

СОЗДАНИЕ В АО «ВНИИНМ» МОБИЛЬНОЙ УСТАНОВКИ ОЧИСТКИ РАДИОАКТИВНО ЗАГРЯЗНЕННОГО ГРУНТА НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИИ ВОДНО-ГРАВИТАЦИОННОГО ОТДЕЛЕНИЯ МЕЛКОДИСПЕРСНОЙ ФРАКЦИИ

А. П. Варлаков¹, А. В. Германов¹, М. А. Маряхин¹, Г. А. Варлакова¹, М. В. Удаляя²

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

²Госкорпорация «Росатом», Москва

Статья поступила в редакцию 12 декабря 2017 г.

В статье содержится описание мобильной установки очистки радиоактивно загрязненного грунта методом гидросепарации, приведены результаты опытно-промышленной дезактивации радиоактивно загрязненных грунтов, полученных при ликвидации участков радиоактивного загрязнения на территории АО «ВНИИНМ», и результаты лабораторных испытаний технологии очистки грунта АО «АЭХК» методом гидросепарации на опытном стенде. Результаты испытаний установки и технологии могут быть использованы для оценки эффективности очистки РЗГ категории ОНАО методом гидросепарации.

Ключевые слова: радиоактивно загрязненный грунт, гидросепарация, мобильная установка, мелкодисперсная фракция, коэффициент очистки.

При выводе из эксплуатации различных ядерно и радиационно опасных объектов, как правило, образуются значительные объемы радиоактивно загрязненного грунта (РЗГ) [1, 2]. Грунты различаются по своим физико-химическим и радиационным характеристикам. К типичным особенностям всех радиоактивно загрязненных грунтов можно отнести, во-первых, загрязнение радионуклидами с большим периодом полураспада, в связи с чем грунт может быть потенциально опасным длительное время. Во-вторых, большое количество радиоактивно загрязненного грунта имеет уровень удельной активности радионуклидов ниже критерия отнесения к категории радиоактивных отходов [3], но представляет собой материал категории ограниченного использования, загрязненный техногенными радионуклидами, и требует специального обращения в соответствии с государственными нормативами.

Работы по удалению значительных объемов грунта связаны с большими финансовыми расходами, поэтому рационально радиоактивно загрязненный грунт подвергать очистке в месте его образования.

Для дезактивации РЗГ следует применять технологии и оборудование с учетом природы и активности радионуклидов, характера распределения их в грунте и присущих им физико-химических свойств. При выборе технологии очистки необходимо учитывать следующие положения:

- минимизация эксплуатационных затрат при реализации технологического процесса;
- минимизация объема образующихся вторичных радиоактивных отходов и расходов на последующее обращение с ними.

Одним из наиболее распространенных методов очистки РЗГ является метод водно-гравитационного отделения мелкодисперсной фракции (гидросепарация) [4, 5]. До 80% загрязняющих веществ сосредоточено в мелкодисперсной фракции с размером частиц менее 150 мкм, массовая доля которой не превышает 20%. Удаление мелкодисперсной фракции значительно снижает загрязнение грунта в целом. Загрязненная часть грунта подлежит сгущению, обезвоживанию и хранению в виде отходов. Водные растворы являются оборотными и используются многократно.

Технологический процесс, основанный на методе гидросепарации, представляет собой последовательность стадий: диспергирование грунта в водной среде, разделение на гравийную и песчаную составляющие, разделение песчаной составляющей на фракции по размеру частиц, выделение наиболее загрязненной мелкодисперсной фракции, кондиционирование вторичных продуктов очистки.

В АО «ВНИИИМ» актуально решение вопроса обращения с РЗГ, так как при выводе из эксплуатации ядерно и радиационно опасных объектов ожидается образование до 3000 м³ грунта категории ограниченного использования, загрязненного техногенными радионуклидами.

В 2010–2012 гг. в АО «ВНИИИМ» проводились работы по ликвидации участков радиоактивно загрязненного (УРЗ), в результате чего образовалось 71,9 м³ РЗГ.

Проблемы с удалением и очисткой грунта есть не только в АО «ВНИИИМ». Например, в настоящее время в ПАО «МСЗ» и на сублиматном производстве (СП) АО «АЭХК» планируются масштабные работы по реабилитации территорий, в результате которых будут образовываться большие объемы РЗГ.

С целью решения проблемы обращения с РЗГ и отработки технологии их дезактивации в АО «ВНИИИМ» создана мобильная установка очистки РЗГ методом гидросепарации.

Создание мобильной установки очистки РЗГ

При разработке конструкции установки очистки РЗГ был учтен опыт применения метода гидросепарации на других предприятиях [4–6]. К преимуществам установки очистки РЗГ АО «ВНИИИМ» можно отнести:

- модульность, что позволяет транспортировать оборудование установки автотранспортом к местам образования РЗГ с последующим монтажом на подготовленной площадке;
- высокий уровень автоматизации технологического процесса;
- использование в конструкции установки стандартного оборудования.

Установка очистки РЗГ представляет собой комплекс из шести модулей (модуль скруббера, модуль классификатора, модуль с контактными чанами, модуль сгустителя, модуль с фильтром, модуль цементирования кека, вспомогательное оборудование), которые обеспечивают:

- дезактивацию загрязненных грунтов посредством выделения и удаления мелкодисперсной фракции методом гравитационного разделения в водной среде;
- очистку водно-почвенных пульп;
- извлечение и удаление мелкодисперсной твердой фракции и возврат очищенной воды в технологический цикл;

- получение стабильного по характеристикам продукта очистки и вторичных отходов в компактной форме.

Модули установки размещаются во временном сооружении на участке площадью 150 м², производительность установки по грунту — до 1000 кг/ч, установленная мощность — 50 кВт. Временное сооружение обеспечено системами радиационного контроля, локальной спецвентиляции, водоснабжения и водоотведения, инженерного оборудования.

Работа установки

Процесс очистки РЗГ на модульной установке заключается в последовательном выполнении технологических операций.

На решетке бункера загрузки, куда первоначально поступает грунт, происходит отделение фракции размером более 100 мм, которая удаляется с решетки в оборотный контейнер. По транспортеру загрузки оставшийся грунт поступает в модуль скруббер-бутары, смешивается с оборотной водой. В скруббере происходит дезинтеграция грунта, а в бутаре разделение на фракции размером от 3 до 100 мм и менее 3 мм.

Выгрузка гравийной фракции грунта размером от 3 до 100 мм из модуля скруббер-бутары в оборотный контейнер осуществляется с помощью ленточного транспортера. Песок размером менее 3 мм вместе с мелкодисперсной фракцией и оборотной водой (пульпа) накапливается в бункере и насосом перекачивается в модуль классификатора.

В спиральном классификаторе происходит водно-гравитационное разделение грунта на две фракции: размером от 0,15 до 3 мм и размером менее 0,15 мм. Пульпа с мелкодисперсной фракцией переливом поступает в емкость сбора, а песок промывается, обезвоживается и выгружается из модуля ленточным транспортером в оборотный контейнер.

Пульпа мелкодисперсной фракции (размер частиц менее 0,15 мм) подается насосом в модуль контактной емкости с мешалкой, смешивается с раствором флокулянта и насосом передается в модуль сгустителя непрерывного действия. В сгустителе происходит осветление оборотной воды и уплотнение осадка. Обратная вода накапливается в емкости и участвует в цикле очистки непрерывно. Уплотненный осадок мелкодисперсной фракции насосом перекачивается в модуль с ленточным фильтр-прессом, где обезвоживается до состояния влажного кека, который может быть отвержден в модуле цементирования.

Измерения радиационных характеристик РЗГ и фракций грунта после очистки проводятся на спектрометрическом измерительном комплексе.

Опытные испытания установки очистки РЗГ в АО «ВНИИНМ»

В 2017 году на установке очистки РЗГ была проведена опытная дезактивация 71,9 м³ РЗГ, содержащих радионуклид Cs-137, извлеченных

ранее при ликвидации УРЗ на территории АО «ВНИИНМ».

В ходе опытных испытаний технологии и оборудования были выделены основные продукты переработки РЗГ (рис. 1). Результаты испытаний представлены в табл. 1.



Рис. 1. Выгрузка продуктов переработки: а) из модуля скруббера фракции с размером частиц более 3 мм; б) из модуля классификатора фракции с размером частиц 0,15–3 мм; в) из модуля фильтр-пресса фракции с размером частиц менее 0,15 мм

Таблица 1. Результаты испытаний мобильной установки очистки РЗГ

Параметр	Ед. изм.	РЗГ	Продукты очистки РЗГ			Коэффициент сокращения объема	Коэффициент очистки
			гравий, >3 мм	песок, от 0,15 до 3 мм	кек, <0,15 мм		
Количество	% объем.	100	18,9	63,3	17,8	5,6	-
	м ³	71,9	13,6	45,5	12,8		
Активность Cs-137	%	100	7	11	82	-	4,8
	Бк/кг	370	79	75	1660		

Удельная активность Cs-137 в поступающем на очистку РЗГ составляла в среднем 370 Бк/кг. В выделенных на установке фракциях грунта с размером частиц более 3 мм (гравий) и от 0,15 до 3 мм (песок) удельная активность составила в среднем 79 и 75 Бк/кг соответственно. Удельная активность в мелкодисперсной фракции с размером частиц менее 0,15 мм (кек) составила в среднем 1660 Бк/кг. После отделения наиболее загрязненной мелкодисперсной фракции коэффициент очистки грунта от радионуклида Cs-137 равен в среднем 5.

Содержание мелкодисперсной фракции в РЗГ определяет количество (конечный объем) вторичных отходов (кека). В результате опытной очистки из 71,9 м³ РЗГ выделено 12,8 м³ мелкодисперсной фракции. Таким образом, объем

сократился в 5,6 раз. Результаты опытной переработки 71,9 м³ РЗГ показали соответствие технологических параметров очистки применяемому методу гидросепарации.

Лабораторный стенд очистки РЗГ

Параметры установки и технологического процесса очистки методом гидросепарации должны уточняться в зависимости от особенностей загрязненного грунта (в том числе радионуклидного и гранулометрического состава), для чего необходимо проводить предварительные исследования свойств грунта и отработку технологии на пробах небольшого объема. Исходя из этого, для разработки и испытания технологии очистки грунта СП АО «АЭХК» был



Рис. 2. Лабораторный стенд очистки РЗГ методом гидросепарации

разработан, изготовлен и испытан лабораторный стенд (рис. 2).

В состав основного оборудования лабораторного стенда входят смеситель, классификатор, сгуститель непрерывного действия, фильтровальная вакуумная ячейка. К вспомогательному оборудованию и устройствам относятся блок промывки, трубопроводы, соединительные элементы, запорная арматура, насосы, емкости для сбора выводимых из процесса материалов. Производительность лабораторного стенда не более 5 кг/ч по грунту. Характеристики основного оборудования стенда подобраны в соответствии со стадиями очистки полномасштабной модульной установки очистки грунта методом гидросепарации АО «ВНИИИМ», что позволило обеспечить технологические параметры процесса гидросепарации близкие реальным.

На лабораторном стенде проведены эксперименты по очистке грунта СП АО «АЭХК», загрязненного преимущественно радионуклидами урана, методом гидросепарации. Пробы №№ 1, 2 и 3 по 15 кг каждая, отличались содержанием мелкодисперсной фракции размером частиц менее 0,1 мм: 45–60% (масс.), 35–45% (масс.) и менее 35 % (масс.).

В результате очистки методом гидросепарации выделено четыре продукта очистки радиоактивно загрязненного грунта в виде:

- фракции с размером частиц менее 0,05 мм (кек с влажностью 60%);
- фракции с размерами частиц от 0,05 мм до 0,7 мм (фракция с наименьшей удельной активностью радионуклидов);
- фракции с размером частиц более 0,7 мм (песок, содержащий гравий);
- оборотной воды с содержанием частиц грунта не более 150 мг/л.

Как показали исследования радиационных характеристик продуктов очистки, около 70% радионуклидов концентрируются во фракции с размером частиц более 0,7 мм и фракции с размером частиц менее 0,05 мм, составляющих до 18 и до 29% мас. от исходного грунта соответственно. Коэффициент очистки РЗГ зависит от содержания мелкодисперсной фракции и равен для различных радионуклидов от 2 до 4. Коэффициент сокращения объема для РЗГ СП АО «АЭХК» равен в среднем 3. Данные по испытаниям на стенде приведены в табл. 2.

Суммарная удельная активность основных загрязняющих радионуклидов в очищенной фракции составляет величину менее 300 Бк/кг, что позволяет освободить материалы от радиационного контроля [7].

В целом опытные испытания очистки радиоактивно загрязненного грунта методом гидросепарации на лабораторном стенде показали работоспособность предложенной технологии и позволили определить

Таблица 2. Результаты испытаний грунта СП АО «АЭХК» методом гидросепарации на лабораторном стенде

Проба №	Параметр	Ед. изм.	РЗГ	Фракция с размером частиц, мм			Коэффициент очистки	Коэффициент сокращения объема
				>0,7	от 0,05 до 0,7	<0,05		
1	Гранулометрический состав	%	–	11,2	58,8	28,9	–	2,5
	Удельная активность U-238	Бк/кг	270	630	140	400	1,9	–
2	Гранулометрический состав	%	–	14,8	66,7	18,6	–	3,0
	Удельная активность U-238	Бк/кг	290	220	130	330	2,2	–
3	Гранулометрический состав	%	–	17,5	66,1	14,3	–	3,1
	Удельная активность U-238	Бк/кг	320	550	90	770	3,5	–

технологические параметры и показатели эффективности технологии очистки радиоактивно загрязненного грунта СП АО «АЭХК» методом гидросепарации.

В настоящее время на установке АО «ВНИИНМ» продолжаются испытания по дезактивации РЗГ СП АО «АЭХК» методом гидросепарации для подтверждения эффективности технологии.

Выводы

В АО «ВНИИНМ» создана модульная мобильная установка очистки РЗГ методом гидросепарации, на которой в результате опытной переработки РЗГ с УРЗ АО «ВНИИНМ» был сокращен объем РЗГ в 5,6 раз, а также показано соответствие технологических параметров очистки применяемому методу гидросепарации и технических характеристик оборудования проектным значениям.

Минимальные эксплуатационные затраты на технологический процесс очистки и применение стандартного оборудования дают возможность проводить очистку РЗГ на мобильной установке на месте их образования.

Испытания на лабораторном стенде очистки РЗГ СП АО «АЭХК» методом гидросепарации показали эффективность применения данной технологии и позволили перейти к испытаниям технологии очистки РЗГ СП АО «АЭХК» в опытно-промышленном масштабе на модульной установке АО «ВНИИНМ». По предварительным данным лабораторных испытаний, характеристики технологического процесса дезактивации РЗГ СП АО «АЭХК» категории ограниченного использования могут быть использованы для оценки очистки грунта категории ОНАО.

Литература

1. Проблемы ядерного наследия и пути их решения: в 2 т. / Под общей ред. Е. В. Евстратова, А. М. Агапова, Н. П. Лаверова, Л. А. Большова, И. И. Линге. — Т. 1. — М.: «Энергоатоманалитика». — 2010. — 376 с.
2. Степеннов Д. Б., Стрижакова Е. Р., Васильева Г. К. Проблемы рекультивации земель, загрязненных радионуклидами и другими техногенными загрязнителями, в пунктах временного хранения ОЯТ и РАО. / Сборник трудов XI международного экологического симпозиума «Урал атомный — Урал промышленный». — Екатеринбург: Институт промышленной экологии. — 2006. — С. 301—302.
3. Постановление Правительства Российской Федерации «О критериях отнесения твердых, жидких и газообразных отходов к радиоактивным отходам» от 19 октября 2012 г. № 1069.
4. Волков В. Г. Обращение с радиоактивными отходами при реабилитации загрязненных объектов и территорий КирОВО-Чепецкого химического комбината / В. Г. Волков, В. И. Павленко, А. В. Чесноков, А. Э. Арустамов // Атомная энергия. — 2009. — Т. 107. — Вып. 4. — С. 231—235.
5. Велихов Е. П. Реабилитация радиоактивно загрязненных объектов и территории РНЦ «Курчатовский институт» / Е. П. Велихов, Н. Н. Пономарев-Степной, В. Г. Волков, Г. Г. Городецкий и др. // Атомная энергия. — 2007. — Т. 102. — Вып. 5. — С. 300—306.
6. Михайкин С. В. Очистка грунта методом гидросепарации // Безопасность окружающей среды. — 2006. — № 3. — С. 48—50.
7. СП 2.6.6.2572-2010 Санитарные правила «Обеспечение радиационной безопасности при обращении с промышленными отходами атомных станций, содержащими техногенные радионуклиды».

Информация об авторах

Варлаков Андрей Петрович, доктор технических наук, директор отделения, АО Высотехнологический научно-исследовательский институт им. академика А. А. Бочвара (123060, Москва, а/я 369), e-mail: APVarlakov@bochvar.ru.

Варлакова Галина Андреевна, кандидат технических наук, главный специалист, АО Высотехнологический научно-исследовательский институт им. академика А. А. Бочвара (123060, Москва, а/я 369), e-mail: varlakova@inbox.ru.

Германов Александр Владимирович, кандидат технических наук, начальник отдела, АО Высотехнологический научно-исследовательский институт им. академика А. А. Бочвара (123060, Москва, а/я 369), e-mail: AVGermanov@bochvar.ru.

Маряхин Михаил Андреевич, ведущий эксперт, АО Высотехнологический научно-исследовательский институт им. академика А. А. Бочвара (123060, Москва, а/я 369), e-mail: mmar82@mail.ru.

Удалая Маргарита Владимировна, главный специалист, Госкорпорация «Росатом» (119017, Москва, ул. Большая Ордынка, 24) e-mail: MVUdalaya@rosatom.ru.

Библиографическое описание данной статьи

Варлаков А. П., Германов А. В., Маряхин М. А., Варлакова Г. А., Удалая 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.

THE ESTABLISHMENT OF MOBILE INSTALLATION FOR CONTAMINATED SOIL TREATMENT BASED ON THE TECHNOLOGY OF HYDRO-GRAVITY SEPARATION OF FINE FRACTION IN «VNIINM»

A. P. Varlakov¹, A. V. Germanov¹, M. A. Mariakhin¹, G. A. Varlakova¹, M. V. Udalaya²

¹JCS «High-technology scientific research institute of inorganic materials named after A.A. Bochvar», Moscow, Russian Federation

²State Corporation «Rosatom», Moscow, Russian Federation

Article received 12 December 2017

The article contains the description of the mobile installation for the treatment of radioactive contaminated soil by the method of hydroseparation, as well the results of laboratory and pilot decontamination tests of soils formed at the elimination of radioactive contamination areas on the territory of "VNIINM".

The results of installation and technology tests can be used for the estimation of the hydroseparation method efficiency for decontamination of low level activity soil waste.

Keywords: *radioactively contaminated soil, hydroseparation method, mobile installation, fine fraction, decontamination factor.*

References

1. Problems of nuclear legacy and ways of their solution: in 2 vol. / Edited by E. V. Evstratov, A. M. Agapov, N. P. Laverov, L. A. Bolshov, I. I. Linge. — Moscow: «Energoatomanalitika», 2012, vol. 1, 356 p.
2. *Stepennov D. B., Strizhakova E. R., Vasileva G. K.* Problems of recultivation of lands contaminated with radionuclides and other anthropogenic pollutants, temporary storage of SNF and RW. Proceedings of the XI International Symposium «Ural Atomic, Ural Industrial» — Ekaterinburg: Institute of industrial ecology, 2006, p. 301—302.
3. Government regulation of the Russian Federation «On criteria for classifying solid, liquid and gaseous waste to radioactive waste» dated 19 October 2012, № 1069.
4. *Volkov V. G.* Handling radwastes during rehabilitation of contaminated objects and grounds of the Kirovo-Chepetsk Chemical Works / Volkov V. G., Pavlenko V. I., Chesnokov A. V., Arustamov A. E. Atomic Energy, 2009, vol. 107, no 4, pp 284—289.
5. *Velikhov E. P.* Rehabilitation of the radioactively contaminated objects and territory of the Russian Science Center Kurchatov Institute / E. P. Velikhov, N. N. Ponomarev-Stepnoi, V. G. Volkov, G. G. Gorodetskii and another. Atomic Energy, 2007, vol. 102, no 5, pp. 375—381.
6. *Mikheikin S. V.* Soil decontamination by hydroseparation. Environmental Safety, 2006, no 3, pp 48—50.
7. SP 2.6.6.2572-2010 Sanitary Rules «Radiation safety in handling industrial wastes of nuclear stations containing technogenic radionuclides».

Information about the authors

Varlakov Andrej Petrovich, Doctor of Sciences; Director of Department, JCS «Hi ientific research institute of inorganic materials named after A. A. Bochvar» (369, Moscow, 123060), e-mail: APVarlakov@bochvar.ru.

Varlakova Galina Andreevna, PhD; Main Specialist, JCS «Hi ientific research institute of inorganic materials named after A. A. Bochvar» (369, Moscow, Russia, 123060), e-mail: varlakova@inbox.ru.

Germanov Aleksandr Vladimirovich, PhD; Head of Depatment, JCS «Hi ientific research institute of inorganic materials named after A. A. Bochvar» (369, Moscow, Russia, 123060), e-mail: AVGermanov@bochvar.ru.

Mariakhin Mihail Andreevich, Lead Expert, JCS «Hi ientific research institute of inorganic materials named after A. A. Bochvar» (369, Moscow, Russia, 123060), e-mail: mmar82@mail.ru.

Udalaya Margarita Vladimirovna, Main Specialist, State Corporation «Rosatom» (24, Bolshaya Ordynka st., Moscow, Russia, 119017), e-mail: MVUdalaya@rosatom.ru.

Bibliographic description

Varlakov A. P., Germanov A. V., Mariakhin M. A., Varlakova G. A., Udalaya M. V. The Establishment of Mobile Installation for Contaminated Soil Treatment Based on the Technology of Hydro-Gravity Separation of Fine Fraction in «VNIINM». Radioactive waste, 2018, no 1 (2), pp. 62—67 (In Russian).