DOI: 10.25283/2587-9707-2026-3-62-70 УДК 621.039

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ПРЕССОВАННЫХ МАТЕРИАЛОВ, СОДЕРЖАЩИХ ^{129}I, КАК КОНДИЦИОНИРОВАННЫХ ФОРМ ДЛЯ ЗАХОРОНЕНИЯ

С. В. Степанов, Р. В. Пашковский, С. М. Шайдуллин, П. В. Козлов

ФГУП «ПО «Маяк», Озёрск, Челябинская область

Статья поступила в редакцию 21 июля 2026 г.

Отработанные сорбенты, применяемые в системе газоочистки головных операций переработки отработавшего ядерного топлива энергетических реакторов на заводе РТ-1, содержащие долгоживущий йод-129 (^{129}I), относятся к радиоактивным отходам 2 класса и подлежат глубинному захоронению. Гранулированный сорбент, как пористый, хрупкий и пылящий материал, должен быть приведен в кондиционированную форму и соответствовать критериям приемлемости. В центральной заводской лаборатории получены образцы прессованных материалов с ^{129}I, исследованы их свойства и выбраны оптимальные композиции с точки зрения их безопасного захоронения.

Ключевые слова: *йод-129, сорбент, захоронение радиоактивных отходов, прессование, прочность на сжатие, водоустойчивость, скорость выщелачивания, степень выщелачивания, радиоактивные отходы.*

Интенсивное развитие атомной энергетики выдвигает на передний план завершающую стадию ядерного топливного цикла (ЯТЦ) — регенерацию отработавшего ядерного топлива (ОЯТ) энергетических установок и решение сопутствующих ей вопросов обращения с радиоактивными отходами (РАО).

Основной задачей при обращении с отходами ЯТЦ является исключение попадания радиоактивных изотопов в окружающую среду в количествах, превышающих нормативные значения.

Одна из важных проблем, которую приходится решать в ходе регенерации ОЯТ, является создание высокоэффективной системы газоочистки. Вероятность загрязнения окружающей среды по линиям газовых выбросов как при нормально работающих предприятиях, так и в аварийных ситуациях наибольшая.

Среди радиоактивных газообразных нуклидов, выделяющихся при переработке ОЯТ, особое место занимает ^{129}I. Несмотря на малую удельную активность ($6{,}74 \cdot 10^6$ Бк/г), он представляет серьезную биологическую опасность вследствие длительного периода полураспада ($1{,}57 \cdot 10^7$ лет), высокой миграционной способности, обусловленной его физико-химическими свойствами, и возможности физиологического накопления в критическом органе человека — щитовидной железе.

В настоящее время общепринятой концепцией обращения с изотопами йода, в том числе с ^{129}I, является его максимальное удаление из технологических продуктов в газовую фазу в головных операциях переработки облученных тепловыделяющих сборок энергетических реакторов, извлечение из газового потока на

серебросодержащем неорганическом сорбенте с последующей надежной изоляцией от биосферы.

В технической документации, регламентирующей эксплуатацию узла йодной очистки на радиохимическом производстве ФГУП «ПО «Маяк», предусматривается после выработки ресурса адсорбционных колонн уловленный ^{129}I хранить непосредственно на сорбенте. Однако химическое соединение йода с серебром не является окончательной формой его долговременного хранения по причине низкой механической прочности и высокой пористости матрицы поглотителя. Физическая форма и состояние РАО должны соответствовать критериям приемлемости для захоронения, установленным согласно требованиям федеральных норм и правил в области использования атомной энергии [1], [2]. Кроме того, учитывая высокую стоимость серебра, ведутся исследовательские работы, лабораторные и промышленные эксперименты по удалению ^{129}I из промежуточного поглотителя с целью его концентрирования в компактной и устойчивой форме [3].

Для решения проблем, связанных с переработкой накопленных на заводе РТ-1 йодсодержащих сорбентов, выработаны предложения по приведению данных отходов к критериям приемлемости с позиций безопасности их размещения в пункте захоронения.

Характеристики отработанного йодсодержащего сорбента ФГУП «ПО «Маяк»

Для улавливания ^{129}I с 1988 года используются адсорбционные колонны, снаряженные активным γ-Al_2O_3, импрегнированным азотнокислым серебром. Сорбент обладает высокой (более 99,9 %) эффективностью улавливания ^{129}I. Прочная связь йода с серебром дает возможность осуществления надежного удержания ^{129}I [4].

За время эксплуатации узла йодной очистки на заводе РТ-1 накоплены более 20 м^3 отработанного сорбента, насыщенного ^{129}I. Исходя из опыта эксплуатации, ежегодное образование отработанного сорбента составит до 0,5 т.

Насыпная плотность сорбента зависит от его фракционного состава. Для слоев сорбента в адсорбционных колоннах с преобладанием целых гранул размерами более 5 мм она имеет минимальные значения — на уровне 610 г/дм^3, а при наибольшей доле уплотняющейся пылевидной фракции менее 1 мм, образующейся в результате истирания гранул в процессе эксплуатации адсорбционных колонн и количество которой составляет до 30 %, — увеличивается до 680 г/дм^3.

Неразрушенный сорбент, как пористый гранулированный материал, имеет насыпную плотность 0,6 т/м^3, при этом истинная плотность соединения γ-Al_2O_3 составляет 3,68 т/м^3 [5].

Влажность сорбента находится в узком диапазоне от 4,7 % до 5,7 %, что объясняется его работой при высоких (до 190 °С) температурах, герметичностью законсервированных колонн и емкостей, а также отсутствием источников влаги в местах хранения (каньоны системы газоочистки). Вся жидкость адсорбирована на развитой поверхности сорбента. Свободная влага отсутствует.

В 2024 году были определены количественные составы компонентов сорбента в каждой отработанной колонне, усредненные значения которых приведены в табл. 1 [6].

Таблица 1. Результаты определения состава сорбента

Массовая доля, %							Удельная активность, Бк/г		
Al	Ag	I	NO_3^-	F^-	Cl^-	SO_4^{2-}	^{129}I	^{137}Cs	^{90}Sr
40,4	7,8	9,8	5,7	⩽0,1	⩽0,1	0,3	$3{,}4\cdot10^5$	$2{,}2\cdot10^2$	$4{,}5\cdot10^2$

Результаты измерений показывают, что содержание радиологически значимых изотопов, за исключением ^{129}I, в сорбенте (по сравнению с иными РАО 1 и 2 классов) крайне мало. Содержание его на уровне $3{,}36\cdot10^5$ Бк/г позволяет отнести отработанный сорбент к РАО 2 класса. Следует отметить, что утвержденные требования к испытаниям кондиционированных форм отходов для оценки безопасности их размещения в пункте глубинного захоронения отсутствуют, поэтому в работе использовались методики для цементированных РАО 3 класса.

Таким образом, основной задачей становится поиск способа обращения с ^{129}I с получением кондиционированной формы, соответствующей критериям приемлемости. В то же время, учитывая класс образующихся РАО и необходимость их размещения в пункте глубинного захоронения радиоактивных отходов (ПГЗРО), следует рассмотреть способы уменьшения их объема. Как показали результаты анализов, массовая доля изотопов йода в отработанном сорбенте составляет менее 10 %.

Он относится к категории неорганических негорючих твердых материалов, не выделяет взрывоопасные вещества, не требует дополнительной сортировки, дезактивации и, очевидно, пригоден для такого распространенного способа обращения с РАО, как прессование.

Технологии прессования или уплотнения используются при переработке твердых низко-,

средне- и высокоактивных отходов (НАО, САО и ВАО). Российская Федерация, Германия, Великобритания, Соединенные Штаты Америки и ряд других стран применяют данный способ с целью снизить их объемы. Сила давления зависит от состава и количества отходов, требований по уменьшению их объема и может варьироваться от 5 до 1000 тонн и более (суперкомпактирование). Указанным способом удается уменьшить объемы отходов в 3—10 раз в зависимости от их состава.

Для прессования применяются гидравлические или пневматические машины, после чего уплотненные отходы укладываются в первичные контейнеры. При суперкомпактировании прессование, как правило, осуществляется совместно с первичной упаковкой в которой размещены ранее уплотненные ТРО [7].

Методическая часть

Прессование йодсодержащих материалов осуществляли в два этапа. На первом этапе, для определения оптимальных условий процесса, работы проводились с модельными материалами, содержащими стабильный ^{127}I. Полученные образцы подвергали испытаниям на механическую прочность на сжатие и водоустойчивость. По результатам «отсекали» составы, не удовлетворяющие требованиям стандарта [8] по данному показателю. На втором этапе, исходя из выбранных составов, проводили прессование и испытание материалов с радиоактивным ^{129}I.

Прессование проводили при помощи гидравлического лабораторного пресса с использованием цилиндрических пресс-форм из нержавеющей стали с внутренним диаметром 50 мм. Максимальное усилие для получения таблеток площадью 19,6 см^2 и высотой от 5 до 15 мм составляло 25 т.

Прессованию подвергали цельные гранулы (цилиндры с диаметром 5 мм и длиной 8—15 мм) и порошок сорбента (размер частиц менее 0,5 мм) как в исходном виде, так и с добавками, а также соли AgI и CuI в виде порошков фракции менее 0,5 мм.

Перед этим материалы усредняли перемешиванием с добавками, при необходимости подсушивали на бумажном фильтре в вакуумной воронке.

Далее во втулку пресс-формы (1) (рис. 1) со вставленной в нее снизу пробкой (2) и первым сменным пуансоном (3) помещали навеску сыпучего материала. Затем устанавливали второй сменный и толкающий пуансоны (4), собранная пресс-форма помещалась в рабочую камеру пресса.

Смесь поджималась вручную вращением винтового шпинделя. Прессование проводили ступенчато, со сменой уставки давления на манометре с шагом 5 т до максимального усилия в 25 т. После под пресс-форму помещали приемную емкость и проводили выпрессовку пробки, сменных пуансонов и сформированной таблетки йодсодержащего материала.

По данной методике провели опыты по подбору материалов и условий для прессования как чистого порошка сорбента, так и смешанного с порошком металлической меди, Na_2SiO_3, бентонитом и H_3PO_4.

Помимо сорбента были приготовлены образцы прессованных таблеток из труднорастворимых

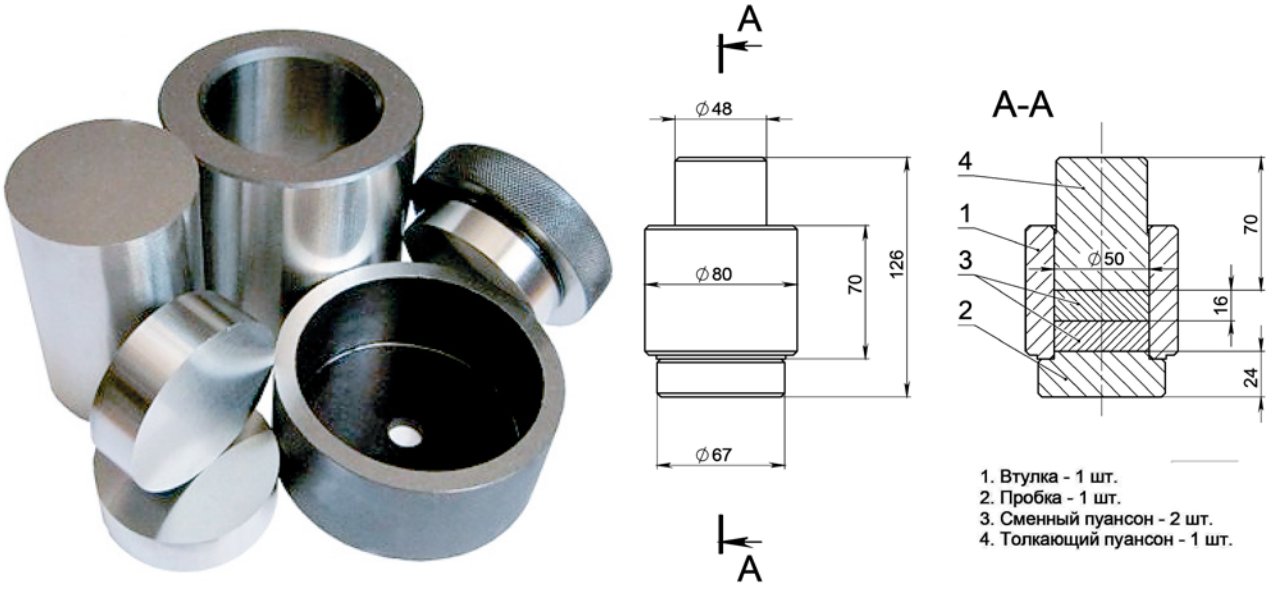


Рис. 1. Пресс-форма с внутренним диаметром 50 мм

солей CuI и AgI, полученных из десорбированного йода. На ФГУП «ПО «Маяк» разработана методика десорбции изотопов йода щелочным раствором гидразин-нитрата с последующим получением труднорастворимых солей. Кроме того, был опробован способ иммобилизации ^{129}I путем прессования CuI с порошком металлической меди в соотношении 1 : 1, разработанный АО «Радиевый институт им. В. Г. Хлопина» [9].

Полученные образцы прессованных йодсодержащих материалов подвергали испытаниям на соответствие нормативным требованиям по аналогии с РАО, заключенными в цементные матрицы.

Оценку их качества проводили согласно стандарту [8]. Для испытаний на водоустойчивость изготавливали образцы-свидетели.

Механическая прочность модельных образцов на сжатие до и после испытаний определялась на разрывной машине ИР 5113-100 со скоростью перемещения активного захвата 10 мм/мин (скорость деформации составляла 0,008 с$^{-1}$) и на мобильном испытательном прессе МИП-50Э согласно руководству по эксплуатации [10].

Для проведения иммерсионных испытаний модельные образцы выдерживались в дистиллированной воде в течение 90 суток, после чего определялась механическая прочность на сжатие. Образцы-свидетели на протяжении эксперимента хранились при нормальных условиях.

Испытания по выщелачиванию радионуклидов из образцов прессованных материалов проводились в соответствии с стандартом [11]. Их помещали в колбы, заливали 100 см^3 дистиллированной воды. Среда выщелачивания периодически (через 1, 3, 7, 14 и 28 суток) заменялась свежей. Общая длительность испытания составляла 28 суток. Пробы анализировали на содержание ^{129}I спектрометрическим методом. Скорость выщелачивания радионуклидов R, г/(см^2·сут), вычисляли по формуле (1)

$$R = \frac{A^{(i)}}{A^{(y)} \cdot F \cdot \tau}, \qquad (1)$$

где $A^{(i)}$ — активность радионуклида в среде выщелачивания на i-е сутки, Бк;
$A^{(y)}$ — удельная активность радионуклида в компаунде, Бк/г;
F — геометрическая площадь образца, см^2;
τ — время выщелачивания, сутки.

Удельную активность компаундов по каждому компоненту $A_{\text{уд}i}$, Бк/г, рассчитывали по формуле

$$A_{\text{уд}i} = \frac{A_i \cdot V_{\text{РАО}}}{M}, \qquad (2)$$

где A_i — объемная активность компонента в РАО, Бк/дм^3;
$V_{\text{РАО}}$ — объем аликвоты РАО, взятой на отверждение, дм^3;
M — масса компаунда, г.

Степень выщелачивания радионуклидов St, %, вычисляли по формуле

$$St = \frac{\Sigma A^{(i)}}{\Sigma A} \cdot 100, \qquad (3)$$

где $\Sigma A^{(i)}$ — суммарное количество радионуклида, выщелоченное из компаунда на i-е сутки, Бк;
ΣA — суммарное количество радионуклида в компаунде, Бк.

Обсуждение результатов

Проведенные опыты по прямому прессованию цельных гранул сорбента в пресс-формах позволили снизить их объем более чем в два раза. Однако механическая прочность полученных таблеток, во внутреннем объеме сохранивших форму гранул, оказалась низкой. При извлечении из пресс-формы происходило послойное растрескивание образца и пыление (рис. 2а, б).

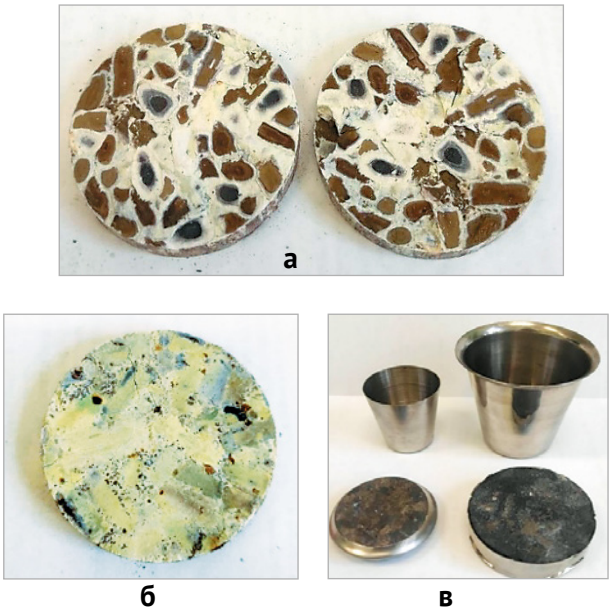
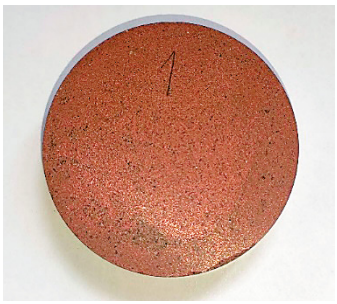


Рис. 2. Результаты прессования гранул сорбента

Прессование гранул сорбента в металлических емкостях из нержавеющей стали с последующим их размещением в защитных контейнерах решило бы проблему рассыпания и пыления, поэтому были проведены эксперименты по прессованию гранул сорбента в нержавеющих оболочках. Данный способ позволил снизить объем приблизительно в два раза, при этом пыление и растрескивание не наблюдались (рис. 2в).


материал № 1

материал № 2

материал № 3

материал № 4

материал № 5

материал № 6

материал № 7

Рис. 3. Результаты прессования порошка сорбента со связующими

Таблица 2. Характеристики прессованных образцов

№	Материал	Толщина, мм	Объем, $см^3$	Вес, г	Плотность, $г/см^3$	Площадь поверхности, $см^2$
1	Сорбент (п) + Cu (1 : 1)	10,0	19,63	60,05	3,1	55,0
2	CuI + Cu (1 : 1)	9,5	18,64	103,91	5,6	54,2
3	AgI	9,0	17,66	93,11	5,3	53,4
4	Сорбент (п)	13,0	25,51	37,29	1,5	59,7
5	Сорбент (п) + бентонит (1 : 2)	11,0	21,59	42,71	2,0	56,5
6	Сорбент (п) + Na_2SiO_3	13,0	25,51	37,76	1,5	59,7
7	Сорбент + H_3PO_4	10	19,63	35,15	1,8	55,0

Примечание: п — порошок сорбента фракции менее 1 мм.

Низкая прочность гранул сорбента побудила провести ряд опытов по прессованию порошка сорбента с добавлением связующих, таких как силикат натрия и порошок металлической меди

С целью повышения степени включения целевого компонента проводились эксперименты по прессованию компактных солей, осажденных из растворов после десорбции йода из отработанных сорбентов. Чистая соль CuI оказалась недостаточно прочной, но в смеси с порошком Cu она обеспечивала относительно высокую массовую долю включенного йода (до 20 %) и удовлетворительные прочностные показатели.

Чистая соль AgI хорошо прессовалась, сохраняя прочность при извлечении из пресс-формы. Массовая доля йода высокая, до 50 %. Внешний вид таблеток йодсодержащих материалов представлен на рис. 3.

Некоторые физические характеристики синтезированных материалов приведены в табл. 2.

Изготовленные прессованные образцы вышеперечисленных материалов со стабильным йодом были испытаны на прочность в соответствии с руководством [10]. Оценка их качества, по аналогии с цементными компаундами, проводилась согласно требованиям стандарта [8].

Полученные результаты прочностных испытаний прессованных материалов, до испытаний их на водостойкость, приведены в табл. 3. Все образцы удовлетворяют требованиям стандарта [8] по прочности на сжатие для цементных компаундов (не менее 4,9 МПа) с кратным запасом.

Проведены испытания дубликатов вышеперечисленных образцов на устойчивость к длительному пребыванию в воде. Представленные

Таблица 3. Показатели прочности прессованных материалов

№	Материал	Предел прочности при сжатии, σ, МПа
1	Сорбент (п) + Cu (1 : 2)	29,6
2	CuI + Cu (1 : 1)	49,1
3	AgI	49,1
4	Сорбент (п)	12,7
5	Сорбент (п) + бентонит (1 : 2)	12,8
6	Сорбент (п) + Na_2SiO_3	9,3
7	Сорбент + H_3PO_4	22,3

на рис. 3 материалы № 1, 4, 5, 7 разрушились в дистиллированной воде вследствие набухания, образовав суспензию. Образцы № 2, 3, 6, сохранившие форму после 28 суток испытаний на водостойкость, были подвергнуты испытаниям на прочность при сжатии.

Результаты прочностных испытаний прессованных материалов после испытаний на водостойкость приведены в табл. 4.

Таблица 4. Результаты испытаний на предел прочности при сжатии прессованных материалов после испытаний на водостойкость

№ образца	Материал	σ до, Мпа	σ после, Мпа
2	CuI + Cu (1 : 1)	49,1	49,0
3	AgI	49,0	47,0
6	Сорбент порошок с Na_2SiO_3	9,3	8,3

По данным табл. 4, предел прочности при сжатии у всех материалов незначительно снизился после испытаний на водостойкость, при этом соответствуя требованиям стандарта [8].

Исходя из полученных результатов, изготовлены активные образцы таблеток материалов № 2 (CuI), № 3 (AgI) и № 6 (порошок сорбента с Na_2SiO_3) для испытаний на выщелачиваемость ^{129}I. Дополнительно испытаниям на выщелачиваемость подвергнут исходный йодсодержащий сорбент в гранулах.

Результаты выщелачивания ^{129}I из прессованных материалов за 28 суток представлены в табл. 5 и на рис. 4 и 5.

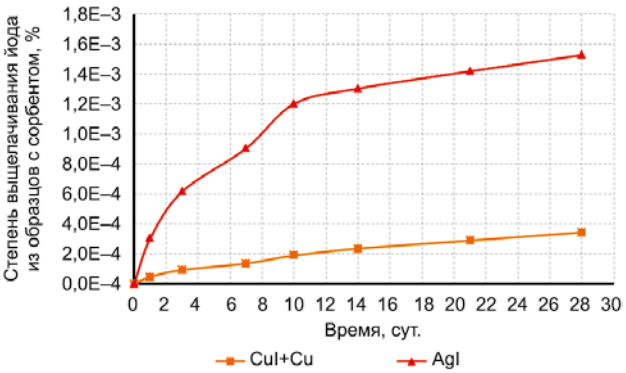


Рис. 4. Степень выщелачивания ^{129}I из материалов CuI+Cu *и* AgI

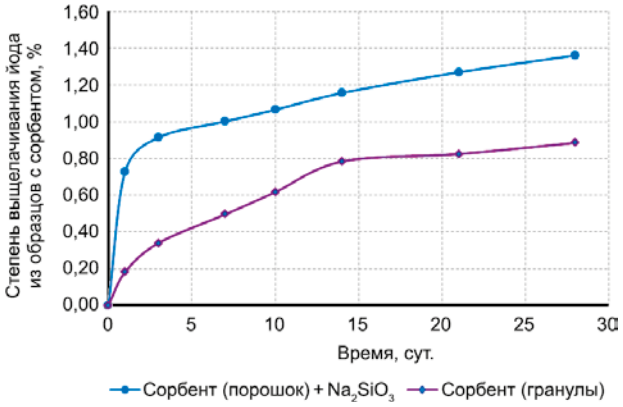


Рис. 5. Степень выщелачивания ^{129}I из гранул сорбента и порошка сорбента с Na_2SiO_3

По результатам определения характеристик прессованных материалов, с учетом технологичности подготовительных операций и физико-химических свойств йодсодержащих соединений, можно заключить, что наиболее приемлемой с точки зрения долговременной безопасности в условиях захоронения в ПГЗРО является компактная прессованная соль AgI с массовой долей ^{129}I на уровне 50 % и степенью его выщелачивания за 28 суток, равной $1{,}6 \cdot 10^{-3}$ %, при пределе прочности при сжатии (σ), составляющем

Таблица 5. Результаты выщелачивания ^{129}I из прессованных образцов

Вид отверждаемых РАО	Образец	А образца, Бк/обр.	Степень включения ^{129}I, мас.%	Масса образца, г	Степень выщелачивания St_{28}, %	Скорость выщелачивания R_{28}, г/(см^2·сут)
CuI	$Cu^{129}I$: Cu = 1 : 1	$1{,}3 \cdot 10^8$	32	62,0	$8{,}2 \cdot 10^{-4}$	$2{,}8 \cdot 10^{-7}$
AgI	$Ag^{129}I$	$9{,}8 \cdot 10^7$	53,7	27,9	$1{,}6 \cdot 10^{-3}$	$1{,}5 \cdot 10^{-7}$
Сорбент	Порошок с Na_2SiO_3	$3{,}2 \cdot 10^7$	10,8	37,4	2,3	$9{,}8 \cdot 10^{-4}$
Сорбент	Гранулы	$1{,}1 \cdot 10^6$	9,0	3,5	0,7	$9{,}9 \cdot 10^{-6}$

27 МПа. Для сравнения, степень выщелачивания из непрессованных гранул сорбента с AgI (массовая доля ^{129}I на уровне 9,0 %) за счет пористости и более доступной поверхности за тот же период времени составила $8{,}5 \cdot 10^{-1}$ %. Соль CuI более сложна в получении, при добавлении металлической меди в соотношении 1 : 1 дает более низкую степень включения (30 %) и в долгосрочной перспективе подвергается постепенному окислению кислородом воздуха или под воздействием бактерий [12].

Выводы

1. Изготовлены образцы прессованных материалов с долгоживущим ^{129}I: исходного отработанного сорбента, малорастворимых соединений CuI и AgI. Их механическая прочность оказалась невысока, поэтому синтезированы композиции на основе измельченного сорбента с применением связующих добавок. Массовая доля йода в полученных компаундах составляла от 9 % до 54 %.

2. Проведены испытания образцов на соответствие требованиям по водостойкости, выщелачиванию ^{129}I и прочности на сжатие. Все из них до иммерсионных испытаний показали значения предела прочности при сжатии от 9 до 49 МПа, что кратно превышает указанные в [8] требования для цементного компаунда (4,9 МПа). Однако часть образцов разрушилась после погружения в дистиллированную воду при испытаниях на водоустойчивость. Прочность уцелевших и прошедших данные испытания образцов существенно не изменилась.

Исследования композиций по стандарту [11] показали достаточно низкую степень выщелачивания на 28 сутки: спрессованные соединения CuI и AgI — порядка $1 \cdot 10^{-3}$ %, спрессованный сорбент — около 1—2 %.

3. На основании полученных данных наиболее оптимальным вариантом для захоронения в ПГЗРО признана компактная прессованная соль AgI, обладающая высокой степенью включения ^{129}I, простотой получения, высокой механической прочностью, низкими скоростью и степенью выщелачивания в дистиллированной воде.

Исследование проведено в рамках договора с Государственной корпорацией по атомной энергии «Росатом» от 12.02.2024 № 1/29241-Д по теме «Разработка способа обращения с отработанными йодсодержащими сорбентами и обоснование безопасности их размещения в пункте глубинного захоронения радиоактивных отходов».

Литература

1. НП-019-15. Сбор, переработка, хранение и кондиционирование жидких радиоактивных отходов. Требования безопасности. — М. : Ростехнадзор, 2015. 22 с.

2. НП-093-14. Критерии приемлемости радиоактивных отходов для захоронения. — М. : Ростехнадзор, 2015. 25 с.

3. *Глаголенко Ю. В., Дзекун Е. Г., Ровный С. И. и др.* Переработка ОЯТ на комплексе РТ-1: история, проблемы, перспективы // Вопросы радиационной безопасности. 1997. № 2. С. 3—12.

4. *Истомин И. А.* Опыт эксплуатации системы йодной очистки на радиохимическом производстве // Universum: химия и биология. 2022. № 12 (102). — URL: http://7universum.com/ru/nature/archive/item/14636 (дата обращения: 12.03.2026).

5. *Бондарь И. А. и др.* Исследование фазовых переходов в Al_2O_3 // Известия АН СССР. Неорганические материалы. 1971. Т. 7. № 8. С. 1367—1371.

6. *Stepanova O. V., Chukhlantseva Ye. V., Tatarnikova Yu. M., Stepanov S. V., Dzhevello K. A.* Chemical and radiochemical analysis of spent sorbent from iodine adsorption columns of the Mayak PA plant // J. Radiochem. 2025. Vol. 67. No. 4. Pp. 528—533. DOI: 10.1134/S1066362225040149.

7. *Андрюшин И. А., Юдин Ю. А.* Обзор проблем обращения с радиоактивными отходами и отработавшим ядерным топливом. — Саров, ФГУП «Российский федеральный ядерный центр — Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальный физики» (ФГУП «РФЯЦ — ВНИИЭФ»), 2010. 138 с.

8. ГОСТ Р 51883-2002. Отходы радиоактивные цементированные. Общие технические требования. — М. : ИПК Издательство стандартов, 2002.

9. *Истомин И. А.* Разработка и внедрение технологии обращения с йодом-129 в процессе переработки облученного ядерного топлива энергетических реакторов : дисс… канд. техн. наук. — Озёрск, 2003. 112 с.

10. Пресс мобильный испытательный МИП-50Э : руководство по эксплуатации НКИП.408272.100 РЭ / Научно-производственное предприятие Интерприбор.

11. ГОСТ Р 52126-2003. Отходы радиоактивные. Определение химической устойчивости отвержденных высокоактивных отходов методом длительного выщелачивания. — М. : Издательство стандартов, 2003.

12. *Burger L. L., Scheele R. D., Wiemers K. D.* Selection of a form for fixation of iodine-129. PNL – 4045, dec. 1981.

Информация об авторах

Степанов Сергей Викторович, инженер-технолог Центральной заводской лаборатории, ФГУП «ПО «Маяк» (456784, Челябинская обл., Озерск, пр-кт Ленина, д. 31), e-mail: cpl@po-mayak.ru.

Пашковский Роман Владимирович, инженер-технолог Центральной заводской лаборатории, ФГУП «ПО «Маяк» (456784, Челябинская обл., Озерск, пр-кт Ленина, д. 31), e-mail: romantike90@gmail.com.

Шайдуллин Сергей Минуллович, кандидат технических наук, ведущий инженер-технолог Центральной заводской лаборатории, ФГУП «ПО «Маяк» (456784, Челябинская обл., Озерск, пр-кт Ленина, д. 31), e-mail: shaidullinsergey@gmail.com.

Козлов Павел Васильевич, кандидат технических наук, доцент, начальник Центральной заводской лаборатории, ФГУП «ПО «Маяк» (456784, Челябинская обл., Озерск, пр-кт Ленина, д. 31), e-mail: kozlov_pavel@inbox.ru.

Библиографическое описание статьи

Степанов С. В., Пашковский Р. В., Шайдуллин С. М., Козлов П. В. Исследование свойств прессованных материалов, содержащих ^{129}I, как кондиционированных форм для захоронения // Радиоактивные отходы. 2026. № 3 (36). С. 62—70. DOI: 10.25283/2587-9707-2026-3-62-70.

STUDYING THE PROPERTIES OF COMPACTED MATERIALS CONTAINING ^{129}I AS CONDITIONED WASTE FORMS FOR DISPOSAL

Stepanov S. V., Pashkovsky R. V., Shaidullin S. M., Kozlov P. V.

FSUE PO Mayak, Ozersk, Chelyabinsk Region, Russia

Article received on July 21, 2026

Spent sorbents used in off-gas treatment systems under primary SNF reprocessing operations at the RT-1 plant containing long-lived iodine-129 (^{129}I) are referred to Class 2 RW and require deep disposal. Sorbent pellets as a porous, brittle and dust-producing material shall be conditioned and meet waste acceptance criteria. Samples of compacted materials containing ^{129}I were obtained at the plant's central laboratory, their properties were studied and compositions viewed as optimal in terms of their safe disposal were selected.

Keywords: *iodine-129, sorbent, RW disposal, compaction, compressive strength, water resistance, leaching rate, leaching degree, radioactive waste.*

The study was sponsored under a contract No. 1/29241-D with the State Atomic Energy Corporation Rosatom of February 12, 2024 on the topic Development of a Management Method for Spent Iodine-Containing Sorbents and Safety Assessment of their Disposal in a Deep Radioactive Waste Repository.

References

1. NP-019-15. *Sbor, pererabotka, khraneniye i konditsionirovaniye zhidkikh radioaktivnykh otkhodov. Trebovaniya bezopasnosti* [Collection, processing, storage and conditioning of liquid radioactive waste. Safety requirements]. Moscow, Rostekhnadzor Publ., 2015. 22 p.

2. NP-093-14. *Kriterii priyemlemosti radioaktivnykh otkhodov dlya zakhoroneniya* [Radioactive Waste Acceptability Criteria for Disposal]. Moscow, Rostekhnadzor Publ., 2015. 25 p.
3. Glagolenko Yu. V., Dzekun E. G., Rovny S. I. et al. Pererabotka OYAT na komplekse RT-1: istoriya, problemy, perspektivy [Spent Nuclear Fuel Reprocessing at the RT-1 Plant: Background, Problems and Prospects]. *Voprosy radiatsionnoy bezopasnosti — Radiation Safety Issues,* 1997, no. 2, pp. 3—12.
4. Istomin I. A. Opyt ekspluatatsii sistemy yodnoy ochistki na radiokhimicheskom proizvodstve [Experience in iodine retention system operation under radiochemical production conditions]. *Universum: khimiya i biologiya — Universum: chemistry and biology,* 2022, no. 12 (102). — URL: http//7universum.com/ru/nature/archive/item/14636 (accessed on: 12.03.2026).
5. Bondar I. A. et al. Issledovaniye fazovykh perekhodov v Al_2O_3. [Study of phase transitions in Al_2O_3]. Izvestiya AN SSSR. *Neorganicheskiye materialy — Bulletin of the USSR Academy of Sciences. Inorganic materials,* 1971, vol. 7, no. 8, pp. 1367—1371.
6. Stepanova O. V., Chukhlantseva Ye. V., Tatarnikova Yu. M., Stepanov S. V., Dzhevello K. A. Chemical and radiochemical analysis of spent sorbent from iodine adsorption columns of the Mayak PA plant. *J. Radiochem.,* 2025, vol. 67, no. 4, pp. 528—533. DOI: 10.1134/S1066362225040149.
7. Andryushin I. A., Yudin Yu. A. *Obzor problem obrashcheniya s radioaktivnymi otkhodami i otrabotavshim yadernym toplivom* [Review of Radioactive Waste and Spent Nuclear Fuel Management Issues]. Sarov, FSUE Russian Federal Nuclear Center — All-Russian Research Institute of Experimental Physics FSUE RFNC—VNNIEF, 2010. 138 p.
8. GOST R 51883-2002. *Otkhody radioaktivnyye tsementirovannyye. Obshchiye tekhnicheskiye trebovaniya* [Cemented radioacive waste. General technical requirements]. Moscow, VIPK Izdatel'stvo standartov Publ., 2002.
9. Istomin I. A. *Razrabotka i vnedreniye tekhnologii obrashcheniya s yodom-129 v protsesse pererabotki obluchennogo yadernogo topliva energeticheskikh reaktorov* [Development and implementation of an iodine-129 management method during the reprocessing of spent nuclear fuel from power reactors]. Cand. techn. sci. diss. Ozersk, FSUE PA Mayak Publ., 2003. 112 p.
10. *Press mobil'nyy ispytatel'nyy MIP-50E: rukovodstvo po ekspluatatsii NKIP.408272.100 RE* [MIP-50E Mobile Test Press: Operating Manual]. Research and Production Enterprise Interpribor.
11. GOST R 52126-2003. *Otkhody radioaktivnyye. Opredeleniye khimicheskoy ustoychivosti otverzhdennykh vysokoaktivnykh otkhodov metodom dlitel'nogo vyshchelachivaniya* [Radioactive waste. Long time leach testing o f solidified radioactive waste forms]. Moscow, IPK Izdatel'stvo standartov Publ., 2003.
12. Burger L. L., Scheele R. D., Wiemers K. D. Selection of a form for fixation of iodine-129. PNL – 4045, dec. 1981.

Information about the authors

Stepanov Sergey Viktorovich, Process Engineer of the Central Plant Laboratory, FSUE "PA "Mayak" (31, Lenin Ave., Ozersk, Chelyabinsk region, 456784, Russia), e-mail: cpl@po-mayak.ru.

Pashkovsky Roman Vladimirovich, Process Engineer of the Central Plant Laboratory, FSUE "PA "Mayak" (31, Lenin Ave., Ozersk, Chelyabinsk region, 456784, Russia), e-mail: romantike90@gmail.com.

Shaidullin Sergey Minullovich, PhD in Technical Sciences, Leading Process Engineer of the Central Plant Laboratory, FSUE "PA "Mayak" (31, Lenin Ave., Ozersk, Chelyabinsk region, 456784, Russia), e-mail: shaidullinsergey@gmail.com.

Kozlov Pavel Vasilyevich, PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Central Plant Laboratory, FSUE "PA "Mayak" (31, Lenin Ave., Ozersk, Chelyabinsk region, 456784, Russia), e-mail: kozlov_pavel@inbox.ru.

Bibliographic description

Stepanov S. V., Pashkovsky R. V., Shaidullin S. M., Kozlov P. V. Studying the Properties of Compacted Materials Containing ^{129}I as Conditioned Waste Forms for Disposal. *Radioactive Waste*, 2026, no. 3 (36), pp. 62—70. DOI: 10.25283/2587-9707-2026-3-62-70. (In Russian).