

Янин Е.П. Особенности и экономические аспекты организации работ по ремедиации загрязненных территорий в зарубежных странах // Экономика природопользования, 2012, № 3, с. 140–148.

В промышленно развитых странах проблеме очистке загрязненных территорий, особенно почв и почвогрунтов, уделяется пристальное внимание. Здесь в последние 20–25 лет не только активно выполняются исследования по выявлению и инвентаризации зон техногенного загрязнения, но и осуществляются разработки технологий их очистки, в значительных масштабах проводятся работы по ремедиации (*remediation* – восстановление, «излечение») химически загрязненных почв городов и промышленных территорий [1]. Можно сказать, что в этих странах создана своеобразная индустрия по очистке и восстановлению загрязненных территорий. Например, уже в 1997 г. рынок ремедиации загрязненных территорий в странах Европы и Африки оценивался в 6,9 млрд. долл. США, причем в 2002 г., по прогнозам, он должен был возрасти до 9 млрд. долл. [17]. Существенная доля рынка приходилась на рекультивацию мест свалок (2,2 млрд. долл.) и очистку загрязненных нефтью почв (2 млрд. долл.). Затраты на восстановление участков, пострадавших в результате военных действий, оценивались в 941 млн. долл. В середине 1990-х гг. расходы на ремедиацию загрязненных участков в Нидерландах достигали 1,5 млрд. французских франков в год, в ФРГ на очистку 220 участков было затрачено 5,5 млрд. фр. франков, во Франции общая стоимость затрат на проведение работ по реабилитации загрязненных территорий, распределенных между органами общественного управления, собственниками загрязненных участков и специальными отраслями промышленности, превышала 1 млрд. фр. франков [8, 22]. В 1995 г. Министерство промышленности Франции выделило для Бюро по геологии, геофизическим исследованиям и полезным ископаемым 4 млн. фр. франков на проведение инвентаризации зараженных участков в 4 департаментах страны. В Испании на восстановление земель, загрязненных отвалами горнодобывающих предприятий, ежегодно расходовалось около 200 млн. долл. США.

В настоящее время в зарубежной практике способы и технологии ремедиации загрязненных почвогрунтов (геологических массивов) часто рассматривают с позиций их места (способа) применения [1, 12, 15]: 1) обработка вне загрязненного участка, которая связана с извлечением обычно больших объемов загрязненного грунта и переработкой его на специальных стационарных установках (представляющих собой по сути промышленные предприятия), расположенных относительно далеко за пределами рекультивируемой территории; 2) обработка *in situ* (на месте) с инъецированием в загрязненный участок соответствующих химических агентов и последующей утилизацией выделяющихся парогазообразных фракций поллютантов; 3) обработка извлеченной почвы (как правило, небольших ее объемов) непосредственно вблизи загрязненного участка с последующим возвращением очищенных грунтов на место их прежнего залегания; 4) локализация поллютантов в пределах участка посредством проведения физико-химической стабилизации (использование цемента, шлаков, жидкого стекла и т. п.), что осуществляется, как прави-

ло, для предотвращения загрязнения грунтовых вод. Наибольшее распространение получили следующие методы и технологии деkontаминации почв, загрязненных органическими и неорганическими веществами, радионуклидами, микроорганизмами (табл. 1). В последние годы особое внимание уделяется использованию для очистки загрязненных металлами почв различных растений (фиторемедиация).

Таблица 1. Наиболее распространенные способы обезвреживания загрязненных почвогрунтов [24]

Технология	Область применения	
	Почвогрунты	Поллютанты
С изъятием (экскавацией) почвогрунтов		
Тепловая обработка	Любые	Органические соединения, ртуть
Экстракция/влажное разделение (промывка почв)	Песчаные	Любые
Биологическая обработка:		
Размещение на свалках	Песчаные	Способные к микробиодеградации
Кучная система	Песчаные	Способные к микробиодеградации
Шламовый реактор	Любые	Способные к микробиодеградации
Без изъятия почвогрунтов		
Экстракция растворами	Песчаные	Водорастворимые
Паровакуумная экстракция	Песчаные	Летучие
Продувка воздухом	Песчаные	Летучие
Биовосстановление	Песчаные	Способные к микробиодеградации
Электромелиорация	Любые	Тяжелые металлы
Отверждение/стабилизация	Любые	Неорганические (органические)
Геогидрологическая изоляция	Любые	Любые
Механическая/физическая изоляция	Любые	Любые

В существующей в западных странах системе ремедиации особое значение отводится научным основам организации работ по оценке и очистке загрязненных почв и территорий в целом. Обычно такие работы включают [26]: идентификацию сценария загрязнения, оценку поллютанта с точки зрения его поведения в абиотической среде, оценку переноса загрязняющего вещества по биологическим трофическим цепям, устойчивость загрязняющего вещества. Широко используются прогнозные математические модели миграции поллютантов, нахождения оптимальных путей ремедиации и восстановления почв и экосистемы в целом. Для практического применения многих методов требуется детальное знание свойств загрязненных почв (гранулометрический состав, плотность, магнитная чувствительность, электропроводимость, данные по содержанию металлов и органических соединений, их видам и т. д.).

Например, в ФРГ работы по ремедиации загрязненного участка почв и грунтов начинаются с его детального обследования: проводятся геофизические, геохимические и геолого-гидрогеологические изыскания [21]. На основании полученных данных делается заключение о степени опасности загрязненного участка для окружающей среды (стоимость составления подобного заключения в первой половине 1990-х гг. составляла 1000–3000 немецких марок) и затем разрабатывается проект его восстановления. Обычно в практике работ по ремедиации используется несколько вариантов: производят выемку грунта и его захоронение; консервируют (изолируют) загрязненный участок; очищают его. За размещение загрязненного грунта (с высоким содержанием опасных веществ) на специальных свалках взимается плата (в первой половине 1990-х гг. она составляла 100–450 марок за 1 т грунта). Умеренно загрязненный грунт можно сжигать на мусоросжигательных заводах (затраты составляли 100–150 марок/т), сильно загрязненный – в специ-

альных установках (1000–2000 марок за 1 т). Затраты на устройство изоляционных покрытий из глины для рассматриваемого периода составляли 40–60 марок/м², из синтетических материалов – 50–70, из металла – 60–280 марок/м². Для ремедиации используют промывку водой (100–300 марок/т) или моющими средствами (100–350), биологические способы (100–500), отсасывание загрязненного воздуха (5–10), иммобилизация (стабилизация) поллютантов путем добавления различных связывающих материалов (150 марок/т). В каждом конкретном случае вопрос об оптимальном с эколого-экономической точки зрения способе (или их комплекса) очистки почв решается индивидуально [23]. Так, в районе Рура, одной из крупнейших промышленных зон в Европе, работы по оценки интенсивности загрязнения территории осуществлялись в два этапа. На первом этапе были проведены обширные исследования загрязненных территорий с использованием значительной по объему геологической и гидрогеологической информации [14]. Следующий этап был связан с уточнением местоположения наиболее загрязненных участков, локализации загрязненных ареалов подземных вод и определением мер по их очистке. Только после установления реальной степени и точной локализации загрязнения принимаются решения о конкретных видах и способах очистки и обработки загрязненных участков. В Нидерландах, где в последние примерно 10 лет было изъято и затем обработано более 5 млн. т загрязненной почвы (до требуемых законодательством уровней поллютантов), стоимость обработки 1 т грунтов в конце 1990-х гг. варьировалась от 50 до 80 долл. США [24].

Во Франции существует специальная инструкция по инвентаризации загрязненных территорий. В стране создано профессиональное объединение предприятий, занимающихся ремедиацией загрязненных участков. По оценкам (середина 1990-х гг.) его специалистов, ежегодные вложения на реабилитацию должны были составлять порядка 1 млрд. фр. франков на протяжении, как минимум, 15 лет [22]. В этот период за счет введения новых налогов на специальные отходы в рамках Закона об усилении ответственности за защиту окружающей среды, был образован фонд в размере 100 млн. фр. франков, предназначенный для восстановления заброшенных территорий. При выработке стратегии очистки главное внимание уделяется тем участкам, где существует постоянная угроза загрязнения грунтовых вод, являющихся источниками водоснабжения. Второе место отводится загрязненным участкам, в пределах которых размещены отходы химической промышленности, а также участкам несанкционированных свалок, где нередко размещаются опасные отходы. Третья категория участков – это территории на горных породах, загрязнение которых представляет опасность из-за возможной фильтрации поллютантов.

В опубликованном в ноябре 1997 г. втором официальном перечне загрязненных участков Франции отмечалось, что главная задача государства заключается в том, чтобы организовать контроль и оценить опасность каждого из подобных участков, провести первичную диагностику их состояния, а затем выполнить более глубокие исследования возможной опасности для среды обитания, определить планы реабилитации территорий, а уже затем приступить к их реализации [9]. Особое внимание обращалось на опасность, связанную с наличием вредных веществ на поверхности почвы (в этом случае требуется немедленное удаление таких веществ или установка ограждений, препятствующих доступу к ним), а также на необходимость контроля влияния вод загрязненных участков на грунтовые или поверхностные воды сопредельных районов (установление пьезометров по периметру загрязненных территорий). Для выявления и диагностики загрязненных участ-

ков часто используют экспресс-анализ, основанный на исследовании состава почвенного воздуха (почвенных газов) *in situ* и позволяющий относительно быстро локализовать зоны загрязнения [19]. В общем случае действия по реабилитации загрязненных почв включают множество стадий: диагностику, оценку возможных методов очистки, собственно очистку, контрольные исследования [7, 11, 18]. Необходимым элементом этих действий является аудит, проводимый по месту, позволяющий реализовать меры по ремедиации. Обычно проведение аудита, представляющего собой, в сущности, специальные исследования и изыскания, разделяется на две фазы: 1) сбор данных; 2) анализ данных и их интерпретация. Первая фаза, в свою очередь включающая несколько стадий, предназначена для оценки характеристик загрязненного участка и выбора наилучших методов исследования. Для этого используются документальные и литературные данные; проводится анкетирование; оценивается предыдущая деятельность на участке; исследуется происхождение отходов (загрязняющих веществ) с целью определения возможности их рециклинга и т. д. Сбор данных является элементом диагностики загрязненного участка, позволяющим определить природу поллютантов, выбрать способы обработки. Обычно на этом этапе используются архивные данные департаментов, национального географического института, топографические карты, данные аэрофотосъемки, техническая документация, геологические и гидрологические сведения; анализируется степень загрязнения подземных вод. Если имеющихся данных недостаточно, то проводится отбор проб почвогрунтов для последующего анализа их на содержания загрязняющих веществ, устанавливается интенсивность загрязнения подземных вод. В конечном счете определяются объем и масштабы загрязнения почвы и подземных вод, особенности распределения и миграции поллютантов в вертикальном и горизонтальном направлениях. Вторая фаза аудита, также состоящая из нескольких стадий, прежде всего включает анализ проб почв и подземных вод, оценку риска существующего загрязнения для здоровья человека и окружающей среды, выдачу рекомендаций по ремедиации с целью снижения риска; устанавливаются иерархии риска. Затем следует стадия принятия решений, сопровождающаяся технико-экономическим анализом с определением объемов финансирования и трудовых затрат. Конечной стадией является разработка проекта ремедиации участка. Основной целью работ по ремедиации является полное удаление или снижение (до уровня существующих нормативов) содержания поллютантов в почвогрунтах и водах соответствующего участка тем или иным выбранным способом (например, извлечение загрязненных почвогрунтов, их обработка на специальных установках или захоронение на специальных свалках) [7, 18].

Довольно часто исследования химического состава загрязненных почв и грунтов требуют высоких затрат и не всегда обеспечивают землевладельцев данными о их ответственности за ущерб, нанесенный окружающей среде. С этой точки зрения интересен опыт ремедиации почв в окрестностях Лондона, а также санация территории площадью 81 га в Мидленде [6]. В районе Лондона использовался подход, обеспечивающий снижение экологической ответственности низкозатратным способом. В Мидленде был разработан пакет специальных стандартов загрязнения воды и почвы, положенных в основу стратегии восстановления земель. В соответствии с этими документами загрязнение почвы классифицировалось в зависимости от содержания в ней тяжелых металлов, фитотоксичных химических элементов, цианидов, органических веществ, а показатели качества воды – согласно требованиям директив 80/778 и 75/440 ЕЭС. В результате применения оригиналь-

ного метода обработки большого массива аналитических данных и другой информации были разработаны модели нагрузки поллютантов на среду обитания, на основе которых вырабатывалась стратегия обезвреживания и восстановления загрязненных земель. Исследования показали, что в принципе возможен баланс между экологической ответственностью и экономической ценностью, а загрязненные территории можно вернуть в систему землепользования.

В США в 1980 г. был составлен и постоянно пополняется (Агентством по охране окружающей среды) специальный список площадок (объектов), загрязненных особо токсичными отходами и веществами [16, 25]. Указанное Агентство отвечает за предварительное обследование таких участков, после чего решается вопрос об их отнесении к аварийным или «несрочным» (как правило, собственно работы и публикация отчета занимают 1–2 года). В первом случае (аварийный участок) осуществляют его детальное изучение (в течение 2–3 лет), после чего публикуются экономические расчеты стоимости будущих восстановительных работ, по которым проводятся публичные слушания, а с учетом их результатов составляется предварительный проект. На его основе публикуется «комплект основных решений», после чего уже разрабатывается собственно проект. Его осуществление может занять 10 лет и более (особенно если приходится очищать откачиваемую воду). Формально общественность всегда привлекается к обсуждению результатов исследований и проекта, но фактически полноценного участия ее не происходит, поскольку обсуждение сложных технических вопросов, даже с помощью специалистов, ей не доступно или мало доступно. Естественно, что компании-виновники загрязнения, заинтересованные в снижении стоимости проектов деконтаминации, охотно вступают в научно-технические дискуссии, где их противникам часто довольно трудно доказать свою правоту. Самый, пожалуй, известный пример: компания «Дженерал Электрик», сбрасывавшая в р. Гудзон полихлорированные бифенилы (ПХБ), что привело и очень сильному загрязнению реки, уже очень долго доказывает, что ПХБ разлагаются в донных отложениях «естественным образом», и потому изымать и утилизировать эти отложения нет смысла. К настоящему времени количество установленных загрязненных участков в США, нуждающихся в ремедиации, превышает 74 тыс. [13]. Прогнозируется, что в будущем будет выявлено еще 217 тыс. участков. По оценке, на ремедиацию этих территорий в 2004–2033 гг. потребуется затратить от 170 до 250 млрд. долл. (среднее 209 млрд. долл., или 6–8 млрд. долл. ежегодно).

В общем случае стоимость работ по очистке загрязненных территорий определяется их местоположением (водные объекты, суша, участки районы, сельские районы, горно-промышленные участки, свалки и т. п.) и размером, интенсивностью, масштабом и спецификой загрязнения, характером загрязненного компонента или материала (почвы, грунты, грунтовые воды, донные отложения, строительные конструкции, строительный мусор и т. п.) и др., а также зависит от используемой технологии работ по извлечению загрязненного материала и его последующей утилизации (размещения, использования). Данные по относительной стоимости применяемых в 11 европейских странах (особенно в Великобритании, Франции, Германии, Бельгии и Италии) при ремедиации загрязненных территорий технологий приведены в табл. 2.

Таблица 2. Удельная стоимость переработки 1 м³ загрязненных материалов различными технологиями, используемыми в европейских странах в 2001-2005 гг. [26]

Технология	Ранжированная по убыванию стоимость, евро/м ³		
	минимальная	максимальная	средняя
Сжигание (вне участка)	148	2850	885
Витрификация(в естественном залегании)	518	814	666
Термическая обработка участка	26	935	238
Удаление на свалку	10	979	231
Термическая обработка (вне участка)	15	600	229
Промывка почв (вне участка)	30	608	226
Витрификация (вне участка)	44	380	220
Продувка паров (на месте)	50	300	175
Биологическая обработка (вне участка)	20	665	167
On-site Biopiling	10	570	142
Иммобилизация (на месте)	15	400	139
Иммобилизация (в естественном залегании)	25	270	128
Электромелиорация (в естественном залегании)	44	207	126
Фиторемедиация (на месте)	22	222	122
Биопереработка в шламовом реакторе (на месте)	89	222	122
Промывка почв (на месте)	15	456	116
Иммобилизация (вне участка)	50	270	112
Инкапсуляция	30	178	104
Воздушный барботаж (в естественном залегании)	11	360	91
Биологическая обработка (на месте)	11	222	76
Биоремедиация (в естественном залегании)	15	200	73
Откачка и переработка	10	228	71
Химическое окисление	30	126	68
Внесение (запахивание) в почву (местное)	15	114	62
Защитная реагирующая стена	40	70	55
Вентиляция почв (в естественном залегании)	10	152	54
Стена-экран	40	60	50
Гидрогеологический барьер-стена	22	80	49
Двойная экстракция паром	20	70	45
Изоляция	20	40	34
Компостирование (на месте)	7	44	26
Естественное самоочищение	15	25	20

Стоимость ремедиационных работ может быть очень велика. Например, общие затраты на очистку известной бухты Минаматы от загрязненных ртутью донных отложений составили 517 млн. долл. США (уровень 1993 г.) [20]. Здесь в ходе ремедиации было извлечено и стабилизировано 785 тыс. м³ отложений, содержащих порядка 95–115 т ртути, т. е. удельные затраты на 1 кг обезвреженной ртути составили 4500–5400 долл. США. Стоимость ремедиации территории хлорно-щелочного завода в г. Скоголе (Швеция), в ходе которой было обезврежено 10 тыс. м³ почв и строительного мусора, содержащих 5,4 т ртути, оценивается в 16 млн. долл. США, т. е. удельные затраты на 1 кг обезвреженной ртути составляют 3000 долл. США. Затраты на ремедиацию загрязненной ртутью и другими поллютантами территории химического завода в г. Марктредвиц (ФРГ) составили 115 млн. долл. США [2]. Стоимость проекта по очистке русла р. Ролфстюн (Швеция), загрязненного сбросами древесного волокна с целлюлозно-бумажной фабрики, оценивается в 11–13 млн. долл. США [20]. Объем древесного волокна, загрязненного ртутью, общая эмиссия которой с фабрики оценивается в 2 т, составляет примерно 640 тыс. м³. Общие расходы на очистку загрязненных ртутью почв в г. Тайбэе (Китай) при использовании термического способа их обработки (до остаточной концентрации менее 2 мг/кг) оцениваются в 3557 тыс. долл. США, или 834 долл. на 1 м³ обезвреженного грунта [10]. В конце

1996 г. энергетической компанией «MidAmerican» (США) в шт. Айова были выполнены работы по очистке 4 участков, в ходе которых извлечено и переработано термическим методом более 24690 т загрязненных полициклическими ароматическими углеводородами почв и строительного мусора [3]. Общая стоимость проекта составила 2 млн. долл. США, причем удельная стоимость очистки 1 т почвогрунтов – 78,68 долл., в том числе, экскавация – 4,83 долл. (6,1%), транспортировка – 12,53 (15,9%), термальная обработка – 47,87 (60,9%), обратная засыпка обработанного материала – 4,83 (6,1%), прочие мероприятия (анализы, проектирование, экологический мониторинг и др.) – 8,62 долл. (11%). В 2005-2006 гг. на очистку порта г. Ричмонда (залив Сан-Франциско) от загрязненных донных отложений было затрачено 2041300 долл. США [4]. В ходе работ было изъято 6700 куб. ярдов отложений и 100 т металлолома. Изъятый материал был стабилизирован на месте и использован в качестве основания при создании асфальтового покрытия для автостоянки. Оставшиеся в заливе загрязненные отложения были перекрыты незагрязненным илом из другого района. Распределение расходов по основным статьям было следующим: изыскания – 188200 долл. (9,2%), инженерное проектирование – 181400 долл. (8,9%), природоохранные разрешения (на размещение отходов и т. п.) – 56800 долл. (2,8%), производство основных работ – 1535000 долл. (75,2%), надзор и техническая документация – 79900 долл. (3,9%).

Таким образом, в развитых странах мира при поддержке и непосредственном участии государства создана целая индустрия по выявлению, инвентаризации и оценке экологической значимости, очистке и восстановлению техногенно нарушенных территорий (независимо от их размеров). В сложившейся системе ремедиации важное значение отводится научным основам организации работ по инвентаризации (выявлению и оценке) загрязненных территорий и очистке загрязненных почв, которые включают идентификацию сценария загрязнения, оценку поллютанта с точки зрения его поведения в абиотической среде и переноса по биологическим трофическим цепям, изучение физико-химических свойств почв, установление потенциальной подвижности загрязняющего вещества. Можно считать, что технически уже найдены способы ограничения вредного воздействия промышленности и других видов хозяйственной деятельности на окружающую среду, а также разработаны технологии, позволяющие восстановить загрязненные территории. Более того, даже в финансовом отношении многие проблемы окружающей среды обходятся относительно недорого для современной экономически развитой страны. Именно поэтому во многих странах, с одной стороны, все яснее осознается тот факт, что охрана и восстановление природы уже представляет собой в гораздо большей степени политическую и организационно-правовую проблему, нежели проблему техническую или финансовую. Опыт развитых стран в области ремедиации загрязненных территорий свидетельствует о том, что при правильной постановке дела аналогичные работы полномасштабно могут быть организованы и в российских городах и промышленных районах.

Литература

1. Янин Е.П. Деконтаминация городских почв, загрязненных тяжелыми металлами (проблемы, состояние, методы) // Ресурсосберегающие технологии, 2002, № 20, с. 3–49.

2. Янин Е.П. Опыт ремедиации загрязненной ртутью территории (город Марктредвиц, Германия) // Проблемы окружающей среды и природных ресурсов, 2009, № 9, с. 70–95.

- 3.
- 4.
- 5.
- 6.
- 7.
- 8.
- 9.
- 10.
- 11.
- 12.
- 13.
- 14.
- 15.
- 16.
- 17.
- 18.
- 19.
- 20.
- 21.
- 22.
- 23.
- 24.
- 25.
- 26.