через мембранный элемент, на котором происходило обессоливание и концентрирование основных загрязняющих компонентов. Корректировали pH раствора до 4–5 ед. pH. Концентрат возвращался обратно в емкость блока первой ступени — режим концентрирования. Растворенные загрязняющие компоненты накапливались в циркуляционной емкости в концентрате. Прошедшая через мембрану вода (пермеат) поступала в емкость второй ступени для последующей доочистки. Рабочее давление над мембраной составляло не менее 4,5 МПа, при этом обеспечивалась высокая производительность по пермеату, наибольшая степень очистки и достигалась предельная степень концентрирования.

Таблица 1. Результаты исследования химического и радионуклидного состава исходной оборотной воды и воды после очистки на двух ступенях обратного осмоса

Показатель, ед. изм.	Значение показателя		Отн. погр., %	Нормы сброса	Кoeffициент очистки, ($K_{оч}$)	
	Оборотная вода	Очищенная вода			требуемый	достигнутый
pH пробы, ед. pH	8,0 ± 0,2	6,5 ± 0,2	–	6,5–8,5	–	–
Железо общее, мг/дм ³	1,2	–	15	1,5	–	–
Марганец, мг/дм ³	1,1	0,007	30	0,074	15	157
Медь, мг/дм ³	0,6	0,007	32	0,018	34	85,7
Цинк, мг/дм ³	0,04	0,013	30	0,014	3	3,1
Никель, мг/дм ³	0,05	0,007	32	0,013	4	7,1
Натрий, мг/дм ³	36	2,4	15	–	–	15
Калий, мг/дм ³	8,4	<1	16	–	–	>8,4
Кальций, мг/дм ³	170	1,3	16	–	–	131
Магний, мг/дм ³	27	0,6	15	–	–	45
Сульфаты, мг/дм ³	72	1,5	25	69,5	1,1	48
Нитраты, мг/дм ³	140	4,2	15	40,7	3,4	34
Гидрокарбонаты, мг/дм ³	400	10	12	–	–	40
Фенол, мг/дм ³	0,02	<0,01	–	0,25	–	2
Сухой остаток	850	<50	9	3 000 [6]	–	60
Торий-234, Бк/кг	1 290	<0,021	–	400	3,3	>6·10 ⁴
Уран-234, Бк/кг	2 650	<0,032	–	28	95	>8·10 ⁴
Уран-235, Бк/кг	142	<0,023	–	29	4,9	>6·10 ³
Уран-238, Бк/кг	3 100	<0,036	–	30	103,3	>8·10 ⁴

Вторая ступень обратного осмоса работала аналогично первой. Водородный показатель усредненного пермеата после первой ступени корректировали с 4 до 6–7 ед. pH. Рабочее давление над мембраной составляло 1,0 МПа. Пермеат второй ступени передавался в емкость с чистой водой.

При очистке на блоках первой и второй ступеней обратного осмоса в пробах концентрата и пермеата при различных степенях концентрирования контролировались: водородный показатель pH-метром pH-420, удельная электрическая проводимость — кондуктометром МАРК-603/1, а также определялась удельная активность радионуклидов. Корректировку водородного показателя осуществляли гидроксидом натрия и азотной кислотой.

Декарбонизацию концентрата первой ступени обратного осмоса проводили при постоянном перемешивании раствора в течение 2–3 часов, обеспечивая достижение pH, равного 3. Необходимость стадии декарбонизации концентрата обратного осмоса обусловлена присутствием в системе карбонатных и гидрокарбонатных ионов, препятствующих количественному выделению урана в осадок.

Предварительные испытания показали, что подкисление концентрата серной кислотой до pH=3 позволяет получить маточные растворы осаждения с более полным извлечением урана, чем при использовании азотной кислоты.

Для очистки осветленной оборотной воды от урана методом ионного обмена использовалась колонка объемом 50 см³, заполненная анионообменной смолой марки АВ-17-8 в Cl-форме с высотой слоя 22,4 см. Подача осуществлялась со скоростью 5 колоночных объемов в час по схеме нисходящего тока. Фильтрат собирался в емкость и контролировался по удельной активности урана. При превышении в пробе фильтра величины удельной активности урана, эквивалентной содержанию урана на уровне 1 мг/дм³, фильтрация прекращалась. Отработанная смола промывалась обессоленной водой, производилась десорбция урана раствором {0,9M NH₄NO₃ + 0,1M H₂SO₄} по схеме восходящего тока со скоростью 5 колоночных объемов в час. Десорбат собирался порциями в отдельные емкости. По результатам измерений удельной активности, порции десорбата с наибольшим содержанием урана объединяли и направляли на стадию его осаждения в виде полиураната

аммония. Смолу переводили в рабочую форму промывкой водой и 5 %-м раствором NaCl.

Извлечение урана из концентратов в форме полиураната аммония осуществляли методом прямого осаждения 25 %-м водным раствором аммиака до достижения водородного показателя 9,5 ед. рН, производя непрерывное перемешивание образовавшейся пульпы. Осветленная отстаиванием часть раствора поступала в емкость-сборник маточного раствора. Пульпа подавалась на нутч-фильтр. В качестве фильтрующего материала использовали бумажный фильтр «белая лента», маточный раствор направляли в емкость сбора, влажный осадок полиураната аммония выгружали вручную и направляли на сушку на воздухе до постоянной массы.

Результаты и обсуждение

В промывных водах стадии грубой механической очистки содержалось незначительное количество взвесей, фильтрат имел светло-желтый цвет.

На первой ступени стадии очистки и концентрирования обратным осмосом расход азотной кислоты для корректировки рН с 8 до 4,5–6,0 составил 0,3 г/дм³. Удельная электрическая проводимость пермеата постепенно повышалась при увеличении степени концентрирования раствора в циркуляционной емкости.

В результате работы первой ступени обратного осмоса растворенные компоненты оборотной воды были сконцентрированы в 8–9 раз. В пробе концентрата удельная активность урана-235 составляла 1,2 Бк/г, что соответствует 53 Бк/г удельной активности изотопов урана (234, 235, 238) в природном соотношении и содержанию урана в растворе — 2 г/дм³. В емкости хранения концентрата первой ступени образовался осадок бурого цвета, который, вероятно, будет являться основным загрязнителем мембранных элементов. Пульпа с осадком имела концентрацию урана около 6 г/дм³. Очевидно, что осадок в пульпе содержал нерастворимые продукты гидролиза урана — полиядерные гидроксокомплексы U(VI) ($U_2O_5^{2+}$, $U_3O_8^{2+}$, $UO_2(OH)^+$, $U_3O_8(OH)^+$, $U_3O_8(OH)_2$, $U_3O_8(OH)_3^-$) [10], которые образуются при рН более 3.

Усредненный пермеат первой ступени, поступивший на вторую ступень очистки, имел значение удельной электрической проводимости 57 мкСм/см и рН=3,8. Расход гидроксида натрия для корректировки рН с 3,8 до 6,5 составил 0,03 г/дм³.

Параметры работы первой и второй ступеней в режиме обессоливания и концентрирования, селективность (выраженная как эквивалентное количество NaCl, задержанного мембраной, в %) и коэффициент концентрирования приведены в табл. 2.

Таблица 2. Параметры стадии очистки и концентрирования методом обратного осмоса при испытаниях

Параметр	Ед. изм.	Значение параметра		
		Первая ступень		Вторая ступень в режиме очистки
		в начале работы (обессоливание)	в режиме работы (концентрирование)	
Температура раствора	°С	21–25	25–38	21–25
Рабочее давление над мембраной	МПа	4,5–5,0		1
Водородный показатель раствора	ед. рН	4,3		6,5
Водородный показатель пермеата	ед. рН	3,7		5,7–6,5
Удельная производительность мембраны	дм ³ /(м ² ·ч)	38	34–36	37
Удельная электрическая проводимость пермеата	мкСм/см	3	140	15,6
Эквивалентное солесодержание NaCl в пермеате	мг/дм ³	1,4	66,7	6,5
Удельная электрическая проводимость концентрата	мкСм/см	860	13 550	1 490
Эквивалентное солесодержание NaCl в концентрате	мг/дм ³	415	6 590	720
Общее солесодержание концентрата	г/дм ³	1,1	13,7	–
Коэффициент концентрирования	–	–	12,5	–
Расчетная селективность	%	99,4	99,0	99,1
Удельная активность урана-238 в пермеате	Бк/кг	–	0,7	< 0,2
Удельная активность урана-235 в пермеате	Бк/кг	–	0,16	
Удельная активность урана-234 в пермеате	Бк/кг	–	0,19	

Значения удельной активности радионуклидов в пробах пермеата приведены в табл. 2. Из этих данных следует, что коэффициент очистки оборотной воды от урана-238 на первой ступени обратного осмоса составил порядка $1,8 \cdot 10^4$. Это объясняется гидролизованым состоянием катионов уранила в растворе при pH более 3.

Результаты исследования химического и радионуклидного состава воды после очистки на двух ступенях обратного осмоса приведены в табл. 1. Двухступенчатый обратный осмос позволяет очистить оборотную воду до соответствия контролируемых показателей требованиям на сброс в централизованную систему водоотведения [7].

Сорбционное концентрирование урана вели из осветленной оборотной воды до содержания урана в фильтрате 1 мг/дм^3 , которое было достигнуто после пропускания 190 колоночных объемов. Содержание урана-238 в усредненной пробе фильтрата составило $0,3 \text{ мг/дм}^3$, по сравнению с исходным содержанием в оборотной воде (250 мг/дм^3) коэффициент очистки ($K_{\text{оч}}$) составил 830. Фильтрат после очистки от урана направляется либо для сброса в централизованную систему водоотведения, если его показатели отвечают нормам сброса в соответствии с табл. 1, либо на очистку методом обратного осмоса от оставшихся загрязняющих компонентов.

В результате сорбционного концентрирования из оборотной воды извлекается до 99,9% урана от исходного содержания. Среднее количество урана в колонке с сорбентом составило порядка 47 г/дм^3 , что соответствует концентрированию урана в процессе сорбции в 190 раз.

Десорбция урана смешанным нитратно-сульфатным раствором $\text{NH}_4\text{NO}_3 + \text{H}_2\text{SO}_4$ сопровождалась десорбцией карбонатов с выделением углекислого газа, поэтому была выбрана восходящая схема движения десорбирующего раствора в колонке. После пропускания каждой порции десорбирующего раствора объемом, равным одному колоночному объему, отбирали пробы, в которых по удельной активности определяли содержание урана. На рис. 1 представлены результаты десорбции урана из ионита АВ-17-8 раствором $\{0,9\text{M NH}_4\text{NO}_3 + 0,1\text{M H}_2\text{SO}_4\}$. В результате десорбции была выделена фракция, содержащая 98% сорбированного урана, с концентрацией 8 г/дм^3 .

Из концентратов, полученных методами обратного осмоса и ионного обмена, осуществляли осаждение полиураната аммония с использованием 25%-го водного раствора аммиака. Его расход составил для осаждения из концентрата обратного осмоса 107 мл/дм^3 ,

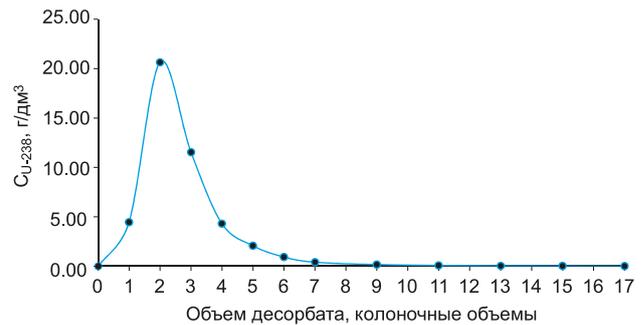


Рис. 1. Выходная кривая десорбции урана из фазы насыщенного анионита АВ-17-8 раствором $\{0,9\text{M NH}_4\text{NO}_3 + 0,1\text{M H}_2\text{SO}_4\}$

из десорбата — 130 мл/дм^3 . Растворы осаждения имели удельную активность изотопов урана (234, 235, 238) не более $0,05 \text{ Бк/г}$ и общее солесодержание $50\text{—}100 \text{ г/дм}^3$. При таких показателях после сушки до сухих солей вторичные твердые отходы будут иметь удельную активность радионуклидов ниже уровня отнесения к категории РАО.

Высушенный на воздухе осадок полиураната аммония после осаждения из концентрата обратного осмоса содержал порядка 17 масс. % урана, а после осаждения из десорбата — 63 масс. % Очевидно, что мембранное концентрирование урана с его последующим осаждением в виде полиураната аммония менее эффективно. Также по косвенным данным можно заключить, что в десорбате, полученном в ходе сорбционного концентрирования урана, содержится малое количество примесей, которые могут соосаждаться в виде гидроксидов.

Принципиальная схема стадии очистки оборотной воды

Предлагаемая принципиальная схема переработки оборотной воды приведена на рис. 2. Технологический процесс включает стадии механической фильтрации отработанной оборотной воды на каскаде насыпных песчаных фильтров, сорбцию урана из осветленной воды на анионите в сульфатной форме, доочистку нерадиоактивного раствора на первой ступени обратного осмоса и концентрирование химических загрязнителей на второй ступени, концентрирование раствора второй ступени обратного осмоса выпариванием и термическую сушку нерадиоактивных солей. Очищенная вода поступает на установку очистки грунта для повторного использования и приготовления реагентов или на сброс в централизованные системы водоотведения. Нерадиоактивные соли после контроля радиометрических характеристик утилизируют на полигоне промышленных отходов.

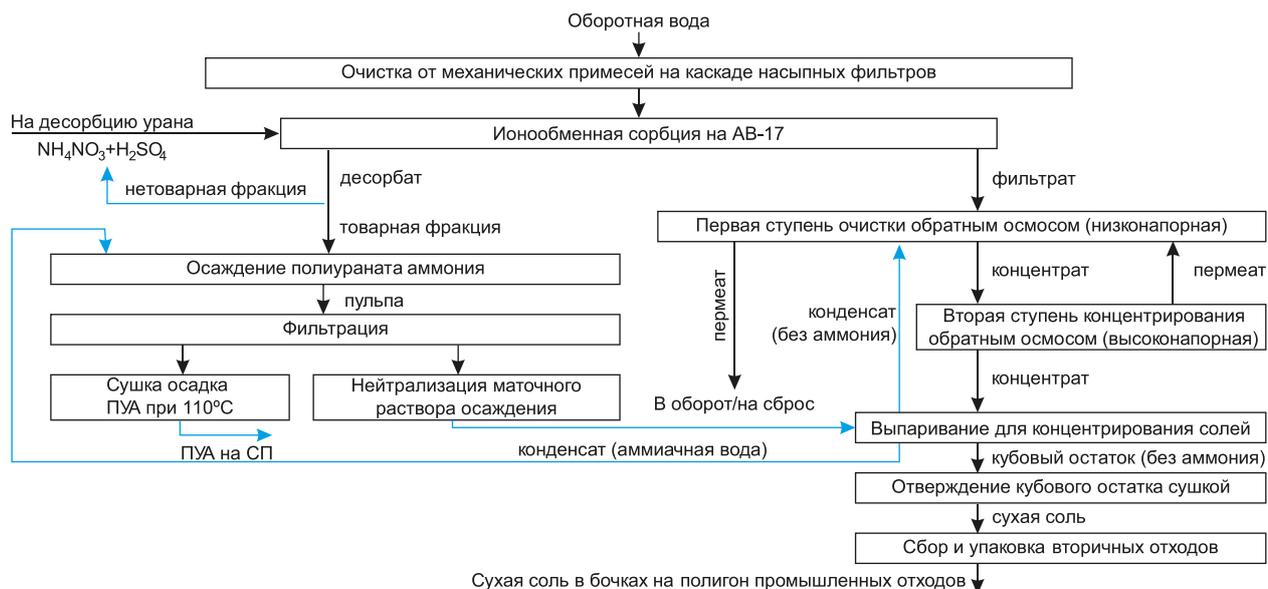


Рис. 2. Принципиальная схема переработки урансодержащей оборотной воды, образующейся при очистке РЗГ методом гидросепарации

Технологический процесс также включает стадии десорбции урана, осаждения полиураната аммония, фильтрацию и сушку осадка, а также последующее обращение с нерадиоактивным маточным раствором осаждения. В схеме предложено использовать анионит АВ-17-8 в сульфатной форме, чтобы минимизировать количество коррозионно-активных хлорид-ионов в растворе и осуществить замкнутый растворооборот в системе. После насыщения анионообменной смолы уран десорбируют двумя порциями раствора следующего состава: $72 \text{ г/дм}^3 \text{ NH}_4\text{NO}_3 + 10 \text{ г/дм}^3 \text{ H}_2\text{SO}_4$. Десорбат разделяют на два потока: первый (товарная фракция) направляют на осаждение полиураната аммония, второй — в емкость хранения и на дальнейшее использование в качестве первой порции десорбирующего раствора. Далее сорбент промывают водой, колонку дренируют, сорбент переводят в рабочую сульфатную форму.

Осаждение полиураната аммония из фракции товарного десорбата ведется методом одновременного сливания фракции и осадителя (25 %-го раствора аммиака) при $\text{pH} = 9,5 \div 10$. После осаждения полиураната аммония пульпа передается на осветление и фильтрацию. Осадок после фильтрации передается на термическую сушку. Полученный продукт анализируют на содержание урана и примесных элементов на соответствие ТУ 95 2822-2002 и передают на сублиматное производство.

В схеме оптимизировано использование различных реагентов, позволяющее минимизировать объемы вторичных жидких отходов. Маточный раствор осаждения нейтрализуют до

нейтрального $\text{pH} 6-8$ и упаривают до концентрации насыщенного раствора. Аммоний предложено регенерировать на стадии выпаривания маточных растворов осаждения в соответствии с [11]. В кубовый остаток маточного раствора осуществляется дозирование щелочи из расчета $1,2 \text{ моль NaOH}$ на $1,0 \text{ моль NH}_4^+$, затем происходит упаривание с отгонкой и последующей конденсацией раствора аммиака. Конденсат анализируют и направляют на стадию осаждения полиураната аммония в качестве реагента-осадителя. Кубовый остаток, представленный смесью нитрата и сульфата натрия, направляется на стадию отверждения термической сушкой. После упаковки и контроля радиометрических характеристик сухую соль утилизируют на полигоне промышленных отходов.

Таким образом, на входе стадии переработки — урансодержащая оборотная вода, на выходе — очищенная вода и твердые нерадиоактивные соли.

Заключение

Результаты лабораторных испытаний очистки оборотной воды от урана методами обратного осмоса и ионного обмена показывают возможность достижения норм сброса очищенной воды, выделения урансодержащей фракции с концентрацией урана не менее 8 г/дм^3 и последующего осаждения урана в нерастворимое соединение в виде полиураната аммония с содержанием урана не менее 63 масс. %. Как было установлено, большей эффективностью характеризуется процесс выделения полиураната аммония из

урансодержащей фракции, полученной методом сорбционного извлечения на анионите.

На основании полученных данных разработана принципиальная технологическая схема переработки урансодержащей оборотной воды, образующейся на установке очистки грунта методом гидросепарации, с получением уранового концентрата и с исключением образования РАО (рис. 2).

Литература

1. Варлаков А. П., Германов А. В., Маряхин М. А., Варлакова Г. А. Разработка технологии дезактивации радиоактивно загрязненных грунтов и установки для ее реализации // Вопросы атомной науки и техники. Серия: Материаловедение и новые материалы. 2017. Вып. 3 (90). С. 100–107.

2. Варлаков А. П., Германов А. В., Маряхин М. А., Варлакова Г. А., Удаляя М. В. Создание в АО «ВНИИНМ» мобильной установки очистки радиоактивно загрязненного грунта на основе технологии водно-гравитационного отделения мелкодисперсной фракции // Радиоактивные отходы. 2018. № 1 (2). С. 62–67.

3. Варлаков А. П., Германов А. В., Маряхин М. А., Варлакова Г. А., Калмыков С. Н., Петров В. Г., Власова И. Э., Романчук А. Ю. Дезактивация грунта, загрязненного ураном, с использованием метода гидросепарации с последующей реагентной обработкой фракций // Радиоактивные отходы. 2019. № 4 (9). С. 85–90. DOI: 10.25283/2587-9707-2019-4-85-90.

4. Слюнчев О. М., Бобров П. А., Акинцев А. С., Зубриловский Е. Н. Опыт использования баромембранных процессов для очистки жидких радиоактивных отходов // Радиоактивные отходы. 2018. № 1 (2). С. 42–53.

5. Варлаков А. П., Германов А. В., Маряхин М. А., Волгин Д. С., Варлакова Г. А., Светашев Г. О., Богатов М. Б. Технология очистки фугата от переработки технологических урансодержащих растворов // Радиоактивные отходы. 2020. № 3 (12). С. 87–92. DOI: 10.25283/2587-9707-2020-3-87-92.

6. Постановление Правительства Российской Федерации от 29.07.2013 № 644 «Об утверждении Правил холодного водоснабжения и водоотведения и о внесении изменений в некоторые акты Правительства Российской Федерации».

7. Постановление администрации Ангарского городского округа № 02-па «Об установлении нормативов состава сточных вод, сбрасываемых в централизованную систему водоотведения Ангарского городского округа».

8. Постановление Правительства Российской Федерации от 19.10.2012 № 1069 «О критериях отнесения твердых, жидких и газообразных отходов к радиоактивным отходам, критериях отнесения радиоактивных отходов к особым радиоактивным отходам и к удаляемым радиоактивным отходам и критериях классификации удаляемых радиоактивных отходов».

9. СП 2.6.1.2612-10. Санитарные правила «Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности» (ОСПОРБ-99/2010).

10. Лызлова Е. В. Выделение и концентрирование актинидов из азотнокислых растворов с применением новых ионообменных материалов. Дисс.... канд. техн. наук. — Озерск, 2014. 147 с.

11. Пат. 2185670, Российская Федерация, МПК G21F 9/08. Способ переработки сбросных радиоактивных растворов, содержащих нитрат аммония / Кузин А. Ю., Скобцов А. С., Гергенрейдер Н. А., № 2000110096; заявл. 19.04.2000; опубл. 20.07.2002.

Информация об авторах

Маряхин Михаил Андреевич, ведущий эксперт, АО «Высокотехнологический научно-исследовательский институт неорганических материалов им. академика А. А. Бочвара» (123098, Москва, ул. Рогова, д. 5а), e-mail: mmar82@mail.ru.

Кривина Маргарита Кирилловна, инженер-технолог 1-й категории, АО «Высокотехнологический научно-исследовательский институт неорганических материалов им. академика А. А. Бочвара» (123098, Москва, ул. Рогова, д. 5а), e-mail: mkkrapivina@list.ru.

Варлаков Андрей Петрович, доктор технических наук, директор отделения, АО «Высокотехнологический научно-исследовательский институт неорганических материалов им. академика А. А. Бочвара» (123098, Москва, ул. Рогова, д. 5а), e-mail: APVarlakov@bochvar.ru.

Германов Александр Владимирович, кандидат технических наук, начальник отдела, АО «Высокотехнологический научно-исследовательский институт неорганических материалов им. академика А. А. Бочвара» (123098, Москва, ул. Рогова, д. 5а), e-mail: AVGermanov@bochvar.ru.

Варлакова Галина Андреевна, кандидат технических наук, главный специалист, АО «Высокотехнологический научно-исследовательский институт неорганических материалов им. академика А. А. Бочвара» (123098, Москва, ул. Рогова, д. 5а), e-mail: GAVarlakova@bochvar.ru.

Библиографическое описание статьи

Маряхин М. А., Крапивина М. К., Варлаков А. П., Германов А. В., Варлакова Г. А. Технология переработки урансодержащей оборотной воды, образующейся при очистке радиоактивно загрязненных грунтов методом гидросепарации // Радиоактивные отходы. 2021. № 1 (14). С. 19–27. DOI: 10.25283/2587-9707-2021-1-19-27.

PROCESSING METHOD FOR RECYCLED URANIUM-CONTAINING WATER FROM RADIOACTIVELY CONTAMINATED SOILS TREATED BY HYDROSEPARATION

Mariakhin M. A., Krapivina M. K., Varlakov A. P., Germanov A. V., Varlakova G. A.

JSC “A. A. Bochvar High-Technology Research Institute of Inorganic Materials”, Moscow, Russia

Article received on February 16, 2021

The paper focuses on a method used to process the water from the treatment of uranium-contaminated soil resulting from the operation of JSC “AECC” sublimation facilities by hydroseparation, in particular, on its development and testing results. During the tests, the feasibility of recycled water treatment was demonstrated both suggesting the use of membrane and ion exchange methods with process parameters of the treatment stages identified. The study shows the possibility of producing uranium-containing materials in the form of ammonium polyuranates as secondary products of recycled water processing. A schematic diagram of recycled water purification following hydroseparation treatment of soil excluding the generation of radioactive waste was developed based on the results of the research.

Keywords: *radioactively contaminated soil, radioactive waste, hydroseparation, reverse osmosis, absorption, prioranet of ammonium, laboratory bench.*

References

1. Varlakov A. P., Germanov A. V., Maryakhin M. A., Varlakova G. A. Razrabotka tekhnologii dezaktivatsii radioaktivno zagryaznennykh gruntov i ustanovki dlya ee realizatsii [Development of Technology and Installation for Soil Decontamination by Hydroseparation Method]. *Voprosy atomnoj nauki i tekhniki. Seriya: materialovedenie i novye materialy – Issues on atomic science and technology. Series: materials science and new materials*, 2017, no. 3 (90), pp. 100–107.
2. Varlakov A. P., Germanov A. V., Maryakhin M. A., Varlakova G. A., Udalaya M. V. Sozdanie v AO “VNIINM” mobil'noi ustanovki ochistki radioaktivno zagryaznennogo grunta na osnove tekhnologii vodno-gravitatsionnogo otdeleniya melkodispersnoi fraktsii [The Establishment of Mobile Installation for Contaminated Soil Treatment Based on the Technology of Hydro-Gravity Separation of Fine Fraction in “VNIINM”]. *Radioaktivnye otkhody – Radioactive Waste*, 2018, no. 1 (2), pp. 62–67.
3. Varlakov A. P., Germanov A. V., Maryakhin M. A., Varlakova G. A., Kalmykov S. N., Petrov V. G., Vlasova I. E., Romanchuk A. Yu. Dezaktivatsiya grunta, zagryaznennogo uranom, s ispol'zovaniem metoda gidroseparatsii s posleduyushchei reagentnoi obrabotkoi fraktsii [Decontamination of Soil Contaminated by Uranium Using Hydroseparation Method with Further Reagent Treatment of Fractions]. *Radioaktivnye otkhody – Radioactive Waste*, 2019, no. 4 (9), pp. 85–90. DOI: 10.25283/2587-9707-2019-4-85-90.
4. Slyunchev O. M., Bobrov P. A., Akintsev A. S., Zubrilovskii E. N. Opyt ispol'zovaniya baromembrannykh protsessov dlya ochistki zhidkikh radioaktivnykh otkhodov [Experience Gained in Baromembrane Process Application for Liquid Radwaste

Treatment]. *Radioaktivnye otkhody — Radioactive Waste*, 2018, no. 1 (2), pp. 42–53.

5. Varlakov A. P., Germanov A. V., Maryakhin M. A., Volgin D. S., Varlakova G. A., Svetashev G. O., Bogatov M. B. Tekhnologiya ochistki fugata ot pererabotki tekhnologicheskikh uransoderzhashchikh rastvorov [Purification Method for Filtrate from the Treatment of Process Uranium-Containing Solutions]. *Radioaktivnye otkhody — Radioactive Waste*, 2020, no. 3 (12), pp. 87–92. DOI: 10.25283/2587-9707-2020-3-87-92.

6. Postanovlenie Pravitel'stva Rossiyskoy Federatsii ot 29.07.2013 No. 644 “Ob utverzhdenii Pravil kholodnogo vodosnabzheniya i vodootvedeniya i o vnesenii izmeneniy v nekotorye akty Pravitel'stva Rossiyskoy Federatsii” [Resolution of the Government of the Russian Federation of July 29, 2013 No. 644 “On approval of the rules for cold water supply and sanitation and on amendments to certain acts of the Government of the Russian Federation”].

7. Postanovlenie administratsii Angarskogo gorodskogo okruga No. 02-pa “Ob ustanovlenii normativov sostava stochnykh vod, sbrasyvaemykh v tsentralizovannuyu sistemu vodootvedeniya Angarskogo gorodskogo okruga” [Resolution No. 02-pa On the Establishment of Standards for the Composition of Wastewater Discharged into the Centralized Sewage System of the Angarsk Urban District].

8. Postanovleniye Pravitel'stva Rossiyskoy Federatsii ot 19 oktyabrya 2012 g. No. 1069 “O kriteriyakh otneseniya tverdykh, zhidkikh i gazoobraznykh

otkhodov k radioaktivnym otkhodam, kriteriyakh otneseniya radioaktivnykh otkhodov k osobym radioaktivnym otkhodam i k udalyayemym radioaktivnym otkhodam i kriteriyakh klassifikatsii udalyayemykh radioaktivnykh otkhodov” [Decree of the Government of the Russian Federation of October 19, 2012 No. 1069 On Criteria Used to Categorize Solid, Liquid and Gaseous Waste as Radioactive Waste, criteria Used to Categorize Radioactive Waste as Non-retrievable Radioactive Waste and Retrievable Radioactive Waste, and the Classification Criteria for Retrievable Radioactive Waste].

9. SP 2.6.1.2612-10. Sanitarnye pravila “Osnovnye sanitarnye pravila obespecheniya radiacionnoy bezopasnosti (OSPORB 99/2010)” [Sanitary rules. Basic sanitary rules for ensuring radiation safety (OSPORB 99/2010)].

10. Lyzlova E. V. *Vydelenie i kontsentrirovanie aktinidov iz azotnokislykh rastvorov s primeneniem novykh ionoobmennykh materialov* [Isolation and concentration of actinides from nitric acid solutions using new ion-exchange materials]. Diss. ... cand. tech. sciences. — Ozersk, 2014. 147 p.

11. Sposob pererabotki sbrosnykh radioaktivnykh rastvorov, sodержashchikh nitrat ammoniya [Method for the processing of waste radioactive solutions containing ammonium nitrate]. Patent No. 2185670, Russian Federation, MPK G21F 9/08. / Kuzin A. Yu., Skobtsov A. S., Gergenreider N. A.; No. 2000110096; application date: 19.04.2000; publication date: 20.07.2002.

Information about the authors

Mariakhin Mihail Andreevich, Lead Expert, JSC “A. A. Bochvar High-Technology Research Institute of Inorganic Materials” (5a, Rogova st., Moscow, 123060, Russia), e-mail: mmar82@mail.ru.

Krapivina Margarita Kirillovna, engineer-technologist of the 1st category, JSC “A. A. Bochvar High-Technology Research Institute of Inorganic Materials” (5a, Rogova st., Moscow, 123060, Russia), e-mail: mkkrapivina@list.ru.

Varlakov Andrej Petrovich, Doctor of Sciences, Director of Department, JSC “A. A. Bochvar High-Technology Research Institute of Inorganic Materials” (5a, Rogova st., Moscow, 123060, Russia), e-mail: APVarlakov@bochvar.ru.

Germanov Aleksandr Vladimirovich, PhD, Head of Department, JSC “A. A. Bochvar High-Technology Research Institute of Inorganic Materials» (5a, Rogova st., Moscow, 123060, Russia), e-mail: AVGermanov@bochvar.ru.

Varlakova Galina Andreevna, PhD, Main Specialist, JSC “A. A. Bochvar High-Technology Research Institute of Inorganic Materials” (5a, Rogova st., Moscow, 123060, Russia), e-mail: varlakova@inbox.ru.

Bibliographic description

Mariakhin M. A., Krapivina M. K., Varlakov A. P., Germanov A. V., Varlakova G. A. Processing method for recycled uranium-containing water from radioactively contaminated soils treated by hydroseseparation. *Radioactive Waste*, 2021, no. 1 (14), pp. 19–27. DOI: 10.25283/2587-9707-2021-1-19-27. (In Russian).