

КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ ГРУНТОВ И ИЛОВЫХ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ, СОДЕРЖАЩИХ РАДИОАКТИВНЫЕ ВЕЩЕСТВА

А. П. Варлаков¹, А. С. Баринов²

¹АО «Высокотехнологический научно-исследовательский институт неорганических материалов имени академика А. А. Бочвара», Москва

²Институт проблем безопасного развития атомной энергетики РАН, Москва

Статья поступила в редакцию 1 августа 2019 г.

В статье рассматриваются предложения по применению загрязненных радиоактивными веществами материалов, образующихся при выводе из эксплуатации объектов использования атомной энергии и дезактивации участков, подвергшихся радиоактивному загрязнению, как исходных компонентов, используемых при кондиционировании радиоактивных отходов. Приводятся результаты ранее выполненных исследований, направленных на поиск способов переработки и кондиционирования твердых радиоактивных отходов, представленных иловыми отложениями водоемов, а также почвами и грунтами. Обосновываются составы исходных смесей и характеристики получаемых продуктов, технологические параметры синтеза вяжущих материалов. Рассмотрены вопросы изучения фазообразования в процессах обжига сырьевых смесей и гидратации полученных материалов. Приведены основные технологические параметры процесса, представлены результаты переработки укрупненных партий отходов на стендовой установке. Исследованы свойства кондиционированных отходов.

Ключевые слова: радиоактивные отходы, иловые отложения, грунты, переработка грунтов, совместная переработка РАО.

В перечне мероприятий Федеральной целевой программы «Обеспечение ядерной и радиационной безопасности на 2016–2020 годы и на период до 2030 года» значительную часть составляют проекты по выводу из эксплуатации объектов использования атомной энергии и мероприятия, предусматривающие проведение дезактивации и реабилитации участков, имеющих радиоактивное загрязнение. В общем объеме радиоактивных отходов (РАО), образующихся при выполнении указанных работ, существенную долю, до 70–80%, составляют отходы, относящиеся к категории низкоактивных (НАО) и очень низкоактивных (ОНРАО). Как правило, эти образующиеся РАО представляют собой

строительные отходы, загрязненные грунты и иловые донные отложения [1]. Учитывая наращивание объемов работ по выводу из эксплуатации объектов использования атомной энергии, преимущественно в отношении объектов ядерного наследия, количество отходов такого вида в целом можно оценить в сотни тысяч кубических метров. Следует отметить, что образующиеся РАО будут принадлежать к различным классам, а также отличаться требованиями к их кондиционированию с целью приведения к критериям приемлемости для захоронения [2].

В отношении РАО, которые в соответствии с классификацией удаляемых РАО относятся к 3 классу [3], устанавливается требование к

захоронению их в стабильной устойчивой форме, т. е. заключенными в монолитную матрицу с использованием тех или иных матричных материалов и технологий. В настоящее время для этих целей наиболее часто применяется цементная матрица, которая обладает рядом технологических преимуществ (универсальность применения, простота подготовки и т. д.) и относительно низкой стоимостью компонентов [4].

Радиоактивные отходы, представленные загрязненными грунтами, почвами и иловыми отложениями, встречаются очень часто и довольно сложны при кондиционировании. В настоящее время для их переработки используются несколько методов:

- сепарация с выделением части отходов с максимальным содержанием загрязнения [5, 6];
- включение в различного рода матричные материалы, чаще всего в цементные [4].

Как показывает практика [5–7], методы, основанные на сепарации, наиболее эффективны по отношению к радиоактивно загрязненным песчанистым грунтам с небольшим содержанием мелкодисперсной фракции и в случаях, когда загрязнитель находится в жидкой фазе. Следует отметить, после обработки часть радиоактивного загрязнения остается на обрабатываемом материале, что может потребовать каких-либо специальных мероприятий по дальнейшему обращению с ним.

При включении подобных отходов в цементный компаунд существенно (в 1,5–2 раза) увеличиваются объемы кондиционированных РАО. Помимо этого, к росту объемов кондиционированных РАО на выводимых из эксплуатации объектах приводит необходимость отверждения накопленных и вновь образующихся жидких радиоактивных отходов (ЖРО), как правило, с применением метода цементирования.

Исходя из этих предпосылок, ранее был выполнен комплекс исследований по разработке способов совместной переработки предварительно

обработанных илов или грунтов, содержащих радиоактивные или токсичные вещества, и ЖРО низкого уровня активности [8–12]. Основой этих способов является предварительный обжиг материалов, в результате чего сокращается объем РАО, направляемых на захоронение. Это достигается за счет выгорания органической составляющей илов или грунтов с образованием удаляемых летучих компонентов, а их минеральная часть после обжига и размола образует вяжущий материал, обладающий способностью при затворении водными растворами твердеть с образованием цементного камня.

В процессе проведения работ были выполнены лабораторные исследования и проведена переработка укрупненных партий РАО на стендовой установке.

Лабораторные исследования проводились с целью изучения состава и характеристик илов, требующих переработки. При этом использовались различные по своему происхождению и химическому составу илы, имеющие различный уровень загрязнения и радионуклидный состав загрязнителей [9, 10]:

- ил, отобранный из технологических прудов-отстойников (илы № 1 и № 2);
- ил с полей фильтрации спецстоков промышленного предприятия, содержащий радиоактивные и токсичные вещества (ил № 3).

Илы имели следующие характеристики [10]:

- содержание органических компонентов в перерабатываемых илах 8–25 масс. %;
- содержание воды в перерабатываемых илах после вакуумного обезвоживания 15–20%;
- остаточная масса проб после прокаливания при 1000 °С, обезвоженных илов № 1 и № 2 составляла 52,5–55,0 %, ила № 3 – 30–32,5 %;
- удельная активность илов № 1 и № 2 составляла: по β -излучению $(1,8–9,5) \cdot 10^4$ Бк/кг, по α -излучению – $(9,6–55,0) \cdot 10^3$ Бк/кг, а ила № 3 – $1,2 \cdot 10^5$ и $1,0 \cdot 10^5$ Бк/кг соответственно;
- химический состав перерабатываемых илов приведен в табл. 1.

Таблица 1. Химический состав илов, масс. %

Проба	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	PbO	HgO	Cr ₂ O ₃	NiO	MnO ₂	Остаток
№ 1, № 2	10–12	60–62	11–13	8–10	2–4	2–3	2–4	не определялись				1,0–1,5	
№ 3	4–6	65–70	11–13	8–10	2–4	1–2	3–5	0,10–0,15	$1,5 \cdot 10^{-3}$	0,1–0,2	0,01	0,05–0,10	1,5–2,2

Исходя из состава и характеристик отходов, подлежащих переработке, оценивалась возможность приготовления на основе этих илов неорганического вяжущего материала, способного твердеть после взаимодействия с водой и водными растворами. В качестве требований, предъявляемых к

получаемому конечному продукту, принимались качественные и количественные показатели в соответствии с нормативными требованиями [13, 14].

Итак, в работах [9–12] рассмотрены два способа переработки илов, отличающихся друг от друга составом смеси, поступающей на

термообработку. Согласно первому способу (способ обжига), илы, содержащие радиоактивные или токсичные вещества, подвергали обжигу, после чего продукт размалывали, смешивали с портландцементом и затворяли водой для образования монолитного компаунда.

В результате исследований было установлено, что оптимальным для получения продукта с необходимыми свойствами является температурный диапазон от 700 до 1000 °С. При этой температуре происходит полное удаление из перерабатываемых илов свободной и химически

связанной воды, а также легколетучих органических компонентов. Продукт обжига размалывали до порошка с удельной поверхностью 1500—2500 см²/г. Для приготовления образцов размолотый материал смешивали с портландцементом при соотношении продукт/портландцемент 1:1, 2:1, 3:1, 5:1, 10:1 и 20:1. Полученную смесь затворяли дистиллированной водой при отношении вода/(цемент+продукт) по весу равном 0,4—0,5. Свойства получающихся при этом способе переработки конечных продуктов представлены в табл. 2.

Таблица 2. Свойства цементных компаундов, приготовленных на основе илов после их обжига, при соотношении вода/(обожженный ил + портландцемент) равном – 0,4

Масса ила после обжига (в процентах от массы исходного) *	Температура обжига °С	Отношение обожженный ил/портландцемент	Сроки схватывания, мин		Прочность на сжатие продукта (компаунда) после твердения, МПа				Отношение объема исходного ила** к объему отвержденного продукта
			начало	конец	на 7 сутки	на 14 сутки	на 28 сутки	на 56 сутки	
35,7	700	1	23,27	27,53	21,0	24,8	26,1	28,0	0,63
47,6	700	2	9,53	21,21	18,2	16,9	24,1	29,2	0,84
53,6	700	3	16,35	22,30	13,9	13,7	18,5	17,3	0,95
59,5	700	5	19,50	21,17	2,8	1,3	6,8	7,9	1,05
53,6	800	3	110,20	117,18	10,1	16,6	21,7	22,6	0,95
53,6	900	3	39,55	41,12	9,5	16,4	24,6	25,7	0,95
65,0	900	10	58,20	72,15	4,2	7,2	9,0	13,3	1,19
53,6	1000	3	36,40	38,40	11,1	12,2	24,0	23,6	0,99
59,5	1000	5	94,30	105,15	6,2	9,7	17,1	18,7	1,10

*Исходная масса ила после вакуумного обезвоживания.

**Исходный объем ила после вакуумного обезвоживания.

Как видно из приведенных данных, при соотношении ил/портландцемент равном 10 и ниже, был получен цементный компаунд, удовлетворяющий требованиям, предъявляемым к его прочностным характеристикам (не менее 5 МПа на 28 сутки твердения). При соотношении ил/портландцемент более 10 прочностные характеристики получаемых компаундов не соответствовали требованиям.

С целью оценки возможности использования такого материала для отверждения ЖРО, проводились эксперименты по получению цементных компаундов с использованием имитаторов ЖРО нитратно-натриевого состава с содержанием 100, 300, 500 и 700 г/л. Цементные компаунды получали при соотношении раствор/вяжущее в интервале от 0,4 до 0,8. В качестве критерия пригодности был выбран показатель прочности на сжатие. Результаты экспериментов демонстрируются рис. 1а, б, в. Как видно из приведенных результатов, при добавках цемента в количестве 20% смесь может использоваться для отверждения ЖРО с содержанием до

300—500 г/л при соотношении раствор/вяжущее 0,4—0,6.

При втором способе (способ синтеза) осуществлялось синтезирование щелочного вяжущего материала (ЩВМ) с использованием илов в качестве одного из его компонентов.

Сырьевая смесь для синтеза ЩВМ содержит две составляющие: солевую и минеральную. В качестве первой использовался сухой остаток жидких отходов АЭС (табл. 3), а в качестве минеральной составляющей — перерабатываемый ил.

Таблица 3. Среднее содержание основных компонентов в сухом остатке ЖРО (в масс. %)

Место образования	Содержание компонентов								
	Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺²	Fe ⁺³	H ₃ BO ₃	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	CO ₃ ²⁻	Cl ⁻
Курская АЭС	27,0	0,7	0,3	-	-	67,4	2,7	1,9	-
Мос НПО «Радон»	20,4	-	5,8	2,7	-	62,0	4,4	2,3	5,4
Нововоронежская АЭС	16,0	2,9	-	-	32,7	47,7	-	-	-

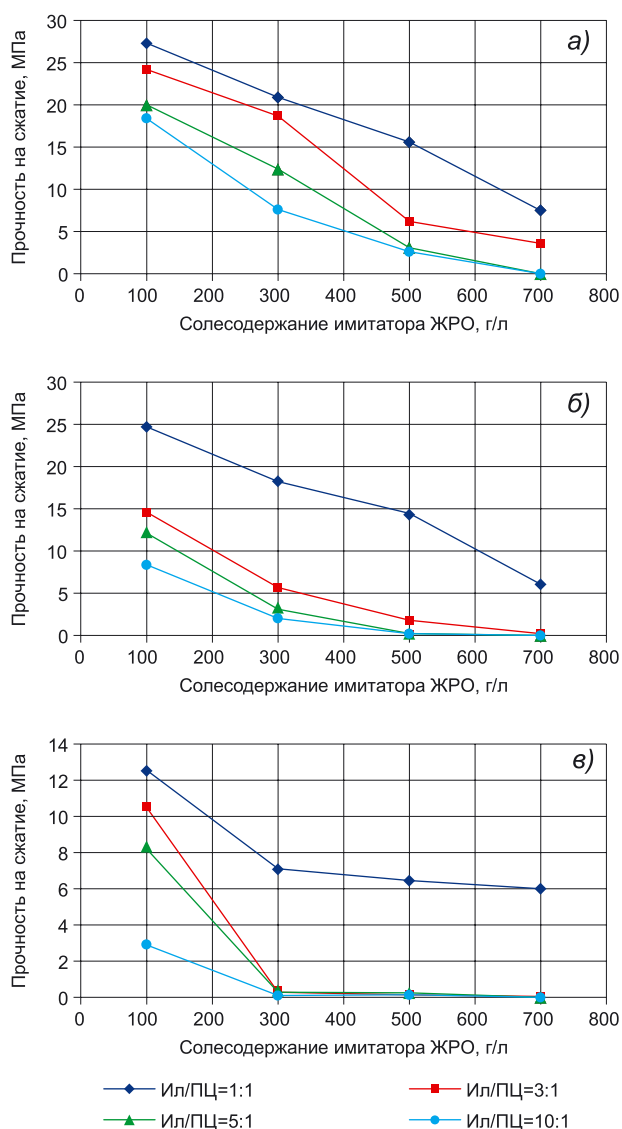


Рис. 1. Прочностные характеристики цементных компаундов на 28 сутки твердения, полученных при разных соотношениях P/V: а) P/V=0,4; б) P/V=0,6; в) P/V=0,8

В лабораторных условиях ЩВМ на основе радиоактивного ила синтезировали следующим способом. Ил смешивали с имитатором ЖРО и окисью алюминия (Al₂O₃). Имитатор ЖРО использовали как солевую составляющую, а ил и Al₂O₃ — как шихтующие добавки, содержащие необходимые для синтеза ЩВМ оксиды (SiO₂ и Al₂O₃). Смесь обжигали при температуре 850 °С (длительность изотермической выдержки при максимальной температуре составляла 1 час). Продукт обжига размалывали до порошка с удельной поверхностью 2500–3000 см²/г. Для приготовления образцов компаунда полученный цемент затворяли водой при отношении раствор/вяжущее (P/V), равном 0,3–0,6.

При проведении исследований по определению состава исходной сырьевой смеси и условий синтеза ЩВМ в качестве критерия пригодности

применялся регламентируемый [12] показатель прочности на сжатие.

Проведенные исследования показали, что содержание солевой составляющей в исходной смеси, предназначенной для синтеза ЩВМ, должно находиться в интервале 65–80 масс.%, оптимальными тепловыми параметрами процесса, определяющими завершенность процесса минералообразования (температура синтеза и длительности изотермической выдержки при максимальной температуре), являются температура около 900 °С и выдержка в течение 1 часа.

Установлено, что существуют две области химических составов сырьевых смесей, при которых прочность цементного камня, полученного при отверждении синтезированного ЩВМ, удовлетворяет требованиям, предъявляемым к цементным компаундам с ПАО. Состав сырьевой смеси в первой области: 64–80 масс.% солей ЖРО, 14–15 масс.% SiO₂ и 6–22 масс.% Al₂O₃; во второй содержание этих компонентов: 68–74, 20–25 и 6–8 масс.% соответственно.

По данным рентгенофазового и петрографического анализов основными минеральными фазами в этих областях был ортосиликат кальция 2CaO·SiO₂ в различных полиморфных формах, а именно: α_m-C₂S — бредигит, и в больших количествах β-C₂S — белит (ларнит). Также были обнаружены: Na₂O·CaO·SiO₂ — натриево-кальциевый силикат; Na₂O·Al₂O₃·2SiO₂ — корнегиит; 2CaO·Fe₂O₃ — C₂F — двухкальциевый феррит, в котором атомы Fe замещаются атомами Al, образуя ряд твердых растворов. В незначительных количествах присутствовал 2Na₂O·3CaO·3SiO₂.

Изучение продуктов гидратации ЩВМ показало, что на начальной стадии твердения (до 1 года) образуются цеолитные структуры типа гидрат-нефелина Na₂Al₂Si₂O₈·(4–6)H₂O, шабазита (Ca,Na)[AlSi₂O₆]₂·6H₂O. При дальнейшей гидратации в цементном камне в обычных условиях после 1 года обнаружены продукты взаимодействия типа анальцима Na[AlSi₂O₆]·H₂O и увеличение NaCa₂Al₆Si₃₂·13H₂O — алюмосиликата типа шабазита.

По окончании лабораторных исследований была проведена опытная переработка илов на опытно-промышленной установке. Установка состояла из туннельной муфельной электропечи, узлов загрузки и выгрузки и системы газоочистки.

Илы перерабатывали следующим образом:

- при переработке по способу обжига ил в поддонах по 0,5–1,0 кг помещался на конвейерную ленту туннельной муфельной электропечи. Перемещаясь по длине печи, материал обжигался при температуре 800–900 °С в течение

10–15 мин, после чего его размалывали в шаровой мельнице. Продукт помола перемещался в установку цементирования, где смешивался с цементом и водой при соотношениях продукт/портландцемент — 5/1 и вода/(цемент+продукт) — 2/5. Производительность процесса составляла 25 кг/ч.

- при переработке по способу синтеза радиоактивный ил смешивали с шихтуемыми добавками в компактной установке цементирования. Полученную сырьевую смесь в поддонах по 0,5–1,0 кг помещали на конвейерную ленту туннельной муфельной электропечи. Перемещаясь по длине печи, материал нагревался до температуры 1000 °С и обжигался при данной температуре 20–40 мин. Затем обожженный материал размалывали в шаровой мельнице до порошка с удельной поверхностью 2500–3000 см²/г. Синтезированный цемент смешивали с водой в установке цементирования при водоцементном отношении 0,3. Производительность печи составляла 25 кг/ч. Параметры синтеза были выбраны при поиске оптимальных областей составов сырьевых смесей. Результаты поиска показаны на рис. 2.

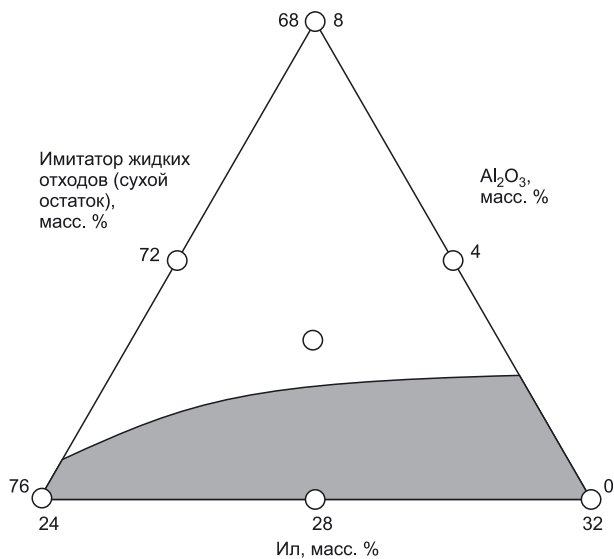


Рис. 2. Области составов сырьевых смесей для получения цементных компаундов

С учетом анализа результатов проведенных исследований можно сделать вывод, что оптимальной областью составов сырьевых смесей для синтеза щелочного материала, цементные компаунды на основе которых удовлетворяли бы критериям качества [3, 13, 14], является область, содержание основных компонентов в которой составляет, масс. %: имитатор жидких отходов — 68–76, ил — 24–32, Al₂O₃ — 0–2 (рис. 2).

В процессе переработки контролировался состав отходящих газов из печи и количество аэрозолей при помоле обожженного продукта. Унос радионуклидов при обжиге составил: ¹³⁷Cs — менее 1%, ²³⁸Pu — менее 1,4%, аэрозолей — менее 0,01%. Концентрация СО в отходящих газах составляла до 2500 мг/м³, концентрации NO_x, HCl и NH₃ были незначительны. Концентрация радионуклидов в конденсате в системе газоочистки и в воздухе при помоле обожженного продукта была ниже допустимого уровня.

Способом обжига было переработано 920 кг (0,613 м³) ила № 1 и 30 кг (0,023 м³) ила № 3, способом синтеза — 30 кг (0,02 м³) и 20 кг (0,015 м³) соответственно. Общий объем переработанных илов составил 0,671 м³. В результате переработки получено 0,37 м³ цементного монолита. Объем конечного продукта в 1,8 раз меньше объема исходного ила.

Полученные в результате переработки цементные материалы были подвергнуты испытаниям, цель которых заключалась в сравнении их свойств с допустимыми пределами критериев качества по:

- механической прочности (пределу прочности при сжатии);
- водостойчивости (скорости выщелачивания радионуклидов по ¹³⁷Cs);
- устойчивости к термическим циклам (морозостойкости);
- водостойкости (устойчивости к длительному пребыванию в воде);
- радиационной устойчивости.

Для снижения скорости выщелачивания цезия в смесь добавлялся бентонит в количестве 3 масс. %. Основные результаты этих испытаний приведены в табл. 4.

Таблица 4. Свойства цементных компаундов, полученных при опытной переработке илов

Способ переработки	Добавка бентонита, масс. %	Сроки схватывания (начало – конец) мин.	Прочность при сжатии МПа			Скорость выщелачивания г/см ² -сут	
			на 7 сутки	на 28 сутки	на 56 сутки	на 7 сутки	на 56 сутки
1	0	24–33	10,3	19,9	23,3	3,6·10 ⁻⁴	5,0·10 ⁻⁵
1	3	35–46	8,8	12,3	19,6	1,5·10 ⁻⁴	1,7·10 ⁻⁵
2	0	26–30	15,4	22,7	29,2	7,3·10 ⁻⁴	1,1·10 ⁻⁴
2	3	45–56	11,6	18,5	24,5	2,9·10 ⁻⁴	3,2·10 ⁻⁵

Выводы

В результате проведенных исследований разработаны способы переработки грунтов и илистых донных отложений, позволяющие получать твердый продукт (цементный компаунд) с характеристиками, удовлетворяющими нормативным требованиям. Причем объем продуктов переработки менее или не превышает начального объема РАО, что в 2–3 раза позволяет снизить их количество, направляемое на захоронение. При реализации способа синтеза щелочного вяжущего материала получается продукт, в составе которого связываются радионуклиды, содержащиеся в исходном сырье, и который можно использовать вместо портландцемента при кондиционировании различных ТРО и ЖРО, что позволяет увеличить коэффициент сокращения объема до 10 раз.

Резюмируя изложенное, можно утверждать, что способ совместной переработки радиоактивных отходов на централизованных пунктах и при снятии АЭС с эксплуатации, когда в одном месте имеются в наличии все компоненты, необходимые для синтеза щелочного вяжущего материала, обладает большой практической пользой.

Литература

1. Абалкина И. Л., Линге И. И., Панченко С. В. К вопросу образования и обращения с РАО при реабилитации загрязненных территорий // Радиоактивные отходы. 2018. № 1 (2). С. 7–14.
2. Ведерникова М. В., Иванов А. Ю., Линге И. И., Самойлов А. А. Оптимизация обращения с загрязненными материалами и РАО в пределах промышленных площадок // Радиоактивные отходы. 2019. № 2 (7). С. 6–17. DOI: 10.25283/2587-9707-2019-2-6-17.
3. Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии «Критерии приемлемости радиоактивных отходов для захоронения» (НП–093–14). — Утверждены Приказом Ростехнадзора от 15.12.2014 № 572. Москва, 2014. 43 с.
4. Соболев И. А., Хомчик Л. М. Обезвреживание радиоактивных отходов на централизованных пунктах. М.: Энергоатомиздат, 1983. 128 с.
5. Варлаков А. П., Германов А. В., Маряхин М. А., Варлакова Г. А., Удаляя М. В. Создание в АО «ВНИИИМ» мобильной установки очистки радиоактивно загрязненного грунта на основе технологии водно-гравитационного отделения мелкодисперсной фракции // Радиоактивные отходы. 2018. № 1 (2). С. 62–67.
6. Михайкин С. В. Очистка грунта методом гидро-сепарации // Безопасность окружающей среды. 2006. № 3. С. 48–50.
7. 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. Выпуск 3 (90). С. 100–107.
8. Соболев И. А., Дмитриев С. А., Баринов А. С., Варлаков А. П., Карлин С. В., Савельев В. Г., Абакумов А. В. Применение неорганического вяжущего материала на основе радиоактивных отходов // Атомная энергия. 1995. Т. 78. Вып. 5. С. 312–315.
9. Соболев И. А., Дмитриев С. А., Баринов А. С., Варлаков А. П., Карлин С. В. Применение вяжущего материала на основе радиоактивных грунтов, илов и жидких радиоактивных отходов // Вопросы материаловедения. 1997. № 5 (11). С. 74–79.
10. Sobolev I. A., Dmitriev S. A., Lifanov F. A., Varlakov A. P., Karlin S. V. Processing silts containing radioactive and toxic substances. [Эл. ресурс] // International Conference on Decommissioning and Decontamination and on Nuclear and Hazardous Waste Management, Spectrum'98. September 13–18, 1998, Denver, USA.
11. Barinov A. S., Lifanov F. A., Varlakov A. P., Karlin S. V., Chernozhshkin V. N. Synthesis of a binding material on the basis of solid and liquid radioactive wastes. [Эл. ресурс] // 7th International Conference on Radioactive Waste Management and Environmental Remediation, ICEM'99. Nagoya, Japan, September 26–30, 1999.
12. Varlakov A. P., Karlin S. V., Barinov A. S., Lifanov F. A., Chernozhshkin V. N. Cementing materials on the basis of radioactive silts and LRW of low and intermediate activity level. [Эл. ресурс] // The 8th International Conference on Radioactive Waste Management and Environmental Remediation, ICEM'01. September 30 – October 4, 2001. Bruges (Brugge), Belgium. Book of Abstracts.
13. Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии «Сбор, переработка, хранение и кондиционирование жидких радиоактивных отходов. Требования безопасности» (НП–019–15). — Утверждены Приказом Ростехнадзора от 25 июня 2015 г. № 242. 26 с.
14. ГОСТ Р 51883 – 2002. Отходы радиоактивные цементированные. Общие технические требования. М.: Госстандарт России: Изд-во стандартов. 2002.

Информация об авторах

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

Баринов Александр Сергеевич, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, Институт проблем безопасного развития атомной энергетики РАН (115191, Москва, Б. Тульская ул., д. 52), e-mail: barinov@ibrae.ac.ru.

Библиографическое описание статьи

Варлаков А. П., Баринов А. С. Кондиционирование грунтов и иловых донных отложений, содержащих радиоактивные вещества // Радиоактивные отходы. 2019. № 3(8). С. 61–68. DOI: 10.25283/2587-9707-2019-3-61-68.

CONDITIONING OF SOILS AND SILT BOTTOM SEDIMENTS, CONTAINING RADIOACTIVE MATERIALS

Varlakov A. P.¹, Barinov A. S.²

¹JSC «High-technology scientific research institute of inorganic materials named after A. A. Bochvar»,
Moscow, Russia

²Nuclear Safety Institute of RAS, Moscow, Russia

Article received on August 1, 2019

The paper presents some proposals on the use of radioactively contaminated materials generated from nuclear decommissioning and remediation of radioactively contaminated sites as initial components for radioactive waste immobilization. It presents the results of previous research on the development of processing and conditioning methods for solid radioactive waste present in the form of soils and silt bottom sediments in water bodies. The paper discusses the feasibility of applying certain composition of the initial mixtures and the characteristics of the obtained products, technological parameters of the binding materials synthesis. It overviews the studies on the phase formation under calcination of raw mixtures and hydration of produced materials. Considered are the key technological parameters of the process, the results of grand waste lots processing using a stand installation. Properties of conditioned waste have been studied as well.

Key words: radioactive waste, silt bottom sediments, soils, soil processing, co-processing of radioactive waste.

References

1. Abalkina I. L., Linge I. I., Panchenko S. V. K vo-
prosu obrazovaniya i obrashcheniya s RAO pri re-
abilitacii zagryaznennyh territorij [On the Issue of
Generation and Management of Radioactive Waste
from Remediation of Contaminated Territories].
Radioaktivnye othody — *Radioactive Waste*, 2018,
no. 1 (2), pp. 7–14.
2. Vedernikova M. V., Ivanov A. Yu., Linge I. I.,
Samoylov A. A. Optimizaciya obrashcheniya s
zagryaznennymi materialami i RAO v predelakh
promyshlennyh ploshchadok [Optimization of
contaminated materials and radioactive waste
management within industrial sites]. *Radioaktivnye
othody — Radioactive Waste*, 2019, no. 2 (7), pp. 6–17.
DOI: 10.25283/2587-9707-2019-2-6-17.
3. NP-093-14 Federal'nye normy i pravila. Krite-
rii priemlemosti radioaktivnyh othodov dlya zaho-
roneniya [Federal Standards and Rules in the Field
of Atomic Energy. Criteria for Accepting Radioactive
Waste for Disposal]. Moscow, 2014. 43 p.
4. Sobolev I. A., Khomchik L. M. *Obezvrezhivanie
radioaktivnyh othodov na centralizovannyh punktah*

- [Neutralization of radioactive waste at centralized points]. Energoatomizdat, 1983, 128 p.
5. Varlakov A. P., Germanov A. V., Mariakhin M. A., Varlakova G. A., Udalaya M. V. Sozdanie v AO "VNI-INM" mobil'noj ustanovki oчитки radioaktivno zagryaznennogo grunta na osnove tekhnologii vodno-gravitacionnogo otdeleniya melkodispersnoj frakcii [The Establishment of Mobile Installation for Contaminated Soil Treatment Based on the Technology of Hydro-Gravity Separation of Fine Fraction in "VNIINM"]. *Radioaktivnye othody — Radioactive Waste*, 2018, no. 1 (2), pp. 62–67.
6. Mikheykin S. V. Oчитка grunta metodom gidro-separacii [Soil washing by hydroseparation method]. *Bezopasnost' okruzhayushchej sredy — Environmental safety*, 2006, no. 3, pp. 48–50.
7. Varlakov A. P., Germanov A. V., Mariakhin M. A., Varlakova G. A. Razrabotka tekhnologii dezaktivacii radioaktivno zagryaznennyh gruntov i ustanovki dlya ee realizacii [Development of technology for deactivation of radioactively contaminated soils and installation for its implementation]. *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.
8. Sobolev I. A., Dmitriev S. A., Barinov A. S., Varlakov A. P., Karlin S. V., Savelyev V. G., Abakumov A. V. Primenenie neorganicheskogo vyazhushchego materiala na osnove radioaktivnyh othodov [The implementation of inorganic binding material based on radioactive waste]. *Atomnaya energiya — Atomic Energy*, 1995, vol. 78, no. 5, pp. 312–315.
9. Sobolev I. A., Dmitriev S. A., Barinov A. S., Varlakov A. P., Karlin S. V. Primenenie vyazhushchego materiala na osnove radioaktivnyh gruntov, ilov i zhidkih radioaktivnyh othodov [The implementation of inorganic binding material based on radioactive contaminated soils, silts and liquid radioactive waste]. *Voprosy materialovedeniya — Material Science Issues*, 1997, no. 5 (11), pp. 74–79.
10. Sobolev I. A., Dmitriev S. A., Lifanov F. A., Varlakov A. P., Karlin S. V. Processing silts containing radioactive and toxic substances. *International Conference on Decommissioning and Decontamination and on Nuclear and Hazardous Waste Management*, Spectrum'98, September 13–18, 1998, Denver, USA.
11. Barinov A. S., Lifanov F. A., Varlakov A. P., Karlin S. V., Chernonozhkin V. N. Synthesis of a binding material on the basis of solid and liquid radioactive wastes. *7th International Conference on Radioactive Waste Management and Environmental Remediation*, ICEM'99. Nagoya, Japan, September 26–30, 1999.
12. Varlakov A. P., Karlin S. V., Barinov A. S., Lifanov F. A., Chernonozhkin V. N. Cementing materials on the basis of radioactive silts and LRW of low and intermediate activity level. *The 8th International Conference on Radioactive Waste Management and Environmental Remediation*, ICEM'01. September 30 – October 4, 2001. Bruges (Brugge), Belgium. Book of Abstracts.
13. Federal'nye norma i pravila. Sbor, pererabotka, hranenie i kondicionirovanie zhidkih radioaktivnyh othodov. Trebovaniya bezopasnosti (NP–019–15) [Federal Standards and Rules in the Field of Atomic Energy. Collection, processing, storage and conditioning of liquid radioactive waste. Safety requirement] (NP–019–15). Moscow, 2014. 26 p.
14. GOST R 51883–2002. Othody radioaktivnye cementirovannye. Obshchie tekhnicheskie trebovaniya. [State Standard 51883–2002 Cemented radioactive waste. General technical requirements]. Moscow, Standartinform Publ., 2002. 7 p.

Information about the authors

Varlakov Andrej Petrovich, Doctor of Sciences, Director of Department, JSC "High-technology scientific research institute of inorganic materials named after A. A. Bochvar" (5a, Rogova St., Moscow, 123098, Russia), e-mail: APVarlakov@bochvar.ru.

Barinov Aleksandr Sergeevich, PhD, Senior Researcher, Nuclear Safety Institute of the Russian Academy of Sciences (52, Bolshaya Tulsкая, Moscow, 115191, Russia), e-mail: barinov@ibrae.ac.ru.

Bibliographic description

Varlakov A. P., Barinov A. S. Conditioning of soils and silt bottom sediments, containing radioactive materials. *Radioactive waste*, 2019, no 3 (8), pp. 61–68. DOI: 10.25283/2587-9707-2019-3-61-68. (In Russian).