

ТЕХНОЛОГИЯ ДЕЗАКТИВАЦИИ РАДИОАКТИВНО ЗАГРЯЗНЕННОГО ГРУНТА

А.П.Варлаков, А.В.Германов, М.А.Маряхин, Г.А.Варлакова,
АО "Высокотехнологический научно-исследовательский
институт неорганических материалов"
APVarlakov@bochvar.ru

УДК 504.054; ВАК 03.02.08

Изложены результаты разработки технологии дезактивации радиоактивно загрязненных грунтов, образующихся при выводе из эксплуатации объектов ядерного наследия, представлены этапы создания, принцип работы и результаты испытаний установки очистки радиоактивно загрязненного грунта методом гидросепарации.

В прошлом веке во времена стремительного развития атомной энергетики и разработки ядерного оружия были созданы объекты инфраструктуры, включающие производственные корпуса и здания, а также площадки с расположенным на них сооружениями, служившими для опытного хранения/захоронения веществ, содержащих техногенные радионуклиды. Эти объекты вместе с загрязненными в результате утечек/сбросов опасных веществ слоями почвы, составляют сегодня объекты ядерного наследия. При выводе из эксплуатации таких ядерно-и радиационно-опасных объектов (ЯРОО), как правило, образуются значительные объемы радиоактивно загрязненного грунта (РЗГ) [1, 2].

Грунты площадок различны по структуре и могут быть загрязнены различными радионуклидами. РЗГ загрязнен преимущественно радионуклидами с большим периодом полураспада, вследствие чего он может быть потенциально опасным длительное время. В соответствии с государственными нормативами большое количество РЗГ имеет уровень удельной активности радионуклидов ниже критерия отнесения материалов к категории радиоактивных отходов [3], но принадлежит категории материалов ограниченного использования, обращение с которыми требует обоснования радиационной безопасности для персонала и населения. При реабилитации промышленных территорий ЯРОО радиоактивно загрязненный грунт подлежит удалению, поскольку загрязненные территории характеризуются значительным превышением доз внешнего и внутреннего облучения.

Альтернативой перемещению и захоронению всего объема РЗГ является его частичная дезактивация – снижение уровня удельной активности до уровня допустимого санитарными нормами.

Для дезактивации (очистки) РЗГ целесообразно применять технологии и оборудование с учетом природы и актив-

ности радионуклидов, характера распределения их в грунте и присущих им физико-химических свойств. При выборе технологии очистки следует учитывать следующие положения:

- положительный опыт практического использования технологии, зарекомендовавшей себя в качестве надежной и эффективной;
- минимизация эксплуатационных затрат при реализации технологического процесса;
- минимизация объема образующихся вторичных радиоактивных отходов и расходов на последующее обращение с ними.

Технология дезактивации РЗГ должна быть реализована на специализированном оборудовании, размещаемом на реабилитируемой территории, то есть на месте образования РЗГ.

В настоящее время ожидается образование большого количества РЗГ при выводе из эксплуатации объектов АО "ВНИИНМ", ПАО "МСЗ", а также при проведении масштабных работ по реабилитации территории на сублимационном производстве АО "АЭХК".

Одним из наиболее распространенных методов дезактивации РЗГ является метод гидросепарации, внедренный на ряде предприятий атомной отрасли. Метод гидросепарации можно считать универсальным и пригодным для очистки различных грунтов [4–6]. При реабилитации территории, содержащей РЗГ, проводятся следующие мероприятия: снятие верхнего слоя почвы, отделение крупных включений (размером более 100 мм), диспергирование грунта в водной среде, разделение смеси на гравийную и песчаную составляющие, классификацию песчаной составляющей на фракции по размеру частиц методом гидросепарации, выделение, концентрирование и обезвоживание наиболее загрязненной мелкодисперсной фракции, кондициониро-

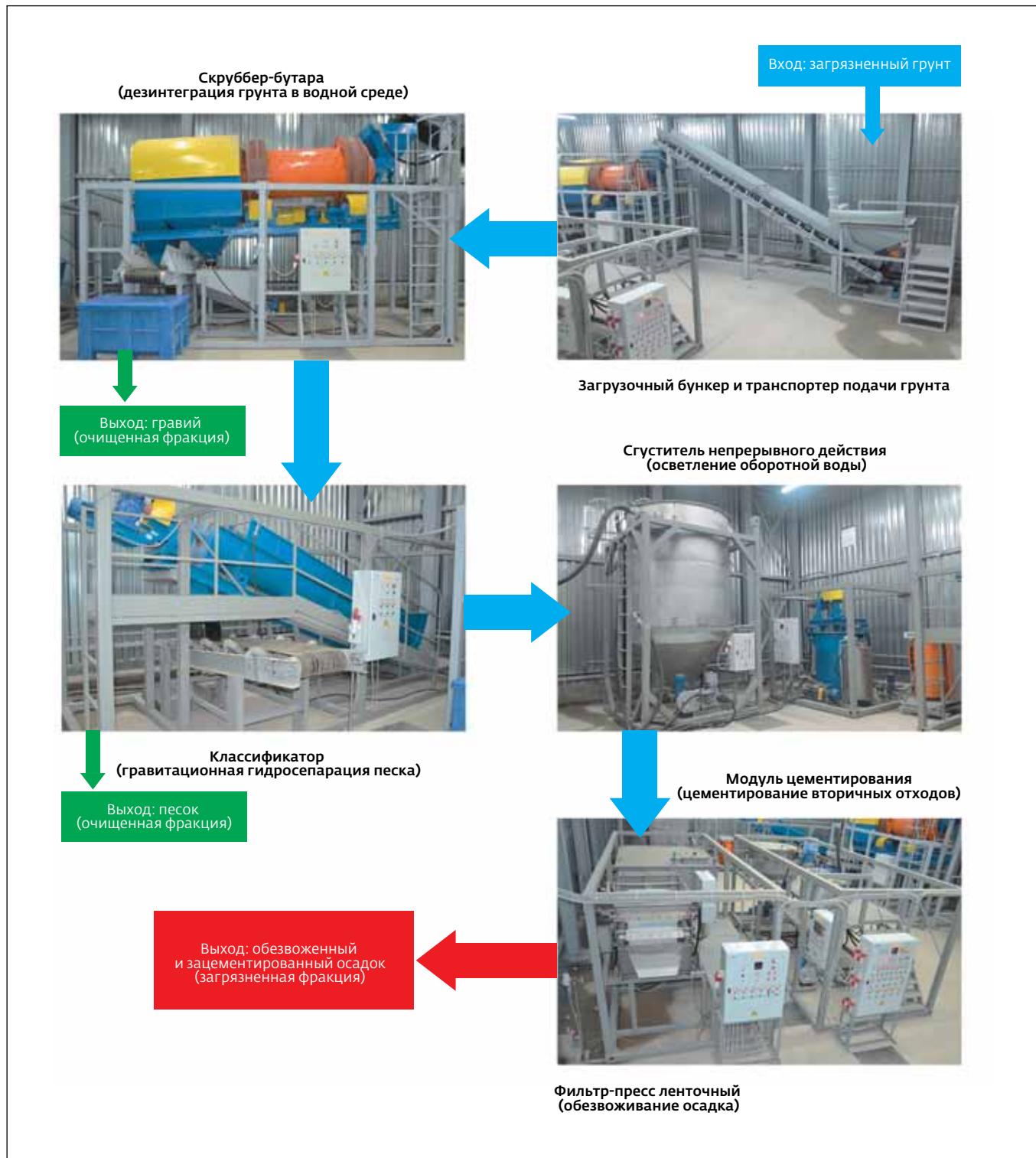


Рис.1. Схема технологического процесса очистки РЗГ на оборудовании установки

вание вторичных продуктов очистки. Очищенные от радиоактивного загрязнения фракции могут быть возвращены обратно на место отбора, а представленная в меньшем количестве мелкодисперсная фракция, содержащая большую

часть радиоактивного загрязнения, удаляется как радиоактивные отходы.

Суть технологии заключается в разделении грунта на фракции и выделении одной из них – мелкодисперсной,



а – выгрузка фракции грунта с размером частиц более 3 мм из модуля скруббера;
б – выгрузка фракции грунта с размером частиц 0,15–3 мм из модуля классификатора;
в – выгрузка фракции грунта с размером частиц 0,15 мм (кека) из модуля фильтр-пресса

Рис.2. Выгрузка фракций грунта на установке

в которой сконцентрирована наибольшая часть радиоактивного загрязнения. Было показано, что до 80% загрязняющих веществ сосредоточено в мелкодисперсной фракции с размером частиц 5–150 мкм, массовая доля которой не превышает 20%. Частицы столь малого размера в водной среде образуют дисперсные системы и легко могут быть отделены от более крупных частиц. В то же время развитая поверхность этих частиц обуславливает их высокую адсорбционную способность, которая тем выше, чем больше площадь поверхности частиц. Так, суммарная поверхность 1 г почвенных частиц размером 0,5–1,0 мм составляет около 22 см², 0,05–0,25 – около 226 см², а частиц меньше 0,001 мм – около 22600 см². Наряду с этим более высокая концентрация радиоактивных частиц в мелкодисперсной фракции также связана с ее минеральным составом. Известно, что самой малой емкостью поглощения обладают песчаные почвы, а самой высокой – глинистые, которые, благодаря адсорбционной способности своих отрицательно заряженных коллоидных частиц, сорбируют на своей поверхности катионы радионуклидов. В минералогическом плане выделенная из РЗГ мелкодисперсная фракция представляет собой смесь из кварца, глинистых минералов и гидроксидов железа, возможно, соединений Mn, Zn и др. Как отмечено в ряде работ [7–11], более мелкие глинистые части-

цы и гидроксиды в виде пленок покрывают зерна кварца и способствуют сорбции радионуклидов на зернах.

Таким образом, с мелкодисперсной фракцией, содержание которой в техногенных грунтах составляет, как правило, 10–25% массы грунта, из грунта может быть удалено до 70–90% радионуклидов.

С целью решения проблемы обращения с РЗГ в АО "ВНИИНМ" и отработки технологии дезактивации РЗГ для других предприятий атомной отрасли создана и успешно прошла испытания мобильная установка дезактивации грунтов методом гидросепарации производительностью до 1000 кг/ч.

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

- модульность и мобильность – возможность транспортирования оборудования установки к местам образования РЗГ с последующим монтажом на подготовленной площадке;
- высокий уровень автоматизации технологического процесса;
- использование в конструкции установки стандартного оборудования.

Таблица 1. Анализ эффективности очистки РЗГ

Параметр	Единица измерения	Загруженный РЗГ	Продукты очистки РЗГ			Коэффициент сокращения объема	Коэффициент очистки
			гравий (более 3 мм)	песок (от 0,15 до 3 мм)	кек (частицы менее 0,15 мм)		
Объем	% (объемн.)	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		

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.

Схема технологического процесса очистки представлена на рис.1.

Вид получаемых продуктов очистки РЗГ приведен на рис.2(а, б, в).

После ввода в эксплуатацию на установке очистки РЗГ была проведена опытная дезактивация 72 м³ РЗГ, извлеченных ранее при ликвидации 12-ти участков радиоактивного загрязнения на территории АО "ВНИИНМ".

Измерение радиационных характеристик РЗГ (входной контроль) перед загрузкой на установку и фракций грунта после очистки проводилось на спектрометрическом измерительном комплексе GAMS-3 в соответствии с описанной методикой [12], которая позволяет определять содержание гамма-излучающих радионуклидов в упаковках стандартной цилиндрической формы и объема. Идентификация и расчет активностей радионуклидов производились с помощью математической обработки спектров, полученных при измерении упаковок на установке GAMS-3. Алгоритмы обработки спектральной информации реализованы в пакете программного обеспечения GamWin.

На основании результатов измерений суммарных активностей радионуклидов и данных по массе упаковки рассчитывались удельные активности радионуклидов и соот-

ветствующие неопределенности измерений для каждой упаковки.

По результатам входного контроля РЗГ установлено, что радионуклид Cs-137 является в РЗГ основным загрязняющим техногенным радионуклидом. Суммарная удельная активность Cs-137 в выделенных на установке фракциях грунта с размером частиц более 3 мм (гравий) и от 0,15 до 3 мм (песок) снижалась в пять раз по сравнению с удельной активностью Cs-137 в поступающем на очистку РЗГ (табл.1). Фракцией с наибольшей радиоактивностью (82%) была наиболее мелкодисперсная фракция (кек). В результате опытной очистки из 72 м³ РЗГ выделено 12,8 м³ этой фракции, таким образом, объем радиоактивно загрязненного грунта был сокращен в 5,6 раз.

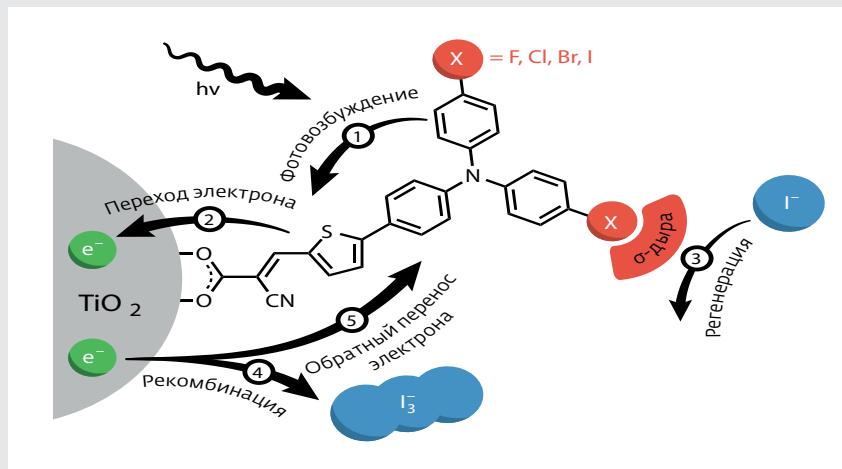
Разработанная технология дезактивации РЗГ методом гидросепарации и созданная мобильная установка очистки грунта для ее реализации позволяют сократить объем РЗГ и расходы на последующее обращение с ним. Минимальные эксплуатационные затраты на технологический процесс очистки и модульное исполнение оборудования дают возможность проводить очистку РЗГ на мобильной установке вблизи мест их образования.

ЛИТЕРАТУРА

- Проблемы ядерного наследия и пути их решения: в 2 т. / Под общ. ред. Е.В.Евстратова, А.М.Агапова, Н.П.Лаверова, Л.А.Большова, И.И.Линге. Т. 1. – М.: "Энергоатоманалитика", 2010. 376 с.
- 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 / Сб. трудов. XI международный экологический симпозиум "Урал атомный – Урал промышленный". 2006. С. 301–302.
- Постановление Правительства Российской Федерации от 19 октября 2012 года № 1069 "О критериях отнесения

- твердых, жидких и газообразных отходов к радиоактивным отходам".
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.Арутсамов // 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. **Михейкин С.В.** Очистка грунта методом гидросепарации // Безопасность окружающей среды. 2006. № 3. С. 48–50.
 7. **Cantrell K.J., Serne R.J., Last G.V.** Hanford Contaminant Distribution Coefficient Database and Users Guide. PNNL-13895 Rev. 1, June, 2003.
 8. **Ostashkina E.E., Varlakova G.A., Golubeva Z.I.** Characterization of Radionuclide Retaining Properties of Backfill Materials for Near Surface Repositories for Low and Intermediate Level Radioactive Wastes [Эл. Ресурс] // Scientific Basis for Nuclear Waste Management XXXVI, Mat. Res. Soc. Symp. Proc. 2013. V. 1518. P. 217–223.
 9. **Сабодина М.Н., Захарова Е.В., Калмыков С.Н.** и др. Сорбция $^{237}\text{Np(V)}$, $^{238}\text{U(VI)}$ и ^{137}Cs на глинистых породах: роль поверхностных пленок соединений Fe(II) // Радиохимия. 2008. Т. 50. № 1. С. 81–86.
 10. **Кузнецов В.А., Генералова В.А.** Исследование сорбционных свойств гидроксидов железа, марганца, титана, алюминия и кремния по отношению к ^{90}Sr и ^{137}Cs // Радиохимия. 2000. Т. 42. № 2. С. 154–157.
 11. **Varlakova G.A., Ostashkina E.E., Golubeva Z.I.** Evaluation of the Antimigration Properties of Materials for Buffer Filling of a Near-Surface Radioactive Waste repository // Radiochemistry. 2014. V. 56. № 1. P. 109–113.
 12. Методика выполнения измерений удельной и суммарной активности гамма-излучающих радионуклидов в упаковках с радиоактивными отходами на специализированной измерительной спектрометрической установке GAMS-3. МВИ 01.00260-2014/14-003. Свидетельство о регистрации № 01.00260-2014/14-003 от 24.12.2014 г.

ГАЛОГЕНЫ МОГУТ УВЕЛИЧИТЬ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ СОЛНЕЧНЫХ БАТАРЕЙ НА 25%



Сенсибилизованные красителем солнечные элементы (DSSC-элементы) имеют множество потенциальных преимуществ по сравнению с кремниевыми солнечными элементами, однако коэффициент преобразования солнечной энергии в электрическую для этих элементов невелик и колеблется от 7 до 14 процентов. Принцип действия элемента заключается в следующем: солнечный свет поглощается красителем и переводит один из его электронов из основного в возбужденное состояние. Возбужденный электрон почти мгновенно

перемещается от красителя в зону проводимости TiO_2 , диффундирует через TiO_2 -пленку и достигает стеклянного электрода, молекула красителя при этом переходит в окисленное состояние. Восстановление молекулы красителя в исходное состояние происходит путем получения электрона от иодид-иона. Образующаяся в этом процессе молекула иода диффундирует к катоду, где снова превращается в иодид-ион. Эффективность DSSC-элементов в наибольшей степени зависит от скорости межфазной регенерации красителя.

Исследования, проведенные в Университете Британской Колумбии и Университете Северной Каролины в Чапел-Хилле, показали, что введение галогенов в трифениламиновые красители, применяемые в DSSC-элементах, может повысить эффективность преобразования солнечной энергии на 25 процентов. Причиной этого явления служит образование в процессе регенерации очень слабых связей между галогеновым заместителем окисленного красителя и находящимся в растворе иодид-ионом, существование которых было доказано методом абсорбционной рентгеновской спектроскопии. В результате перераспределения электронной плотности в окисленной молекуле красителя около галогенового заместителя образуется область электроположительности, называемая σ-дырой. Вследствие этого, галоген выступает в роли электрофила, а иодид-ион – в роли основания Льюиса. Прочность образующихся связей зависит от поляризуемости галогена и увеличивается от фтора к иоду, таким же образом меняется эффективность DSSC-элемента.

Это открытие может стать отправной точкой для улучшения конструкции солнечных элементов и поиска дешевых и эффективных технологий преобразования энергии.

NATURE COMMUNICATIONS, 2017
DOI: 10.1038/s41467-017-01726-7