

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ОЧИСТКИ ЗАГРЯЗНЕННЫХ ТЕРРИТОРИЙ

В статье проанализированы основные современные методы дезактивации почв: механические, физические, химические, электрокинетические и биологические. Технология дезактивации больших территорий должна отвечать двум основным требованиям: после дезактивации почва должна быть пригодна для всех видов сельскохозяйственных работ и нормальной жизнедеятельности и процесс дезактивации должен строиться на принципе самоокупаемости за счет утилизации технологических продуктов. Показано, что единственным возможным методом очистки больших территорий от радионуклидов является метод применения растений-гипераккумуляторов.

Существующие методы дезактивации можно классифицировать на механические, физические (безреагентный), физико-химические (с применением реагентов), электрокинетические, биологические.

Рассмотрим каждый из этих способов относительно применения их к очистке больших загрязненных территорий исходя из того, что технология дезактивации больших территорий должна отвечать двум основным требованиям: после дезактивации почва должна быть пригодна для всех видов сельскохозяйственных работ и нормальной жизнедеятельности, и процесс дезактивации должен строиться на принципе самокупаемости за счет утилизации технологических продуктов.

Принципы дезактивации почв основываются главным образом на закономерностях поведения радионуклидов в почвах. Согласно установившейся практике механическая дезактивация почв может осуществляться различными методами: путем удаления верхнего слоя почвы толщиной 5–15 см с последующим его захоронением; путем вспашки, в результате которой верхний горизонт сбрасывается ниже границы корнеобитаемого слоя; путем изоляции загрязненной местности, осуществляемой засыпкой сыпучими материалами (песком, шлаком, щебенкой и др.) или незагрязненным грунтом, бетонированием и асфальтированием, или укладкой бетонных плит. Выбор приемов дезактивации почв производится в каждом конкретном случае в зависимости от уровня и характера загрязнения почв.

При снятии верхнего загрязненного слоя известные ограничения могут возникнуть из-за неблагоприятного устройства поверхности: возможно вовлечение балластного (неактивного) материала или какая-то доля радионуклидов будет оставаться в почве. В труднодоступных для машин местах снятие загрязненного слоя почвы проводится вручную, что весьма трудоемко и малоэффективно. В работе [1] в обобщенном виде представлена целесообразность и возможность дезактивации путем снятия верхнего загрязненного слоя различных почв. После аварии на ЧАЭС снятие верхнего слоя грунта проводилось с наиболее загрязненных участков (промплощадка, стройплощадка, грунтовые дороги и др.). В жилой зоне снятие верхнего загрязненного слоя проводили на небольших участках детских садов, школ, больницы.

Эффективность перепахивания определяется свойствами почв, толщиной корневой системы и др. Однако перепахивание только перераспределяет радионуклиды, а не извлекает их из почвы; оно не исключает вертикального перемещения радионуклидов вверх по капиллярной структуре почвы и другим путям, а также их миграцию вниз по профилю и поступление в грунтовые воды. При дезактивации сельскохозяйственных угодий после аварии на ЧАЭС рекомендовалось [2] заглубленное перепахивание на 5 см глубже обычного (осенью 1986 г. и весной 1987 г.) с полным оборотом пласта для снижения концентрации радионуклидов в корнеобитаемом слое и снижения гамма-фона в 4 раза.

Изоляцию загрязненной местности осуществляют засыпкой сыпучими материалами (песком, шлаком, щебенкой и др.) или незагрязненным грунтом, бетонированием и асфальтированием и укладкой бетонных плит. Изоляция загрязненной местности аналогична местному захоронению радионуклидов, но не их извлечению из почвы и ее очистке до безопасных уровней. Она навсегда исключает данный участок территории из его дальнейшего хозяйственного использования. После Чернобыльской катастрофы большая загрязненная территория подверглась также и изоляции с помощью бетонных плит (промплощадка, стройплощадка и др.). В 1988 – 1990 гг. проводилась засыпка загрязненной территории песком. С ростом толщины насыпаемого слоя с 10 до 30 см мощность экспозиционной дозы снижалась в 8 раз.

Таким образом, как видно из выше проанализированных способов механической дезактивации почвы, ни один из этих методов не гарантирует полную очистку территории и ее дальнейшее безопасное хозяйственное использование. Поскольку дезактивация почв может быть осуществлена лишь в результате удаления поверхностного, наиболее плодородного слоя почвы или захоронения его на глубину, малодоступную для корневых систем, или полной его изоляции, то происходит уничтожение естественного плодородия почв, что исключает дальнейшее использование обрабатываемого участка особенно в сельскохозяйственных целях. При снятии загрязненного слоя почвы образуются большие объемы РАО, требующие дальнейшего захоронения. Этот фактор ограничивает применение данного способа механической дезактивации для больших территорий. Вторичное радиоактивное загрязнение возможно на всех стадиях, что является еще одним ограничивающим фактором применения данного метода для очистки больших территорий, загрязненных радионуклидами.

Физический (безреагентный) метод дезактивации почв осуществляется путем отделения и удаления мелкодисперсной фракции почвы, на которой в основном сконцентрированы радионуклиды. Разрабатываемые технологии центробежного и гравитационного отделения тонких фракций почвы позволяют достигать коэффициентов дезактивации 3 – 10 [3]. Процесс происходит без применения химических реагентов, что позволяет сохранить плодородие почвы, сократить объемы РАО и удешевить сам процесс дезактивации. Указанный способ может оказаться приемлемым на практике только для очистки небольших "горячих" пятен. Применение данного метода для очистки больших территорий ни с практической, ни с экономической точки зрения неприемлемо.

Эффективность и экономичность дезактивации почвы можно значительно увеличить, если физический способ (фракционирование почвы) дополнить химическим (обработка почвы раствором химических реагентов). Это позволит еще больше сократить объем РАО для захоронения. Множество предложенных методов химической дезактивации основано на процессах выщелачивания радионуклидов из почв. В зависимости от применения различных химических агентов возможны различные негативные воздействия на почву – уничтожение гумусного слоя, вымывание микроэлементов, т.е. уничтожение плодородных свойств почвы. Выщелачивание в емкостях является самым эффективным, но и самым экологически опасным методом. Данный метод пригоден для небольших загрязненных пятен. Необходимость переработки и утилизации образующихся при этом больших объемов жидких РАО делает этот метод экономически нецелесообразным для дезактивации больших загрязненных площадей [3].

Электрокинетический способ дезактивации почв и грунтов осуществляется с помощью выделения токсичных частиц грунта под воздействием электрического поля. В настоящее время предлагается несколько вариантов осуществления данного способа очистки [4]. Несмотря на все положительные стороны электрокинетического способа дезактивации почв, сама технология очистки загрязненных территорий данным методом исключает его использование для очистки больших территорий.

Биологический способ очистки предполагает использование микроорганизмов, которые интенсивно питаются вредными загрязняющими веществами почвы. При этом данные микроорганизмы способны преобразовывать токсичные соединения в нетоксичные, или поглощать токсичные радионуклиды. Данный способ очистки рассматривается в [5; 6]. Однако применение микроорганизмов, накопивших в себе радионуклиды потребует их дальнейший сбор и утилизацию, что на данный момент, даже для малых территорий, является не до конца решенной задачей.

Рассмотрев все возможные варианты существующих способов очистки почв от радионуклидов и применение их на практике, можно сделать вывод, что ни один из этих методов не может быть использован при дезактивации больших загрязненных территорий для преобразования их в чистые экологически безопасные системы.

Сейчас исследования сконцентрированы на поиске растений-гипераккумуляторов. В настоящее время уже определены некоторые растения, способные аккумулировать большое количество радионуклидов. К таким растениям-гипераккумуляторам относится *Polygonum Sachalinense F. Schmidt*. В таблице 1 представлены данные по коэффициентам накопления стронция-90 различными частями растений *Polygonum Sachalinense F. Schmidt*, полученные авторами данной статьи.

Коэффициенты накопления стронция-90
Polygonum Sachalinense F. Schmidt [7]

Таблица 1

Вариант отбора	Стронций-90		
	Стебли	Листья	Среднее
Контроль	12,4	7,7	9,3
N120P90K120	12,8	10,2	11,1
N240P90K120	23,6	16,5	19,0

Как видно из таблицы 1, коэффициент перехода стронция-90 в надземную часть культуры *Polygonum Sachalinense F. Schmidt* достигает 19. *Polygonum Sachalinense F. Schmidt* может обеспечить вынос за один период вегетации до 30% радиостронция. Увеличить вынос вредных веществ возможно за счет двойного снятия урожая биомассы за один год.

Есть и другие растения-гипераккумуляторы радионуклидов, которые показывают неплохие результаты при использовании их для очистки больших загрязненных территорий. Для очистки почвы от цезия-137 в качестве растений-накопителей авторы работы [8] предлагают использовать чечевицу или топинамбур, которые необходимо выращивать в течение трех вегетационных периодов подряд. Максимальное снижение уровня цезия-137 происходит через три года культивирования растений. Степень очистки почвы после культивирования растений показана в таблице 2. Некоторые исследователи для снижения уровня цезия-137 в почве предлагают также использовать ромашку аптечную, тысячелистник обыкновенный, полынь горькую, растения рода вика (мышинный горошек), что позволяет снизить количество цезия-137 в почве от 3% до 20% за один вегетационный период [9].

Таблица 2

Степень очистки почвы (в %, мин.-макс.) [8]

Варианты	Сроки отбора проб			
	1	2	3	4
Контроль (без растений)	0-2,5	0,1-7,6	0,9-12,9	0,1-2,1
Почва после рапса (прототип)	2,2-2,5	2,2-2,8	0,0-1,0	0,0-21,2
Почва после топинамбура	10,8-21,3	12,6-14,6	19,7-21,2	14,8-16,7
Почва после чечевицы	2,6-4,9	2,7-9,1	12,8-20,6	6,9-17,2

Одной из важнейших задач на данный момент для широкого применения метода фиторемедиации почвы является выбор и экспериментальная проверка дополнительных мер, позволяющих интенсифицировать корневое поглощение и аккумуляцию фитомассой радионуклидов в системе почва – растение. Такими мерами являются: увеличение урожайности и скорости накопления биомассы растений-деконтаминантов за счет использования биостимуляторов роста, увеличение биодоступности радионуклидов для корневого поглощения.

В литературе уже представлены некоторые разработки в данном направлении. Использование синтетических регуляторов роста способствует фосфатомобилизирующей активности почвенной микрофлоры – микозных грибов, а также бактерий, которые синтезируют органические кислоты, повышая тем самым растворимость и, соответственно, доступность для растений труднорастворимых соединений почвы. Применение биостимуляторов роста обеспечивает увеличение урожайности сельскохозяйственных растений в 2–3 раза. Тем самым их применение потенциально может обеспечить требуемую интенсификацию корневого поглощения радионуклидов в 6–10 раз. Использование новых синтетических регуляторов роста стимулирует развитие корневой системы растений и увеличивает урожайность посева по надземной биомассе. Это должно способствовать увеличению способности растений “перехватывать” радионуклиды, мигрирующие сквозь корнеобитаемый слой и, соответственно, может обеспечить возрастание фитодеконтаминационного эффекта.

Большой интерес вызывают работы Института сорбции и проблем эндоэкологии НАН Украины [10]. В своем эксперименте украинские ученые исследовали такие растения, как горчица, амарант, рапс, молочай и др. В экспериментах использовали 6 разных видов сорбционных материалов: активированный уголь, клиноптиллолит, их смесь 1:1, палыгорскит, модифицированный ферроцианидом, ЭДТА, титан-силикатный сорбент. Природа сорбентов, вводимых в почву, существенно влияет на способность растений аккумулятировать Cs-137 и Sr-90. Более высокий уровень накопления радионуклидов характерен для амаранта, он более чем в 2 раза превышает тот же показатель для горчицы. Исследования украинских ученых имеют важное значение в связи с тем, что открывают завесу одного из аспектов механизма фитосорбции, а именно – в присутствии углерод-минеральных добавок имеет место повышенная возможность перехода радионуклидов в растворимую форму благодаря изменению величины pH грунтовых вод, содействующей растворимости радионуклидов. Можно допустить, что в данном случае углерод-минеральные добавки исполняют роль комплексонов – “растворителей” радионуклидов [10].

Возможны различные комбинации метода биоремедиации с другими методами очистки почвы.

На основе анализа данных были определены требования по выбору растений, выполняющих роль бионасосов: высокая сорбционная способность, широко развитая корневая система, многолетность культуры, высокий урожай, большие коэффициенты накопления.

На сегодняшний день нет общей схемы применения растений для очистки почвы от радионуклидов и других вредных веществ. С этой целью необходимо обобщение всех исследований в этой области.

В настоящее время данный способ очистки почвы от радионуклидов широко исследуется учеными многих стран, при чем метод фитодезактивации используют для очистки почвы не только от радионуклидов, но и других вредных веществ, загрязняющих почву (тяжелые металлы, нефтепродукты и другие).

Таким образом, рассмотрев и проанализировав все существующие способы очистки почвы, загрязненной радионуклидами и другими вредными веще-

ствами, можно сделать вывод, что реабилитация больших территорий возможна лишь методом фитодезактиваии. Работы по поиску оптимальных растений-гипераккумуляторов в настоящее время интенсивно ведутся во многих странах мира. В соответствии с результатами наших исследований можно сделать вывод о возможности преобразования загрязненных территорий Беларуси, Украины и России в экологически безопасные системы, а извлеченные из почвы радионуклиды и актиноиды переработать и отправить в специальные хранилища, где они должны находится в соответствии с международными требованиями.

ЛИТЕРАТУРА

1. Technical Reports Series IAEA. Vienna, 1989. – № 300. – P. 39-83.
2. **Metz, R.** Sachalinkneterich (Polygonum oder Reynourtia sachalinense) – eine alternative Pflanze zur Dekontamination von Schwermetallbelasteten Rieselfeldern? / R. Metz, B.M. Wilke // VDLUFA Schriftenreihe "Alternativen in der Flachennutzung, der Erzeugung und Verwertung landwirtschaftlichen Producten. – 1994. – № 38. – S. 773-776
3. Экологические, медико-биологические и социально-экономические последствия катастрофы на ЧАЭС в Беларуси / Под ред. Акад. Е.Ф. Конопки, проф. И.В. Ролевича. – Минск: Министерство по чрезвычайным ситуациям и защите населения от последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС республики Беларусь, Институт радиобиологии Академии наук Беларуси, 1996. – 280 с.
4. Способ электрокинетической очистки грунтов от радиоактивных и токсичных веществ: пат. 2211493 С2 РФ, 7 G 21 F 9/28, В 09 С 1/08 / А.С. Баринов, Л.Б. Прозоров, В.Б. Николаевский, М.Ю. Щеглов, Е.В. Шевцова; заявитель Московское государственное предприятие – объединенный эколого-технологический и научно-исследовательский центр по обезвреживанию ПАО и охране окружающей среды (МосНПО "Радон"). № 2001131842/06; заявл. 26.11.01; опубл. 27.08.03 // Бюл. / Российское агентство по патентам и товарным знакам. – 2003. – № 24.
5. **Kowalik, P.** Protection and remediation of soil environment in Poland / P. Kowalik // Proceedings of the Seventh International FZK/TNO Conference on Contaminated Soil 18-22 September 2000, Leipzig, Germany: Volume 1. – Great Britain: MPG Books, Bodmin, Cornwall, 2000. – P. 70-71.
6. **Zharikov, G.A.** Bioremediation of soils polluted by toxic chemical substances and radionuclides / G.A. Zharikov [et al] // Proceedings of the Seventh International FZK/TNO Conference on Contaminated Soil 18-22 September 2000, Leipzig, Germany: Volume 1. – Great Britain: MPG Books, Bodmin, Cornwall, 2000. – P. 407-417.
7. Результаты исследования в обоснование возможности применения горца сахалинского (Polygonum Sachalinense F. Schmidt) для фитодезактиваии / А.В. Башарин [и др.]. – Минск, 2002. – 41 с. – (Препринт/ НАН Беларуси, Объед. ин-т энергет. и ядер. исслед. – Сосны; ОИЭЯИ-1).
8. Способ очистки почвы от техногенных загрязнений: пат. 2282508 С1 РФ, МПК В 09 С 1/00, А 01 В 79/02, G 21 F 9/00 / В.С. Громова, О.В. Шевцова; заявитель Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Орловский государственный технический университет" (ОрелГТУ). № 2005116363/15; заявл. 30.05.05; опубл. 27.08.06 // Бюл. / Федеральная служба по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам. – 2006. – № 24.
9. Средство дезактиваии почв: пат. 2104810 С1РФ, 6 В 09 С 1/00, G 21 F 9/28 / Г.С. Возжеников, Ж.Н. Александрова, Е.Г. Возжеников; заявитель Товарищество с ограниченной ответственностью Торгово-промышленная фирма "Горнозаводчик". № 96105351; заявл. 22.03.96; опубл. 20.02.98 // Бюл. / Комитет Российской Федерации по патентам и товарным знакам. – 1998. – № 5.
10. **Швец, Д.** Полифункціональні сорбенти для рішення проблем зони отчуждження [Електронний ресурс] // Національна академія наук України – Чорнобілю: 36. наук. пр. / НАН України. Нац. б-ка України І М. В. І. Вернадського; Редкол.: О.С. Онищенко (гол.) та ін. – К., 2006. – Режим доступу: <http://www.nbuv.gov.ua/books/2006'chernobyl/shd.pdf>