

ПРОВЕДЕНИЕ ОПЫТНОЙ РАБОТЫ ПО СНИЖЕНИЮ АКТИВНОСТИ ОТРАБОТАВШИХ ИОНООБМЕННЫХ СМОЛ

А. В. Поспелова, Н. Н. Фетюкова, Е. Н. Пьянкова

АО «Научно-исследовательское проектно-технологическое бюро «Онега», Северодвинск, Архангельская область

Статья поступила в редакцию 24 января 2023 г.

Одним из способов переработки ионообменных смол является их глубокая дезактивация – регенерация специально подобранными растворами, обеспечивающими высокую степень элюирования радионуклидов. В 2021 году специалистами АО «НИПТБ «Онега» проведена опытная работа по снижению активности отработавших ионообменных смол, выгружаемых с ремонтируемых кораблей, в которой были выполнены серии экспериментов по определению оптимального способа их обработки, подбору регенерирующих растворов и их очистке на сорбентах типов НЖС и ЦМПА. По результатам исследований был предложен способ и разработана технология обращения с отработавшими ионообменными смолами в условиях АО «ЦС «Звездочка».

Ключевые слова: радиоактивные отходы, радиоактивные отходы среднего уровня активности, отработавшие ионообменные смолы, регенерация, элюат.

При эксплуатации и ремонте корабельных ядерных энергетических установок производится выгрузка отработавших ионообменных смол системы очистки теплоносителя паропроизводящей установки.

В настоящее время в пунктах долговременного хранения твердых радиоактивных отходов АО «ЦС «Звездочка» находятся около 250 ловушек вместимостью 0,3 м³, заполненных выгруженными из фильтров отработавшими среднеактивными ионообменными смолами, которые подлежат кондиционированию для приведения к критериям приемлемости и передачи на захоронение [1].

Существующая в АО «ЦС «Звездочка» технология обращения с ними не удовлетворяет требованиям действующих нормативных документов для радиоактивных отходов (РАО). В частности,

в соответствии с требованиями Федерального закона от 11.07.2011 № 190-ФЗ [2], все РАО должны быть захоронены или размещены на длительное хранение с предварительным приведением их к критериям приемлемости и упаковкой в сертифицированные контейнеры. При этом должен быть реализован принцип защиты настоящего и будущего поколений, который применительно к радиоактивным отходам сформулирован в основополагающих принципах безопасности [3]: «Обращение с радиоактивными отходами должно быть организовано таким образом, чтобы оно не вело к созданию неоправданных проблем для будущих поколений, то есть поколения, производящие отходы, должны изыскивать и применять рациональные и экологически приемлемые методы долгосрочного обращения с отходами...».

Переработка отработавших ионообменных смол по сравнению с другими видами РАО является наиболее сложным и дорогостоящим процессом. На данный момент для этих целей отсутствуют серийно изготавливаемые технологические установки. Одним из способов переработки является глубокая дезактивация — регенерация специально подобранными растворами, обеспечивающими высокую степень элюирования радионуклидов.

Анализ литературных данных показал, что наиболее эффективными регенерирующими растворами для глубокой дезактивации ионообменных смол являются водные растворы солей щелочных и щелочноземельных металлов различной концентрации [4], [5], [6]. Известен также способ, включающий перевод сорбированных на ионообменной смоле радионуклидов в раствор кислых солей натрия и очистку дезактивирующего раствора от радионуклидов цезия на композиционном ферроцианидном сорбенте [7]. Известен способ дезактивации ионообменных смол дезактивирующим раствором и очистки дезактивирующего раствора от радионуклидов [8].

В 2021 году специалистами АО «НИПТБ «Онега» был разработан план проведения эксперимента по снижению активности (промывке) отработавших среднеактивных ионообменных смол [9], выгружаемых из ремонтируемых кораблей в условиях АО «ЦС «Звездочка», а также выполнено исследование по теме «Проведение опытной работы по снижению активности отработавших ионообменных смол, выгружаемых с ремонтируемых кораблей» [10].

Целью его проведения являлась апробация способа снижения активности отработавших среднеактивных ионообменных смол путем их промывки регенерирующими водными растворами нитрата натрия и нитрата кальция с концентрациями от 0,5 М до 3,0 М с шагом 0,5 и последующей их очисткой от радионуклидов на сорбционно-селективных фильтрах.

Промывке подвергалась отработавшая среднеактивная ионообменная смола из контейнера-сборника (ловушки) [11], размещенного в пункте долговременного хранения твердых радиоактивных отходов АО «ЦС «Звездочка».

В лабораторных условиях была выполнена серия опытов по подбору оптимальной концентрации регенерирующих растворов нитрата натрия и нитрата кальция. Для этого аликвоты среднеактивной отработавшей ионообменной смолы, загруженные в хроматографические колонки, промывались свежеприготовленными водными растворами этих солей с концентрациями 0,5 М,

1,0 М, 1,5 М, 2,0 М, 2,5 М, 3,0 М, после чего проводилось определение удельной активности регенерированной ионообменной смолы и радионуклидного состава отработавшего регенерирующего раствора (элюата). По результатам радиометрических и спектрометрических измерений были определены оптимальные концентрации регенерирующих растворов: 1,0 М для нитрата натрия и 0,5 М для нитрата кальция.

Согласно плану проведения опытной работы [9] были предложены следующие способы снижения активности (промывки) отработавшей среднеактивной ионообменной смолы:

- циклическая обработка регенерирующими растворами (не менее трех циклов);
- выдержка в регенерирующих растворах в течение 60, 120, 180, 240, 300, 360 мин;
- последовательная обработка регенерирующими растворами:
 - а) 1,0 М нитрата натрия, затем 0,5 М нитрата кальция;
 - б) 0,5 М нитрата кальция, затем 1,0 М нитрата натрия;
- обработка смесью регенерирующих растворов 1,0 М нитрата натрия и 0,5 М нитрата кальция в соотношении 1 : 1 по объему.

На каждом этапе обработки проводилось определение удельной активности регенерированной ионообменной смолы и радионуклидного состава элюата. По результатам радиометрических и спектрометрических измерений фиксировалась средняя доля радионуклидов, перешедших в элюат (табл. 1).

Таблица 1. Значения средней доли радионуклидов, перешедшей в элюат

Способ обработки отработавшей ионообменной смолы	Концентрация и химический состав регенерирующего раствора	Средняя доля радионуклидов, перешедшая в элюат, %	
		¹³⁷ Cs	⁹⁰ Sr
1 – однокомпонентный	1,0 М нитрата натрия	97	58
2 – однокомпонентный	0,5 М нитрата кальция	95	30
3 – двухкомпонентный (последовательно)	1,0 М нитрата натрия, затем 0,5 М нитрата кальция	99	81
4 – двухкомпонентный (последовательно)	0,5 М нитрата кальция, затем 1,0 М нитрата натрия	99	85
5 – двухкомпонентный (одновременно)	1,0 М нитрата натрия и 0,5 М нитрата кальция в соотношении 1:1 по объему	97	60

Далее были выполнены серии опытов по подбору оптимального способа обработки

ионообменной смолы регенерирующими растворами 1,0 М нитрата натрия и 0,5 М нитрата кальция.

Анализ результатов этой работы показал следующее:

- промывка регенерирующими растворами позволяет перевести отработавшую среднеактивную ионообменную смолу из категории среднеактивных в низкоактивные;
- снижение активности отработавшей ионообменной смолы при промывке регенерирующим раствором 0,5 М нитрата кальция выше, чем для 1,0 М нитрата натрия. Однако при применении в качестве регенерирующего раствора 0,5 М нитрата кальция в процессе промывки отработавшей ионообменной смолы могут образовываться труднорастворимые осадки, что усложняет процесс переработки;
- применение регенерирующих растворов с большей концентрацией значительно увеличивает солесодержание, что способствует выпадению осадка, который, в свою очередь, затрудняет процесс переработки отработавшего регенерирующего раствора;
- циклическая обработка, а также выдержка отработавшей ионообменной смолы в регенерирующих растворах 1,0 М нитрата натрия и 0,5 М нитрата кальция не привели к значительному увеличению доли радионуклидов, переходящих в раствор, по сравнению с промывками без циклической обработки и выдержки;
- наилучшие результаты наблюдались при промывке отработавшей ионообменной смолы регенерирующими растворами 0,5 М нитрата кальция и 1,0 М нитрата натрия с их последующей дезактивацией на сорбентах типов НЖС и ЦМПА и при повторном использовании для промывки ионообменной смолы.

Значения удельной активности отработавшей ионообменной смолы до и после обработки регенерирующими растворами приведены в табл. 2.

По результатам проведения эксперимента и выполнения опытно-конструкторской работы был предложен способ обращения с радиоактивными отработавшими ионообменными смолами [12] и разработана технология с необходимыми средствами оснащения в условиях АО «ЦС «Звездочка», включающая следующие операции:

- загрузку отработавшей среднеактивной ионообменной смолы объемом 310 л в контейнер-сборник (ловушку) [11];
- приготовление регенерирующего раствора в емкости;
- подачу регенерирующего раствора в контейнер-сборник (ловушку) [11], заполненный

Таблица 2. Значения удельной активности отработавшей ионообменной смолы до и после обработки регенерирующими растворами

Вид ионообменной смолы	Удельная активность бета-излучающих радионуклидов ($A_{\beta_{уд}}$), Бк/кг	Удельная активность альфа-излучающих радионуклидов ($A_{\alpha_{уд}}$), Бк/кг
1. Исходная отработавшая ионообменная смола	$8,1 \cdot 10^7$	$8,6 \cdot 10^2$
2. Отработавшая ионообменная смола после промывки регенерирующим раствором 1,0 М нитрата натрия	$3,9 \cdot 10^6$	$5,0 \cdot 10^2$
3. Отработавшая ионообменная смола после промывки регенерирующим раствором 0,5 М нитрата кальция	$1,9 \cdot 10^6$	$2,8 \cdot 10^2$

отработавшей среднеактивной ионообменной смолой;

- промывку отработавшей среднеактивной ионообменной смолы в контейнере-сборнике (ловушке) [11] регенерирующими растворами — сначала 0,5 М нитрата кальция, затем 1,0 М нитрата натрия последовательно;
- подачу горячего воздуха в контейнер-сборник (ловушку) [11] для обезвоживания ионообменной смолы;
- подачу отработавшего регенерирующего раствора из контейнера-сборника (ловушки) [11] на блок осаждения для отделения от образующихся осадков;
- подачу осветленного отработавшего регенерирующего раствора из блока осаждения на сорбционные фильтры типов НЖС и ЦМПА;
- очистку регенерирующего раствора от радионуклидов на сорбционных фильтрах;
- возвращение дезактивированного регенерирующего раствора в емкость для повторного использования в процессе обработки отработавшей ионообменной смолы в контейнере-сборнике (ловушке) [11];
- выгрузку отработавшей ионообменной смолы из контейнера-сборника (ловушки) [11] в бочки БЗ1А2-216,5 или сертифицированный контейнер НЗК-150-1,5П(ИОС) для последующего обращения.

После промывки и сушки отработавшая среднеактивная ионообменная смола будет относиться к 4 классу согласно постановлению Правительства Российской Федерации от 19.10.2012 № 1069 [13].

Образующийся осадок направляется на переработку (сушку) и кондиционирование согласно принятой на предприятии технологии.

Регенерирующий раствор после очистки от радионуклидов на сорбционных фильтрах используется повторно до тех пор, пока по результатам радиационно-технологического анализа не будет относиться к жидким радиоактивным отходам, после чего направляется на переработку и кондиционирование согласно принятой на предприятии технологии. Отработавшие селективные сорбенты сорбционных фильтров также направляются на переработку (сушку) и кондиционирование согласно принятой на предприятии технологии.

Контейнер-сборник (ловушка) [11] является оборотным, после проведения промывки отработавшей ионообменной смолы контейнер-сборник (ловушку) [11] подвергают дезактивации (при необходимости) и транспортируют на радиационно опасный объект для повторной загрузки отработавшей среднеактивной ионообменной смолой.

После успешно проведенной опытно-конструкторской работы АО «НИПТБ «Онега» разработало для АО «ЦС «Звездочка» технологическую и конструкторскую документацию на установку по снижению активности отработавшей ионообменной смолы, в составе которой используется контейнер-сборник (ловушка) [11].

Дальнейшее обращение с осушенной низкоактивной ионообменной смолой в АО «ЦС «Звездочка» будет выполняться по следующей схеме:

- загрузка осушенной низкоактивной ионообменной смолы в бочки Б31А2-216,5 и ее досушивание в бочке Б31А2-216,5 (в случае если содержание свободной жидкости в ионообменной смоле превышает 3%) согласно [14], [15];
- загрузка осушенной низкоактивной ионообменной смолы в сертифицированный контейнер НЗК-150-1,5П(ИОС) (в случае если содержание свободной жидкости в ионообменной смоле не превышает 3 %);
- проведение измерений параметров критериев приемлемости сертифицированного контейнера НЗК-150-1,5П(ИОС), загруженного осушенной низкоактивной ионообменной смолой в соответствии с критериями приемлемости [16];
- передача на долговременное хранение и захоронение ФГУП «НО РАО».

После проведения промывки 2,17 м³ отработавшей среднеактивной ионообменной смолы в контейнере-сборнике (ловушке) [11], образуется 1,4 м³ осушенной низкоактивной ионообменной смолы.

В соответствии с требованиями НП-093-14 [17] захоронение радиоактивных отходов 4 класса допустимо захоранивать без омоноличивания.

Согласно проведенным исследованиям и расчетам, приведенным в статье [18], подготовленная ионообменная смола, содержание свободной жидкости в которой не превышает 3%, может храниться в сертифицированном контейнере НЗК-150-1,5П(ИОС) в течение 300 лет без выхода радионуклидов за пределы стенок контейнера.

Для кондиционирования осушенной низкоактивной ионообменной смолы объемом 1,4 м³ необходим один сертифицированный контейнер НЗК-150-1,5П(ИОС).

В табл. 3 приведен расчет кондиционирования и транспортирования осушенной отработавшей низкоактивной ионообменной смолы (радиоактивные отходы 4 класса для захоронения) во ФГУП «НО РАО».

Таблица 3. Расчет кондиционирования и транспортирования радиоактивных отходов 4 класса

Затраты	Стоимость, руб.
Закупка одного сертифицированного контейнера НЗК-150-1,5П(ИОС)	184 400,00
Стоимость транспортирования одного сертифицированного контейнера НЗК-150-1,5П(ИОС), загруженного радиоактивными отходами 4 класса, из АО «ЦС «Звездочка» г. Северодвинск Архангельской области во ФГУП «НО РАО»	145 861,00
Тариф на передачу и захоронение одного сертифицированного контейнера НЗК-150-1,5П(ИОС), загруженного радиоактивными отходами 4 класса	175 745,52
Итого:	506 006,52

Примечание: Стоимость захоронения определена по тарифам ФГУП «НО РАО», установленным для 4 класса РАО, по состоянию на 2023 г.

Таким образом, вышеуказанный способ обращения в АО «ЦС «Звездочка» со среднеактивными отработавшими ионообменными смолами позволит снизить их удельную активность до низкоактивной, не допуская переоблучения персонала в процессе обращения, позволит уменьшить объем и количество среднеактивных отработавших ионообменных смол, хранящихся на пунктах хранения радиоактивных отходов предприятия, что позволит улучшить радиационную обстановку на предприятии и в регионе в целом, снизить негативное воздействие вредных веществ на окружающую среду.

Литература

1. Богданов Г. А., Соснина Ю. Н., Мотыженкова Е. А., Юшкова М. И. Обращение с отработавшими ионообменными смолами в АО «ЦС «Звездочка» //

Сборник докладов четвертого научно-технического семинара «Проблемы переработки и кондиционирования радиоактивных отходов», Санкт-Петербург, 14–18 июня 2021 г. — Санкт-Петербург, 2021. С. 21–25.

2. Об обращении с радиоактивными отходами и о внесении изменения в отдельные законодательные акты Российской Федерации: Федеральный закон от 11.07.2011 № 190-ФЗ // Собрание законодательства Российской Федерации. 2011. № 29. Ст. 4281; 2013. № 27. Ст. 3480.

3. основополагающие принципы безопасности. Основы безопасности. Серия норм МАГАТЭ по безопасности № SF-1. МАГАТЭ, Вена, 2007. 23 с.

4. Способ дезактивации отработанной ионообменной смолы из емкости радиоактивных отходов атомной электростанции : пат. 2224310 Рос. Федерация. № 2001131929/06 ; заявл. 27.11.2001; опубл. 20.02.2004. Бюл. № 5. 7 с.

5. Способ дезактивации отработанных ионообменных смол, загрязненных радионуклидами: пат. 2573826 Рос. Федерация. № 2014138632/07 ; заявл. 24.09.2014 ; опубл. 27.01.2016. Бюл. № 3. 11 с.

6. Application of ion exchange processes for the treatment of radioactive waste and management of spent ion exchangers: Technical reports series no. 408. International Atomic Energy Agency, Vienna, 2002. P. 115.

7. Способ дезактивации отработавшей ионообменной смолы : пат. 2440631 Рос. Федерация. № 2010151008/07 ; заявл. 14.12.2010 ; опубл. 20.01.2012. Бюл. № 2. 8 с.

8. Способ дезактивации радиоактивных ионообменных смол: пат. 2631942 Рос. Федерация. № 2016137930 ; заявл. 22.09.2016 ; опубл. 29.09.2017. Бюл. № 28.

9. Опытная работа по снижению активности (промывке) отработавших среднеактивных ионообменных смол, выгружаемых с ремонтируемых заказов. План: ЯНМИ.0523.00.024 / АО «НИПТБ «Онега» — Северодвинск, 2021. 50 с.

10. Проведение опытной работы по снижению активности отработавших среднеактивных ионообменных смол, выгружаемых с ремонтируемых кораблей. Отчет об опытно-конструкторской работе (заключительный): ЯНМИ.0535.00.090 / АО «НИПТБ «Онега» — разработ. Пospelova A. B., Мотыженкова Е. А. — Северодвинск, 2021. 87 с.

11. Контейнер-сборник для ионообменных смол: пат. 160040 Рос. Федерация. № 2015126183/07 ; заявл. 30.06.2015 ; опубл. 27.02.2016. Бюл. № 6. 13 с.

12. Способ обращения с радиоактивными отработавшими ионообменными смолами: пат. 2758913 Рос. Федерация. № 2020139922 ; заявл. 04.12.2020 ; опубл. 03.11.2021. Бюл. № 31. 9 с.

13. О критериях отнесения твёрдых, 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: Постановление Правительства Российской Федерации от 19.10.2012 № 1069 // Собрание законодательства Российской Федерации. 2012. № 44. Ст. 6017.

14. Куликов К. Н., Богданов Г. А., Соснина Ю. Н., Мотыженкова Е. А., Пьянкова Е. Н., Амосов А. Г. Внедрение технологии переработки отработавших сорбентов ионообменных фильтров с их последующим кондиционированием для передачи на долговременное хранение // Экология промышленного производства. 2019. № 4 (108). С. 37–40.

15. Порядок проведения работ по переработке низкоактивных РАО в виде пульпы ионообменных смол, методом обезвоживания на блоках сушки «Ohmtemp» объекта 160/161. Технологические указания: 037.03-095-2019 / АО «ЦС «Звездочка»: разработ. ООО — Северодвинск, 2019. 15 с.

16. Критерии приемлемости РАО для пунктов долговременного хранения ТРО в головной организации АО «ЦС «Звездочка» — объект 165, объект 162. Положение: ЯНМИ.0520.00.016 / АО «НИПТБ «Онега»: разработ. Пьянкова Е. Н. — Северодвинск, 2017. 65 с.

17. НП-093-14. Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии. Критерии приемлемости радиоактивных отходов для захоронения.

18. Сорокин В. Т., Демин А. В., Прохоров Н. А., Великина С. А., Гатауллин Р. М., Меделяев И. А., Перегудов Н. Н., Шарафутдинов Р. Б. Хранение отработавших ионообменных смол низкого и среднего уровня удельной активности в контейнерах типа НЗК без включения в матрицу // Ядерная и радиационная безопасность. 2009. № 4 (54). С. 19–22.

Информация об авторах

Пospelova Анна Владимировна, ведущий инженер-технолог, АО «Научно-исследовательское проектно-технологическое бюро «Онега» (164509, Архангельская область, Северодвинск, пр-д Машиностроителей, д. 12), e-mail: pospelova@onegastar.ru.

Фетюкова Наталья Николаевна, начальник лаборатории, АО «Научно-исследовательское проектно-технологическое бюро «Онега» (164509, Архангельская область, Северодвинск, пр-д Машиностроителей, д. 12), e-mail: fetyukova@onegastar.ru.

Пьянкова Елена Николаевна, инженер-технолог, АО «Научно-исследовательское проектно-технологическое бюро «Онега» (164509, Архангельская область, Северодвинск, пр-д Машиностроителей, д. 12), e-mail: Melena221@yandex.ru.

Библиографическое описание статьи

Поспелова А. В., Фетюкова Н. Н., Пьянкова Е. Н. Проведение опытной работы по снижению активности отработавших ионообменных смол // Радиоактивные отходы. 2023. № 2 (23). С. 56–62. DOI: 10 25283/2587-9707-2023-2-56-62.

EXPERIMENTAL STUDY AIMED AT DECREASING THE ACTIVITY OF SPENT ION-EXCHANGE RESINS

Pospelova A. V., Fetyukova N. N., Pyankova E. N.

JSC Research Manufacturing Technological Bureau Onega, Severodvinsk, Arkhangelsk region, Russia

Article received on January 24, 2023

High level decontamination is seen as a method providing the reprocessing of ion-exchange resins: they are treated with specifically selected solutions to achieve high degree of radionuclide elution. In 2021, Research Manufacturing Technological Bureau Onega launched an experimental study aimed at reducing the activity of spent ion-exchange resins unloaded from ships undergoing maintenance. Under the study, a few experiments were performed to select appropriate regenerating solutions, optimal methods for spent ion-exchange resin processing and treatment of regenerating solutions on sorbents of NZpS and TsMPA types. Based on the study, a method was proposed with an appropriate processing flowchart developed to manage spent ion-exchange resins at the ship repair site Zvezdochka.

Keywords: radioactive waste, intermediate-level waste, ion-exchange resins, regeneration, effluent.

References

1. Bogdanov G. A., Sosnina Yu. N., Motyzenkova E. A., Yushkova M. I. Obrashcheniye s otrabotavshimi ionoobmennymi smolami v AO "TSS "Zvezdochka" [Management of spent ion-exchange resins at ship repairing center Zvezdochka]. *Sbornik dokladov chetvertogo nauchnotekhnicheskogo seminara "Problemy pererabotki i kondicionirovaniya radioaktivnykh otkhodov" [Proc. of the fourth scientific and technical seminar "Problems of Radioactive Waste Processing and Conditioning"]*. Saint-Petersburg, June 14–18, 2021. Saint-Petersburg, 2021. Pp. 21–25.
2. Federal'nyy zakon ot 11 iyulya 2011 g. No. 190-FZ "Ob obrashchenii s radioaktivnymi otkhodami i o vnesenii izmeneniy v ot del'nyye zakonodatel'nyye akty Rossiyskoy Federatsii" [Federal Law of July 11, 2011 No. 190-FZ On the Management of Radioactive Waste and on Amendments to Certain Legislative Acts of the Russian Federation].
3. Fundamental Safety Principles. Safety Fundamentals. IAEA Safety Standards Series No. SF-1. IAEA, Vienna, 2007. 23 p.
4. Sposob dezaktivatsii otrabotannoy ionoobmennoy smoly iz yemkosti radioaktivnykh otkhodov atomnoy elektrostantsii [Decontamination method for spent ion-exchange resins from radioactive waste containers at nuclear power plants]. Pat. RU No. 2224310 Russian Federation. No. 2001131929/06 ; application date 27.11.2001 ; publication date 20.02.2004. Bul. No. 5. 7 p.
5. Sposob dezaktivatsii otrabotannykh ionoobmennykh smol, zagryaznennykh radionuklidami [Decontamination method for spent ion-exchange resins with radionuclide contamination]. Pat. RU No. 2573826 Russian Federation. No. 2014138632/07; application date 24.09.2014; publication date 27.01.2016. Bul. No. 3. 11 p.
6. Application of ion exchange processes for the treatment of radioactive waste and management of spent ion exchangers: Technical reports series no. 408. International Atomic Energy Agency, Vienna, 2002. P. 115.
7. Sposob dezaktivatsii otrabotavshey ionoobmennoy smoly [Decontamination method for spent ion-exchange resins]. Pat. RU 2440631 Russian Federation. No. 2010151008/07 ; application date 14.12.2010 ; publication date 20.01.2012. Bul. No. 2. 8 p.
8. Sposob dezaktivatsii radioaktivnykh ionoobmennykh smol [Decontamination method for spent

ion-exchange resins]. Pat. RU 2631942 Russian Federation. No. 2016137930 ; application date 22.09.2016 ; publication date 29.09.2017. Bul. No. 28. 9. *Opytnaya rabota po snizheniyu aktivnosti (promyke) otrabotavshikh sredneaktivnykh ionoobmennyykh smol, vygruzhayemykh s remontiruyemykh zakazov* [Experimental study seeking to reduce the activity (by washing) of spent intermediate-level ion-exchange resins unloaded from facilities undergoing repair]. Plan: YANMI.0523.00.024 / JSC NIPTB Onega, Severodvinsk, 2021. 50 p.

10. *Provedeniye opytной работы po snizheniyu aktivnosti otrabotavshikh sredneaktivnykh ionoobmennyykh smol, vygruzhayemykh s remontiruyemykh korabley* [Experimental study seeking to reduce the activity of spent intermediate-level ion-exchange resins unloaded from ships undergoing repair]. Report on Pilot-Design Study (final): YANMI.0535.00.090 / JSC NIPTB Onega — developed by Pospelova A. V., Motyzenkova E. A. Severodvinsk, 2021. 87 p.

11. *Konteyner-sbornik dlya ionoobmennyykh smol* [Container-collector for ion-exchange resins]. Pat. RU 160040 Russian Federation. No. 2015126183/07 ; application date 30.06.2015 ; publication date 27.02.2016. Bul. No. 6. 13 p.

12. *Sposob obrashcheniya s radioaktivnymi otrabotavshimi ionoobmennymi smolami* [Decontamination method for spent ion-exchange resins]. Pat. No.2758913 Russian Federation. No.2020139922 ; application date 4.12.2020 ; publication date 3.11.2021. Bul. No. 31. 9 p.

13. Government Decree 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-Removable Radioactive Waste and Removable Radioactive Waste and Criteria for Removable Radioactive Waste Classification”. (In Russian).

14. Kulikov K. N., Bogdanov G. A., Sosnina Ju. N., Motyzenkova E. A., Piankova E. N., Amosov A. G. *Vnedreniye tekhnologii pererabotki otrabotavshikh sorbentov ionoobmennyykh fil'trov s ikh*

posleduyushchim konditsionirovaniyem dlya peredachi na dolgovremennoye khraneniye [Introduction of process of spent ion-exchange resins treatment and conditioning for their long-term storage]. *Ekologiya promyshlennogo proizvodstva — Industrial production ecology*, 2019, no. 4 (108), pp. 37–40.

15. *Poryadok provedeniya rabot po pererabotke nizkoaktivnykh RAO v vide pul'py ionoobmennyykh smol, metodom obezvozhvaniya na blokakh sushki “Ohmtemp” ob'yekta 160/161: tekhnologicheskiye ukazaniya: 037.03-095-2019* [Flowchart providing the processing of low-level waste constituting to ion-exchange resin pulp by dehydration involving drying blocks Ohmtemp at facility 160/161: industrial guidelines 037.03-095-2019] / JSC Zvezdochka: developed by Limited Liability Enterprise. Severodvinsk, 2019. 15 p.

16. *Kriterii priyemlosti RAO dlya punktov dolgovremennogo khraneniya TRO v golovnoy organizatsii AO “TSS “Zvezdochka” — ob'yekt 165, ob'yekt 162* [Radioactive waste acceptance criteria for the long-term storage of solid radioactive waste in the parent organization JSC Zvezdochka — facility 165, facility 162]. Regulation: YANMI.0520.00.016 / JSC NIPTB Onega: developed by Pyankova E. N. Severodvinsk, 2017. 65 p.

17. NP-093-14. *Federal'nye normy i pravila v oblasti ispol'zovaniya atomnoi ehnergii. Kriterii priemlosti radioaktivnykh otkhodov dlya zakhroneniya* [Federal norms and rules in the field of atomic energy use. Radioactive waste acceptance criteria for disposal].

18. Sorokin V. T., Demin A. V., Prokhorov N. A., Velikina S. A., Gataullin R. M., Medelyayev I. A., Peregudov N. N., Sharafutdinov R. B. *Khraneniye otrabotavshikh ionoobmennyykh smol nizkogo i srednego urovnya udel'noi aktivnosti v konteynerakh tipa NZK bez vklyucheniya v matritsu* [Storage of spent ion exchange resins low- and intermediate-level waste in NZK containers assuming no immobilization into waste form]. *Yadernaya i radiatsionnaya bezopasnost' — Nuclear and Radiation Safety*, 2009, no. 4 (54), pp. 19–22.

Information about the authors

Pospelova Anna Vladimirovna, Leading Process Engineer, JSC Research Manufacturing Technological Bureau Onega (12, pr. Mashinostroiteley, Severodvinsk, Arkhangelsk region, 164509, Russia), e-mail: pospelova@onegastar.ru.

Fetyukova Natalia Nikolaevna, Head of laboratory, JSC Research Manufacturing Technological Bureau Onega (12, pr. Mashinostroiteley, Severodvinsk, Arkhangelsk region, 164509, Russia), e-mail: fetyukova@onegastar.ru.

Pyankova Elena Nikolaevna, Process Engineer, JSC Research Manufacturing Technological Bureau Onega (12, pr. Mashinostroiteley, Severodvinsk, Arkhangelsk region, 164509, Russia), e-mail: Melena221@yandex.ru.

Bibliographic description

Pospelova A. V., Fetyukova N. N., Pyankova E. N. Experimental Study Aimed at Decreasing the Activity of Spent Ion-Exchange Resins. *Radioactive Waste*, 2023, no. 2 (23), pp. 56–62. DOI: 10.25283/2587-9707-2023-2-56-62. (In Russian).