

Янин Е.П. Организационно-правовые аспекты очистки загрязненных городских почв (зарубежный опыт) // Прикладная геохимия. Вып. 6. Экологическая геохимия Москвы и Подмосковья. – М.: ИМ-ГРЭ, 2004, с. 286-312.

Введение

В городах интенсивность многолетнего техногенного воздействия и пространственная картина распространения загрязняющих веществ особенно четко устанавливаются по химическому составу и геохимическим свойствам почв, являющихся относительно консервативным компонентом городских ландшафтов. В конечном счете, в почвах формируются техногенные геохимические аномалии, пространственно отражающие зоны техногенного загрязнения, где концентрации поллютантов достигают опасных для живых организмов уровней [1, 7, 8, 55]. В этой проблеме особое место принадлежит загрязнению территорий городов тяжелыми металлами, поскольку быстрое и требуемое по соображениям гигиенической и экологической безопасности естественное самоочищение почв от металлического загрязнения затруднено, а во многих случаях практически невозможно.

В промышленно развитых странах проблеме очистке загрязненных тяжелыми металлами городских почв уделяется самое пристальное внимание. Здесь в последние 15-20 лет не только активно выполняются исследования по выявлению и инвентаризации зон техногенного загрязнения, но и большое внимание уделяется развитию технологий их очистки, в значительных масштабах проводятся работы по деcontаминации (*decontamination* - обеззараживание, очистка) или, как часто пишут в англоязычной литературе, ремедиации (*remediation* - восстановление, «излечивание») химически загрязненных почв городов и промышленных территорий. Можно сказать, что в таких странах создана целая индустрия по очистке и восстановлению загрязненных почв. Так, в 1997 г. рынок ремедиации загрязненных почв 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. [28]. Существенная доля рынка приходится на рекультивацию мест свалок (2,2 млрд.) и очистку загрязненных нефтью почв (2 млрд. долл.). Затраты на восстановление участков, пострадавших в результате военных действий, оцениваются в 941 млн. долл. В Европе все еще нуждаются в очистке огромные площади земель, нарушенные при добыче полезных ископаемых. Например, в Испании на восстановление земель, загрязненных отвалами горнодобывающих предприятий, ежегодно расходуется около 200 млн. долл. США. В середине 1990-х гг. годовые расходы на деcontаминацию загрязненных участков в Нидерландах достигали 1,5 млрд. французских франков, в ФРГ на очистку 220 участков было затрачено 5,5 млрд. французских 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, превысила 1 млрд. фр. франков [16, 43]. 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.

Правовые аспекты и состояние работ по очистке почв

В развитых зарубежных странах проблема химического загрязнения почв стала привлекать внимание государственных и местных органов управления главным образом в последние 25-30 лет. Например, в США Федеральная программа по этой проблеме осуществляется с 1981 г., в Канаде - с 1989 (в отдельных провинциях несколько раньше), в Англии и Нидерландах - с 1987, во Франции - с 1984, в ФРГ - с 1970 г. [62]. Документы Европейского агентства по окружающей среде свидетельствуют, что в качестве главных, приоритетных экологических проблем для Европы рассматриваются проблема загрязненных почв и проблема отходов. Во многом это обусловлено тем, что в некоторых районах Европы интенсивность загрязнения почв такова, что вряд ли можно ожидать его ослабления только лишь в результате естественных процессов, свойственных самой почве. К тому же физико-химические и биологические механизмы природного самоочищения почв изучены еще недостаточно полно и для окончательных выводов требуется дополнительная информация, в том числе необходимых для моделирования процессов мобилизации/иммобилизации поллютантов [25]. В Европейском Сообществе развивается база данных по почвам как средство оценки риска и принятия решений [49]. В основу ее положена почвенная карта Европы, созданная на основе карт 1:2500000 (1952 г.), карты почв мира 1:5000000 (1975 г.), стран ЕС 1:1000000 (1985 г.). Компьютерная обработка данных по известной программе CORINE, осуществленная в 1986 г., позволила провести синтез и генерализацию карт и получить возможность автоматизированного построения национальных и региональных почвенных карт масштаба 1:50000 и 1:25000. В базе данных содержатся на 1-м уровне: текстура, структура почв, pH, содержания органического вещества, общего азота, карбонатов, сульфатов, кальция, электрический потенциал, электропроводность, емкость обмена, влагоемкость, плотность, глубина корневой системы, уровень подземных вод, почвообразующий субстрат. На 2-м уровне - данные по агрохимии почв, на 3-м - по региональному районированию почв по почвообразующим субстратам, климату, геоморфологии, растительности или топографии. Опыт свидетельствует, что указанная база данных становится эффективным инструментом для оценки экологического риска, прогноза ситуаций и принятия

решений для обеспечения безопасности в будущем. Известен еще один европейский проект - EUROSOL, который ставит своей целью выбор и описание эталонных почв Европы для экотоксикологического тестирования.

В США, ФРГ и Нидерландах территории, в пределах которых есть загрязненные почвы, рассматривают как серьезную угрозу здоровью человека и состоянию среды обитания. В Канаде и Великобритании эта проблема оценивается в основном в контексте возможностей будущего использования земель. Во многих странах действует принцип: «расходы по очистке должен нести виновный в создании загрязнения»; в Великобритании до последнего времени очистка конкретного участка территории зависела целиком от воли его владельца [33]. Работы по инвентаризации загрязненных почв и их восстановлению активно осуществляются также в Японии, Швейцарии, Дании, Испании, Италии и других странах Европы. Существует обоснованное мнение, что для стран Восточной Европы вступление в ЕЭС послужит побудительным мотивом для осуществления специальных программ по деkontаминации загрязненных территорий [28]. Действительно, уже сейчас этому вопросу большое внимание уделяется в Чехии и других странах Центральной и Восточной Европы. В США и Германии активно проводятся исследования, направленные на установление возможностей и условий природного самоочищения загрязненных почв, которое во многих странах рассматривается как альтернатива активному восстановлению, поскольку последнее часто не может быть реализовано из-за высокой стоимости соответствующих работ [67]. С этой целью изучаются процессы миграции и подвижность загрязняющих веществ, а также роль различных почвенных факторов, процессов биоразрушения, проводятся полевые и лабораторные эксперименты, в том числе, по разработке способов фитоочистки почв. Тем не менее на состоявшемся в 2000 г. во Франкфурте-на-Майне 1-м международном симпозиуме по природному самоочищению окружающей среды был сделан вывод, что данный процесс не всегда эффективен с точки зрения полноты очистки, времени и финансовым затратам, он, как правило, должен сочетаться с различными технологиями искусственной очистки [72].

В США известны два основных закона (с последующими поправками), касающиеся загрязненных земель: Закон о рациональном природопользовании и восстановлении земель (1976 г.) и Закон об ответственности и возмещении ущерба окружающей (1980 г.). В стране в целях наиболее эффективного природопользования с учетом региональных особенностей разработаны меры правового регулирования землепользования нормами экологического права в дополнение к традиционному зонированию [6]. В конце 1980-х гг. количество загрязненных мест в США, требующих скорейшей очистки и включенных в программу Суперфонд, составляло 1175 [74]. Предполагаемые затраты на их восстановление оценивались в 30 млрд. долл. В конце 1990 г. в США около 33 тыс. участков считались по-

тенциально опасными с позиций химического загрязнения; к 1995 г. их число увеличилось до 35 тыс. [44]. Особое внимание в стране уделяется проблеме заброшенных старых свалок, их выявлению, оценке и рекультивации. В США на промышленные отходы введены специальные налоги, поступающие в фонд финансирования работ по деконтаминации территорий. Успешно функционирует Служба обеспечения использования почв. Проводятся работы по экологическому восстановлению территорий бывших военных полигонов, для чего Министерством обороны разработана и осуществляется (инженерным корпусом армии США) Программа комплексной очистки (восстановления), включающая и деконтаминацию почв, на которую до 2005 г. предполагается затратить 7,3 млрд. долл. [46]. В настоящее время в ведении Программы восстановления находится 9 тыс. бывших владений Министерства обороны. В 1983 г. в США был принят Закон об экологически аварийных участках федерального значения, число которых достигает почти 4000 [45]. К настоящему времени обезврежено примерно около трети из них (на каждый объект в среднем расходовалось 25-30 млн. долл.). В 1993 г. Агентство по охране окружающей среды США выступило с инициативой по восстановлению бывших промышленных зон [54]. Цель данной программы - дать стимул штатам, населению и всем, кто занимается экономическим возрождением, работать вместе по общему плану над преобразованием городских и промышленных земель. В эту программу, предлагающую быстрые и эффективные меры в рамках закона о Суперфонде, были включены загрязненные территории промышленных зон, подлежащих деконтаминации или использованию в других целях. В рамках указанной программы осуществляются различные дополнительные проекты аналогичной направленности: пилотно-демонстрационные, а также проекты, решающие вопросы юридической ответственности и очистки территорий промышленных зон, партнерство и расширение охвата территорий. К настоящему времени работы по восстановлению старых промышленных зон ведутся во всех штатах страны, что, как подчеркивают авторы цитируемой работы, говорит о существенном успехе программы.

Необходимость очистки и повторного использования заброшенных земель в США стимулируется требованием общественности сдерживать рост городских территорий. Однако трудность заключается в том, что обычно намного легче застраивать неосвоенный участок, нежели заброшенные загрязненные промышленные зоны. К тому же, частные инвесторы неохотно осваивают индустриальные пустыри, поскольку опасаются, что на них будет возложена ответственность за остаточное загрязнение участков. Это, в свою очередь, активизирует усилия властей по выявлению и очистке таких территорий с целью их последующего экономически выгодного освоения. Обычно восстановление загрязненных и нарушенных промышленностью участков происходит в следующих случаях [65]: 1) когда преследуются интересы охраны окружающей среды, 2) если существует недовольство населения загрязненностью территории, 3) имеются

требования законодательства относительно ликвидации техногенного загрязнения. Недавно в США на федеральном уровне состоялся Круглый стол по вопросам технологий очистки территорий (*remediation technologies*) от опасных отходов и загрязнения, который был организован как рабочая группа для создания творческой атмосферы между различными федеральными агентствами, вовлеченными в данную экологическую деятельность [76]. Его участники выступили с инициативой совершенствования и увеличения доступности данных об издержках и результатах использования существующих технологий очистки. К настоящему времени подготовлены и опубликованы, по крайней мере, 140 исследований о различных проектах, основанных на применении таких технологий для очистки почв, зданий, подземных вод. Рассмотрению различных способов очистки почв, загрязненных тяжелыми металлами, были посвящены специальные заседания на конференции и симпозиуме по экологическим проблемам, организованных Американским химическим обществом в Анахайме, шт. Калифорния [38]. В стране существуют прикладные и научные фирмы и компании, специализирующиеся на очистке почв и переработке загрязненных материалов, на разработке соответствующих технологий (например, *Chemical Land Holdings Inc.* и др.), издаются специальные журналы, посвященные проблемам деkontаминации окружающей среды (например, «*Remediation*» и др.).

В Канаде на общенациональном уровне осуществляется Программа восстановления загрязненных участков, в некоторых провинциях (Квебек, Британская Колумбия, Онтарио и др.) имеются министерства окружающей среды, приняты законодательные акты, установлены гигиенические нормативы содержания в почвах химических элементов, проводится регулярный контроль и инвентаризация химического загрязнения земель [68]. Например, недавно Министерство охраны окружающей среды провинции Онтарио подготовило отчет о результатах исследования почв на участках, примыкающих к промышленной зоне рафинировочной фабрики *Port Colborne* компании *Inco* [37]. Выявлено 16 участков, включая жилые поселки, где концентрации химических веществ достигли опасных для здоровья людей уровней. Министерство обязало компанию провести необходимые работы по ремедиации загрязненных территорий.

В начале 1980-х гг. во Фландрии (Бельгия) многие заброшенные промышленные участки, загрязненные химическими веществами, были включены в городские территории. Проведенная позднее инвентаризация установила 6500 участков, представляющих собой главным образом бывшие промышленные зоны и свалки отходов [56]. В 1995 г. во Фландрии был принят Закон о восстановлении загрязненных почв, основанный на следующих ключевых положениях: 1) проведение инвентаризации загрязненных территорий, 2) разделение «нового» и «остаточного» (исторического) загрязнения, 3) различие между обязанностью деkontаминации почв и ответственностью за загрязнение, 4) поэтапная процедура восста-

новления загрязненных участков, 5) существование специальных процедур передачи земли и закрытия промышленных предприятий. Только во второй половине 1990-х гг. в этом регионе Бельгии было подготовлено 10 тыс. отчетов об особенностях загрязнения различных территорий. Одновременно правительством Фландрии приняты решения о проведении детальных исследований выявленных загрязненных участков и об оценке экологического риска, с ними связанного. В 2000 г. на 2 тыс. участках такие работы были завершены, был выявлен 801 участок, требующий проведения деконтаминационных мероприятий. Для 450 участков уже подготовлены проекты очистки и полного восстановления. Многие авторы считают, что упомянутый выше закон сыграл важную роль в вовлечении нарушенных земель в хозяйственное использование и в контроле над действующими предприятиями. Он также послужил основой для работы над стратегическим проектом развития бывших промышленных зон, который предусматривает улучшение их экологического состояния и социально-экономическое восстановление окружающих территорий.

В Великобритании, согласно одной из оценок Агентства по охране окружающей среды страны [39], свыше 150 тыс. га земли, ранее хозяйственно использовавшиеся, в настоящее время загрязнены, что привело к необходимости разработки соответствующих планов по их очистке. По недавнему сообщению [52], в стране в результате промышленной деятельности в прошлые годы насчитывается около 100 тыс. загрязненных участков общей площадью 300 тыс. га. В июле 2001 г. была завершена их детальная идентификация, поэтому местные власти (согласно части ПА Закона об охране окружающей среды 1990 г.) могут настаивать на их очистке. С 1 апреля 2000 г. в Великобритании действуют новые правила, согласно которым выделяются загрязненные земли и специальные участки [22]. Под специальными участками понимаются земли, занятые отвалами кислотного гудрона, отходами очистки нефти и битуминозных веществ (без угля), отходами производства взрывчатых веществ и химического оружия. По этим правилам местные власти обязаны периодически обследовать состояние земель и выявлять загрязненные территории. Предварительно должны быть опубликованы параметры, по которым земли относятся к загрязненным. Кроме того, отводится 3 месяца на обсуждение и переговоры по добровольной очистке территории, при этом в соответствующем постановлении должно быть определено ответственное за очистку лицо. На момент публикации такие правила еще не были приняты парламентами Уэльса и Шотландии. В 2000 г. вступил в силу закон о так называемом историческом загрязнении, согласно которому расходы по очистке загрязненных территорий могут лечь на нынешних владельцев загрязненных участков, если первоначального виновника невозможно найти. Автор цитируемой работы считает, что инженерам-строителям это очень выгодно - они не только будут проводить оценку и очистку таких участков; одно-

временно существенно повышается уровень технической оценки риска, связанного с покупкой земли и ее застройкой в будущем.

В Нидерландах правовые аспекты деконтаминации загрязненных территорий определяются соответствующими законами (Закон об очистке почвы 1983 г., Закон о восстановлении урбанизированных и сельскохозяйственных территорий 1984 г., Закон об охране почвы 1986 г., переработанный Закон об охране почвы 1994 г., включающий главу об их очистке, Закон о природопользовании 1993 г. и др.). В 1983 г. в стране введены в действие стандарты на допустимые содержания широкой группы поллютантов в почвах, которые в последствие были приняты почти всеми странами ЕС. К концу 1980-х гг. в Нидерландах была проведена целенаправленная идентификация загрязненных земель [26] и выявлено 7,5 тыс. участков с загрязненными почвами [27]; в 1995 г. называлась цифра уже в 110 тыс. участков [16, 43], содержащих 200 млн. т загрязненного грунта [58]. Ответственность за охрану почв и их ремедиацию возложена на Министерство жилищного строительства, районной планировки и окружающей среды [57]. Для управления и контроля за очисткой изъятых почвогрунтов (с общественных земель) создана независимая некоммерческая организация - Центр по обработке почв. Главный руководящий принцип политики Нидерландов по охране и использованию почв - использование (содержание) или восстановление почв должны быть мультифункциональными. Это означает, как отмечалось выше, что концентрация любого поллютанта, присутствующего в почве участка, отнесенного к загрязненным, в конечном счете должно стать меньше голландской величины А. На начальных этапах осуществления деконтаминационных работ в основном применялись достаточно дорогие способы, основанные на изъятии загрязненной почвы и ее обработке на специальных установках; использовались также методы изоляции и стабилизации зон загрязнения. В последние годы все более широкое применение получают способы деконтаминации почв непосредственно на месте. В стране осуществляется несколько исследовательских проектов, объединенных в общую программу изучения почв, основными направлениями которой являются: 1) сравнительные исследования техногенного загрязнения почв и воздействия его на живые организмы; 2) изучение динамических аспектов загрязнения; 3) установление связи доза-эффект; 4) разработка моделей для установления безопасных уровней загрязнения почв. В стране особое значение придается составлению локальных карт распределения фоновых концентраций поллютантов в почвах как отправной точке для оценки риска ее техногенного загрязнения [75].

В ФРГ правительство уже с 1970 г. работает над проблемой защиты территорий от загрязнения; в стране приняты Законы об обезвреживании отходов (1972 и 1988 гг.) и Закон о защите окружающей среды (1974 г.) [66]; в 1985 г. начаты научно-исследовательские работы по государственной программе «Концепция защиты почвы» [62]. В конце 1980-х гг. был поставлен вопрос о необходимости проведения региональных исследова-

ний природного и техногенного загрязнения почвенного покрова тяжелыми металлами [59]. В 1989 г. Немецким научно-исследовательским объединением был создан исследовательский центр «Обработка загрязненных почв», главной задачей которого являются обоснование научных основ процессов очистки, оптимизации и разработки практических методов восстановления загрязненных почв [63]. В основном усилия специалистов Центра направлены на создание унифицированных биологических методов в сочетании с физико-химическими процессами, пригодных для очистки почв, загрязненных нефтью. Отдельной областью исследований является разработка систем защиты почв. В марте 1999 г. в Германии введен в действие новый федеральный закон об охране почв, устанавливающий основные виды негативных воздействий, нарушающих качество почв и облик ландшафтов, определяющий ответственность землевладельцев, землепользователей и проектировщиков за предотвращение загрязнения почв, необходимость своевременной разработки и реализации мероприятий по рекультивации ранее нарушенных и загрязненных территорий [60]. По данным различных организаций, в 1989 г. в пределах ФРГ существовало 50 тыс. опасных участков, из которых 6 тыс. требовали незамедлительных мер по деконтаминации. В 1995 г. их количество увеличилось до 70 тыс. [43], причем только в районе Берлина располагалось 4,5 тыс. Я. Бретт [15] сообщает, что в ФРГ учтено 139 тыс. загрязненных участков. В стране активно проводятся работы по восстановлению территории бывших военных баз США. Особое внимание уделяется разработке методов выявления и оценке загрязненных тяжелыми металлами. В частности, усилия специалистов направлены на поиск методик, обеспечивающих возможности объективной оценки истинной токсичности загрязненных тяжелыми металлами почв [73]. На отдельные территории Германии созданы эколого-геохимические (цифровые) карты, на основе которых разрабатываются природоохранные мероприятия. В частности, карты масштаба 1:50000 составлены для целого ряда округов и городов земли Северная Рейн-Вестфалия, на которых показано распределение тяжелых металлов, ПАУ и других загрязняющих веществ в верхнем слое почвенного покрова [34]. Составление карт осуществляется при помощи специального модуля земельной информационной системы, содержащего данные по содержанию вредных веществ в почве.

К 1991 г. Министерство по окружающей среде Франции завершило общенациональную инвентаризацию интенсивно загрязненных земель, в ходе которой были выявлены 80 участков, представляющих собой старые свалки и полигоны промышленных отходов [41]. Систематическому исследованию подвергались также регионы с высокой плотностью расположения промышленных предприятий, рассматриваемые как зоны риска. Согласно первому учету загрязненных участков, в 1993 г. их число составляло 553 [30]. В декабре 1994 г. указанное Министерство опубликовало временную инструкцию по инвентаризации загрязненных участков. Пла-

нировалось также издание национального каталога техногенно нарушенных и загрязненных территорий. Первые региональные исследования, выполненные в Верхней Нормандии, Лотарингии, Центральных Пиренеях и в районе Прованс-Альпы-Лазурный берег, позволили оценить степень риска и наметить приоритеты по реабилитации загрязненных участков. Есть сведения, что их число в целом по стране составляет 669, примерно 19,5% из которых были загрязнены в результате размещения отходов химической и фармацевтической промышленности, 18% - черной металлургии, 10,6% - нефтегазовой промышленности, 9,6% - коксохимического производства, 7% - цветной металлургии [43, 47]. Я. Бретт [16] приводит цифру в 700 загрязненных участков. В 1997 г. во Франции был опубликован второй государственный перечень загрязненных территорий, а Министерство окружающей среды разослало префектам округов циркуляр с просьбой представить отчет о мерах, предпринятых по каждому из 896 мест, указанных в этом перечне [17]. Но, судя по всему, масштабы химического загрязнения почв в стране более существенные. Так, есть сведения, что во Франции насчитывается от 45 до 65 тыс. загрязненных участков, из которых от 450 до 1100 требуют принятия срочных рекультивационных мер [47]. До недавнего времени в стране насчитывалось до 36 тыс. участков, загрязненных только углеводородами, число которых в последние годы за счет принятых мер сократилось до 20 тыс. [18]. С начала 1990-х гг. во Франции в связи с участившимися случаями купли-продажи земли новые собственники ставят вопрос об очистке загрязненных почв, что требует проведения экологического аудита, а также специальной диагностики почв с целью определения природы и масштабов загрязнения [48]. Данная проблема активно обсуждается юристами, рассматривающих вопросы дифференциальной оценки ответственности первоначальных и последующих землепользователей в случаях нарушения допустимых норм загрязнения почвы, пути решения спорных вопросов при выявлении фактов скрытого загрязнения, гарантий компенсации возможных убытков [13]. Согласно Закону Франции о гражданской ответственности [16], если известен виновник (источник) загрязнения участка, то расходы по его деконтаминации несет он, а в случае неизвестных или не найденных источников загрязнения или в связи с истечением длительного периода времени после факта загрязнения очистка осуществляется за счет средств местного бюджета. В 1994 г. в соответствие с дополнением к статье 1602 Гражданского кодекса от 19 июля 1976 г., видоизмененного в 1992 г., были внесены дополнения и изменения в Горнорудный кодекс Франции, в котором появилось условие обязательного информирования будущего покупателя обо всех изменениях, произошедших на участке земли за период его эксплуатации. Новые положения обоих Кодексов требуют представления информации о степени риска для окружающей среды и для здоровья человека, проистекающего от условий эксплуатации продаваемого участка, в том числе о количестве, видах и степени опасности отходов, которые образовались за период экс-

плуатации участка. В случае продажи участка продавец должен сообщить об этом в местные органы власти, которые создадут комиссию для проверки состояния территории, причем продавец несет юридическую ответственность за достоверность предоставляемой им информации, а за ее сокрытие или за ложную информацию ответственность может быть и уголовной [29].

В Дании широкой известностью пользуется фирма с центром в Арнхеме, специализирующая на строительстве заводов по очистке и обеззараживанию почв. Она является ведущей в этом бизнесе в Европе, успешно конкурирует и не менее успешно сотрудничает с соответствующими фирмами США [53]. Один из таких заводов стоимостью 8 млн. долл. был построен в Голландии, в 50 км к югу от г. Роттердама. Он способен перерабатывать 75 тыс. т загрязненной почвы в год и, как отмечает автор приводимого сообщения, приносит не только экологическую пользу, но и экономическую выгоду его владельцам.

В Японии большое внимание уделяется очистке загрязненных территорий (почв и подземных вод), поскольку их существование уже превратилось в серьезную проблему, беспокоящую власти и общество [69]. Особенно популярными в последние годы являются такие относительно новые технологии, как инъекция извести и воздуха, воздушный барботаж, биоремедиация, создание непроницаемых барьеров, широко используются стабилизация и отверждение (при ликвидации металлического загрязнения), а также экстракция, откачка и обработка почвенных газов (для удаления хлорорганических соединений) [8]. Порядок проведения оценочных и восстановительных работ определяется существующей нормативно-правовой базой. В стране широко практикуется рециклинг извлеченного при строительстве и проведении дорожных работ грунта. Так, в 1990 г. объем извлеченного материала такого вида составил 370 млн. м³, что стало огромной проблемой для страны, поскольку относить весь этот извлеченный грунт к отходам стало уже невозможно [50]. В связи с этим в 1991 г. на правительственном уровне было принято решение об интенсификации работ по утилизации таких грунтов с целью их последующего использования для планировки местности или в дорожном строительстве. В стране созданы специальные фирмы по разработке и внедрению в практику соответствующих технологий.

В Польше высокая степень загрязнения тяжелыми металлами значительных по площади территорий существенно уменьшает возможности их хозяйственного использования [71]. Вблизи промышленных центров уровни содержания многих тяжелых металлов в 100 раз и более превышают их фоновые уровни [40]. Наиболее интенсивно тяжелыми металлами загрязнены почвы юго-восточной части страны, а в целом таким видом загрязнения охвачено 11% всей территории Польши, на которой проживает 35% ее населения [31]. К началу 1990-х гг. в Польше было выделено 27 экологически опасных района, общей площадью около 35 тыс. км² и в ко-

торых проживает примерно 13 млн. чел. [24]. Особую опасность представляет загрязнение кадмием и свинцом, которое особенно значительно вблизи крупных промышленных центров и в горнодобывающих районах. Кислотные дожди способствуют выщелачиванию металлов из почв и повышению их биологической доступности. В связи с этим в последние годы чрезвычайно актуальным стал вопрос об определении точных границ подобных зон загрязнения. С этой целью осуществляются специальные исследования (включая мониторинг и картирование) состава почв и грунтов [70]. В стране также проводятся исследования, целью которых является определение наиболее подходящих технологий деkontаминации загрязненных почв и технических условий этого процесса [11]. Основным акцентом делается на возможность использования методов очистки почв, разработанных в США.

В последние годы в Чехии активизируются работы, связанные с оценкой состояния почв, с выявлением и деkontаминацией загрязненных участков, в том числе, с использованием опыта США и особенно Нидерландов [57, 58]. Геологической службой страны осуществляется исследовательская программа, имеющая название «Геохимический Атлас Чешской Республики» и составной частью которой являются геохимические исследования (картирование) почв [3]. В стране существуют два фонда: Фонд государственного имущества (ФГИ) и Фонд окружающей среды (ФОС). В сферу деятельности ФГИ входит главным образом решение проблем загрязнения на приватизированных предприятиях. ФОС создан для осуществления работ по очистке и восстановлению территорий бывших 73 военных баз Советской армии, 60 из которых требуют деkontаминации почв [58]. К 1996 г. ФГИ было уже заключено 220 договоров на очистку загрязненных участков (на общую сумму в 173 млн. долларов США). В ближайшие несколько лет, после очистки загрязненных участков, образно названных «бремя прошлого», деkontаминационные работы будут осуществляться только за счет предприятий, ответственных за загрязнение почв.

Таким образом, в промышленно развитых странах проблеме очистке загрязненных тяжелыми металлами городских почв уделяется самое пристальное внимание. По сути дела, в этих странах создана целая индустрия по очистке и восстановлению таких почв. Технически, несмотря на все еще неудовлетворительное состояние соответствующих исследований, 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 политиче-

скую и организационно-правовую проблему, нежели проблему техническую или финансовую.

Основные способы очистки загрязненных почв

В настоящее время известны два основных подхода к восстановлению загрязненных почв [18, 19, 10]. Первый из них основан на удалении поллютантов из почв тем или иным способом, вернее, на снижении их концентраций до безопасного с эколого-гигиенической точки зрения уровня содержания (деконтаминация в прямом смысле). Второй предполагает проведение мероприятий, направленных на стабилизацию зоны загрязнения и на снижение подвижности и биологической активности поллютантов (иммобилизация загрязняющих веществ и детоксикация почв), включая механические или инженерно-геологические способы изоляции загрязненных мест. Контролируемое размещение загрязненных почвогрунтов на постоянных или временных площадках также считается способом ремедиации.

Практическое применение технологий и способов очистки почв в существенной мере определяется свойствами поллютантов (способность переходить в летучее состояние, образовывать в почве прочносвязанные соединения и т. д.), а также такими характеристиками почв, как гранулометрический состав, особенно соотношение песчаных и глинисто-суглинистых частиц, содержание гумуса и др. Значение имеет также степень однородности распределения как физико-химических свойств почв, так и распределения поллютантов в их толще. С точки зрения интенсивности загрязнения, подлежащие очистке почвы могут типизироваться на участки с очень сильным и локализованным загрязнением, где поллютанты иногда распространились глубоко вниз по почвенному профилю, и на участки, в пределах которых поллютанты более или менее рассеяны и главным образом сосредоточены на поверхности или в верхнем горизонте почв [58]. Способы удаления их из почв в самом общем виде могут основываться на одном из следующих принципов: молекулярное разделение, фазовое разделение, химическое разрушение и биodeградация. Конкретная технология очистки, как правило, часто базируется на нескольких принципах, что определяется свойствами поллютантов и их связи с частицами почвы. Свойства поллютантов, имеющие значение для применяемой технологии ремедиации, включают: летучесть, растворимость в воде или органических растворах, химическую/термическую неустойчивость, способность к биохимическому разложению, поведение в процессах адсорбции/абсорбции, магнитные и электрические свойства, поверхностные свойства, размер, форма и плотность несущих загрязнение частиц.

В зарубежной практике способы и технологии деконтаминации загрязненных почв часто рассматривают с позиций их места (способа) при-

менения [20, 23]: 1) обработка вне загрязненного участка, которая связана с извлечением обычно больших объемов загрязненного грунта и переработкой его в специальных стационарных установках (представляющих собой по сути промышленные предприятия), расположенных относительно

далеко за пределами рекультивируемой территории; 2) обработка *in situ* (на месте) с инжектированием в загрязненный участок соответствующих химических агентов и последующей утилизацией выделяющихся парагазообразных 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 правило, для предотвращения загрязнения грунтовых вод. К настоящему времени разработаны и внедрены в практику разнообразные методы и технологии деконтаминации почв, загрязненных органическими и неорганическими веществами, радионуклидами, микроорганизмами (табл. 1, 2). В частности, уже в начале 1990-х гг. были известны 45 способов деконтаминации почв и сопутствующих технологий, нашедших достаточно широкое практическое применение [12]. В последние годы особое внимание уделяется использованию для очистки загрязненных металлами почв различных растений (фиторемедиация), обычно включающая два этапа: подготовительный и собственно фитоэкстракцию (рис. 1).

Таблица 1. Наиболее распространенные способы обработки изъятых грунтов [58]

Технология	Область применения	
	Почвы	Поллютанты
Тепловая обработка	Все типы	Органики, ртуть
Экстракция/влажное разделение (промывка почв)	Песчаные	Все типы
Биологическая обработка:		
Размещение на свалках	----//----	Способные к микробиодеградации
Кучная система	----//----	----//----
Шламовый реактор	Все типы	----//----

Таблица 2. Наиболее часто применяемые на практике способы обработки почв *in situ* [58]

Технология	Область применения	
	почвы	поллютанты
Экстракция растворами	Песчаные	Водорастворимые
Паровакуумная экстракция	----//----	Летучие
Продувка воздухом	----//----	----//----
Биовосстановление	песчаные	Способные к микробиодеградации
Электромелиорация	Все типы	Тяжелые металлы
Отверждение/стабилизация	----//----	Неорганические (органические)
Геогидрологическая изоляция	----//----	Все типы
Механическая/физическая изоляция	----//----	----//----

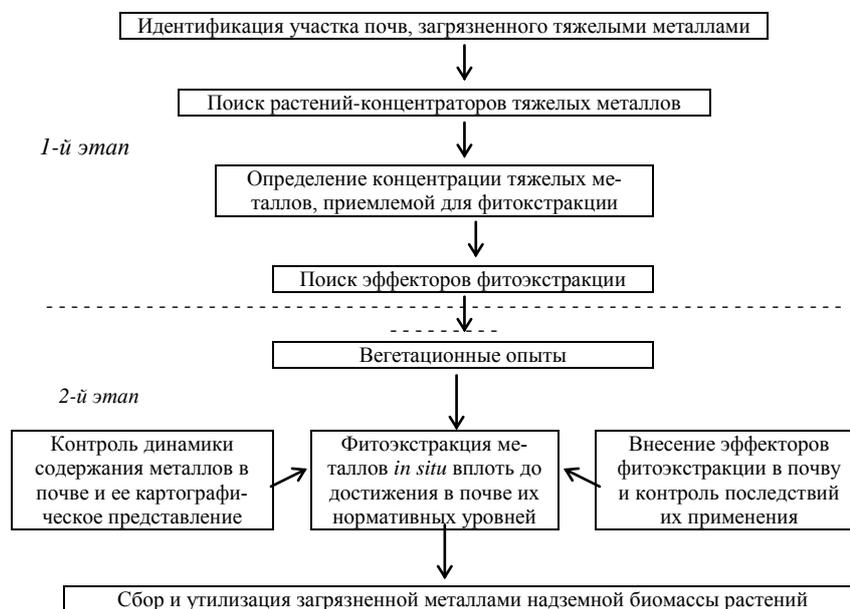


Рис. 1. Схема фитоэкстракции тяжелых металлов из загрязненных почв [2].

Основные требования, предъявляемые к различным способам деконтаминации почв, сводятся к следующим положениям [5]: 1) возможность применения метода *in situ*; 2) селективность метода по отношению к определенным поллютантам; 3) «экологическая чистота» применяемого метода; 4) относительно высокая степень и скорость очистки; 5) экономическая эффективность метода. Авторы цитируемого обзора предприняли попытку типизировать используемые методы деконтаминации так называемой геологической среды, выделив среди них физические (механические, гидродинамические, аэродинамические, термические, электрические, магнитные, электромагнитные), физико-химические (коагуляционные, ионообменные, сорбционные), химические (осаждения, окисления-восстановления, замещения, комплексообразования) и биологические (микробиодеградации, биопоглощения).

Организация работ по деконтаминации почв и комплексирование методов очистки

В существующей в западных странах системе деконтаминации особое значение отводится научным основам организации работ по защите и очистке загрязненных почв. Обычно такие работы включают [62]: идентификацию сценария загрязнения, оценку поллютанта с точки зрения его

поведения в абиотической среде, оценку переноса загрязняющего вещества по биологическим трофическим цепям, устойчивость загрязняющего вещества. Особое значение имеют прогнозные математические модели миграции поллютантов, нахождения оптимальных путей деконтаминации 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.).

В ФРГ работы по санации загрязненного участка почв и грунтов начинаются с его детального обследования: проводятся геофизические, геохимические и геолого-гидрогеологические исследования [42]. На основании полученных данных делается заключение о степени опасности загрязненного участка для окружающей среды (стоимость составления подобного заключения составляет 1000-3000 немецких марок) и затем разрабатывается проект его восстановления. Обычно в практике работ по деконтаминации 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 100-450 марок за 1 т грунта. Умеренно загрязненный грунт можно сжигать на мусоросжигательных заводах (затраты составляют 100-150 марок/т), сильно загрязненный - в специальных установках (1000-2000 марок за 1 т). Существует несколько способов изоляции загрязненного грунта на месте, позволяющих исключить проникновение токсичных веществ в грунтовые воды и их выделение в воздух. Затраты на устройство изоляционных покрытий из глины составляют 40-60 марок/м², из синтетических материалов - 50-70, из металла - 60-280 марок/м². Для деконтаминации используют промывку водой (затраты составляют 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 методе (комплексе методов) очистки почв решается индивидуально [51]. В районе Рура, одной из крупнейших промышленных зон в Европе, работы по оценке интенсивности загрязнения территории осуществлялись в два этапа. На первом этапе были проведены обширные исследования загрязненных территорий с использованием значительной по объему информации, связанной с геологическими и геодрогеологическими условиями района [21]. 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 очист-

ки и обработки загрязненных участков. В Нидерландах, где в последние примерно 10 лет было изъято и затем обработано > 5 млн. т загрязненной почвы (до требуемых законодательством уровней поллютантов), стоимость обработки 1 тонны грунтов варьировалась от 50 до 80 долл. США [58].

Во Франции, как отмечалось выше, существует специальная инструкция по инвентаризации загрязненных территорий. В стране создано профессиональное объединение предприятий, занимающихся деконтаминацией загрязненных участков. По оценкам его специалистов, ежегодные вложения на реабилитацию должны были составить порядка 1 млрд. французских франков на протяжении, как минимум, 15 лет [43]. За счет введения новых налогов на специальные отходы в рамках Закона об усилении ответственности за защиту окружающей среды, образован фонд в размере 100 млн. франков, предназначенный для деконтаминации заброшенных участков. 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 складировются опасные отходы. Третья категория участков - это территории на горных породах, загрязнение которых представляет опасность из-за возможной фильтрации поллютантов.

В общем случае действия по реабилитации загрязненных почв включают множество стадий: диагностику, оценку возможных методов деконтаминации, собственно очистку, контрольные исследования [19]. Как уже говорилось, необходимым элементом этих действий является аудит, проводимый по месту, позволяющий реализовать меры по деконтаминации. Обычно классическое проведение аудита по месту 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 участка и выбора наилучших методов исследования. Для этого используются документальные и литературные данные; проводится анкетирование участка; оценивается предыдущая деятельность на участке; исследуется происхождение отходов (загрязняющих веществ) с целью определения возможности их рециклинга и т. д. Сбор данных является элементом диагностики участка, позволяющим определить природу загрязняющих веществ, выбрать способы обработки. Обычно на этом этапе широко используются архивные данные департаментов, национального географического института, топографические карты, данные аэрофотосъемки, техническая документация, геологические и гидрологические данные; анализируется степень загрязнения подземных вод. Если уже имеющихся данных недостаточно, то проводятся отбор проб почвогрунтов для последующего анализа их на содержания загрязняющих веществ, устанавливается степень загрязнения подземных вод. В конечном счете определя-

ются объем и масштабы загрязнения почвы и подземных вод, особенности распределения поллютантов в вертикальном и горизонтальном направлениях, своеобразии их миграции. Вторая фаза аудита, также состоящая из нескольких стадий, прежде всего включает анализ проб почвы и подземных вод, оценку риска для здоровья человека и окружающей среды, выдачу рекомендаций по деконтаминации с целью снижения риска; устанавливается иерархия риска. Затем следует стадия принятия решений, сопровождающаяся технико-экономическим анализом с определением объемов финансирования и трудовых затрат. Конечной стадией является разработка проекта реабилитации участка.

В опубликованном в ноябре 1997 г. втором официальном перечне загрязненных участков Франции говорится, 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 [17]. Особое внимание обращалось, во-первых, 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); во-вторых, на контроль влияния вод загрязненных участков на грунтовые или поверхностные воды сопредельных районов (установление пьезометров по периметру загрязненных территорий). Для выявления и диагностики загрязненных участков часто используют экспресс-анализ, основанный на исследовании состава почвенного воздуха (почвенных газов) *in situ* и позволяющий относительно быстро локализовать зоны загрязнения [36].

Собственно работы по деконтаминации почв проводятся в несколько этапов [15, 32]. На 1-м этапе определяется геологическое положение загрязненного участка, изучается история землепользования, осуществляется диагностика потенциально опасных участков с целью определения параметров загрязнения и масштабов и специфики воздействия его на окружающую среду, главным образом на почву и подземные воды. Затем идентифицируют источники загрязнения, их локализацию, генезис, объем и физико-химическое состояние поллютантов, механизмы их фиксации и(или) переноса, анализируются пути воздействия загрязняющих веществ на почву, воды, воздух, флору и фауну. Например, вывозу из окрестностей г. Фретен (см. выше) более 300 тыс. м³ загрязненной почвы предшествовала длительная экспертиза, в ходе которой осуществлялись комплексные анализы состава почв и подземных вод вдоль будущей магистрали, оценивались эффективность дренажной системы, наличие источников природного газа, противопожарная безопасность [35]. Интересно отметить, что среди привлекаемых в качестве контролирующих организаций был Институт Пастера. На 2-м этапе определяют степень риска поллютантов для отдельных компонентов природной среды. На 3-м этапе проводят обработку

с целью снижения концентрации загрязняющих веществ или их полной ликвидации. Прежде всего, как правило, осуществляют изъятие поллютантов из загрязненных участков (например, извлечение загрязненных почв), затем производят обработку вывезенных грунтов на специальных установках или захоронение их на оборудованных свалках. Следующим способом обработки является термический метод, при котором происходит деструкция загрязняющих веществ, например, во вращающихся печах, печах с кипящим слоем, печах с ИК-излучением при температурах от 400 до 1200°C. Этот вид обработки применяют обычно для утилизации органических соединений. Другим видом является физико-химическая обработка, когда загрязняющие вещества переводят из опасной формы существования в нейтральную или в полезный продукт. Для этого, например, используют промывку зараженных почв жидкостями, содержащими различные аддитивы, эффективных в отношении тяжелых металлов. Одновременно извлекаются и органические соединения. Поллютанты могут также переводиться в летучие соединения. Этот способ применяют к почвам, содержащим различные галогенорганические соединения.

Довольно часто исследования химического состава загрязненных почв требуют высоких затрат и пока не обеспечивают землевладельцев данными о его ответственности за ущерб, нанесенный окружающей среде. В этом плане интересен опыт деконтаминации почв в окрестностях Лондона, а также санация территории площадью 81 га в Мидленде [14]. В районе Лондона использовался подход, обеспечивающий снижение экологической ответственности низкочастотным 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 классифицируется 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 оригинального метода обработки большого массива аналитических данных и другой информации были разработаны модели нагрузки поллютантов на среду обитания, на основе которых выработывалась 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.

Многие способы очистки почв, обладающие высокой селективностью в отношении конкретного поллютанта, часто не справляются с комплексным загрязнением (органическими веществами, тяжелыми металлами, другими химическими элементами), типичным для условий города. В связи с этим в последние годы особое внимание уделяется созданию своеобразных технологических систем очистки почв, основанных на использовании комплекса методов и приемов и определенной последовательности

работ. Одна из таких систем, используемая для очистки почв и грунтовых вод от химического загрязнения, разработана в США [64]. В пределах загрязненного участка бурятся инъекционные скважины сквозь водоносную зону на глубину ниже уровня грунтовых вод, который определяет верхнюю границу водоносного слоя. Скважина, предназначенная для экстракции, бурится до глубины выше водоносного слоя. Через инъекционную скважину под давлением подается насыщенный кислородом газ, а из экстракционной скважины воздух отсасывается. Поллютанты удаляются из грунтовых вод и водоносной зоны благодаря комбинации физических, химических и биологических процессов. Дополнительная биологическая очистка осуществляется уже на поверхности путем обработки извлеченного воздуха. Почти полностью растворенные поллютанты извлекаются и одновременно почва в зоне, расположенной выше водоносного слоя, очищается. Для интенсификации процесса биоразложения естественные для данного места микробы выделяют, анализируют, ферментируют и возвращают назад, часто добавляя питательную среду.

Следует отметить, что в США в 1980 г. составлен и постоянно пополняется (Агентством по охране окружающей среды) специальный список площадок (объектов), загрязненных особо токсичными отходами [61]. Это же Агентство отвечает за предварительное обследование таких участков, после чего решается вопрос об их отнесении к аварийным или «не-срочным» (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 дехлоринации, 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 ПХБ, что привело к очень сильному загрязнению реки, уже очень долго доказывает, что они разлагаются в донных отложениях «естественным образом», и потому изымать и утилизировать эти отложения нет смысла.

Заключение

В настоящее время в развитых странах мира проблеме очистке загрязненных в процессе человеческой деятельности городских почв уделяется пристальное внимание. Для этих целей в них при поддержке и непосредственном участии государства создана целая индустрия по выявлению, инвентаризации и оценке экологической значимости техногенно нарушенных территорий (независимо от их размеров), по очистке и восстановлению загрязненных почв; существуют профессиональные объединения предприятий, занимающихся деконтаминацией загрязненных участков; функционируют предприятия по производству необходимого оборудования и строительству заводов по очистке почв. В ряде стран законодательно утверждены нормативы содержания загрязняющих веществ в почвах, при которых необходимо обязательное и немедленное проведение работ по восстановлению зараженных территорий.

В сложившейся системе деконтаминации 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.

Обычно работы по санации территорий начинаются с детального обследования загрязненных почв и участка в целом (выполняются геофизические, геохимические и геолого-гидрогеологические исследования). Широко используются прогнозные математические модели переноса поллютантов, нахождения оптимальных путей деконтаминации и восстановления почв и экосистемы в целом.

Можно говорить о двух основных подходах к восстановлению загрязненных почв: 1) деконтаминация в прямом смысле (главной целью которой является полное удаление поллютантов из почв тем или иным способом), 2) иммобилизация поллютантов и детоксикация почв (основаны на стабилизации зоны загрязнения и подавлении активности, подвижности вредных веществ). К настоящему времени разработаны и внедрены в практику разнообразные приемы, методы и целые системы технологий деконтаминации почв, загрязненных различными веществами, в том числе тяжелыми металлами. Обычно различают физические (механические, гидродинамические, аэродинамические, термические, электрические, магнитные, электромагнитные), физико-химические (коагуляционные, ионообменные, сорбционные), химические (осаждения, окисления-восстановления, замещения, комплексообразования) и биологические (микробиодеградации, биопоглощения) методы.

С точки зрения способа и места применения методов деконтаминации различают: 1) обработку извлеченных больших объемов загрязненной

почвы на стационарных установках, расположенных за пределами восстанавливаемой территории; 2) обработку почвы *in situ*; 3) обработку небольших объемов извлеченной почвы вблизи загрязненного участка с последующим возвращением очищенного материала на место прежнего залегания; 4) локализацию загрязняющих веществ в пределах участка посредством проведения физико-химической стабилизации. По оценкам экспертов, наиболее перспективными, судя по всему, являются электрические способы деконтаминации, а также технологии, основанные в сущности на природных процессах - фиторемедиация и микробиологическая обработка загрязненных почв. Интересны также способы, основанные на изоляции загрязненных объемов почвогрунтов для последующей очистки подземных вод. Особую проблему представляет деконтаминация территорий, где химическое загрязнение в основном рассеяно на поверхности почвы или в ее самом верхнем слое. Очевидно, именно для такого типа загрязнения особенно эффективно применение фиторемедиации.

Анализ опубликованных данных показывает, что на сегодня не существует (и, как считают многие специалисты, ее не может быть) универсальной технологии для эффективной и относительно недорогой деконтаминации городских почв. Действие конкретных методов зависит от масштабов, интенсивности и химической специфики загрязнения, от физико-химических свойств загрязненных почв, условий расположения загрязненного участка, его размеров и т. д. Тем не менее в последние годы особое внимание уделяется разработке универсальных технологических систем одновременной очистки почв от широкой группы поллютантов, основанных на использовании комплекса способов и определенной последовательности работ. Главным же принципом деконтаминации почв должен быть мультифункциональный, т. е. такой, когда после восстановительных работ почвы могут использоваться в самых различных функциональных направлениях.

Опыт развитых стран в области деконтаминации загрязненных почв свидетельствует о том, что при правильной постановке дела аналогичные работы полномасштабно могут быть организованы и в российских городах.

Литература

1. Буренков Э.К., Борисенко И.Л., Москаленко Н.Н., Янин Е.П. Экологическая геохимия городских агломераций. - М.: Геоинформмарк, 1991. - 79 с.
- 2.
- 3.
- 4.
- 5.
- 6.

7. Сает Ю.Е., Ревич Б.А., Смирнова Р.С. и др. Город как техногенный суб-регион биосферы // Биогеохимическое районирование и геохимическая экология. - М.: Наука, 1985, с. 133-166.

8. Сает Ю.Е., Ревич Б.А., Янин Е.П. и др. Геохимия окружающей среды. - М.: Недра, 1990. - 335 с.

9.

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

11.

12.

13.

14.

15.

16.

17.

18.

19.

20.

21.

22..

23.

24.

25.

26.

27.

28.

29. Fixation and stabilization of lead in contaminated soil and solid and solid waste: Пат. 5193936 США, МКИ⁵ В 09 В 3/00/ Pal Dhiraj, Yost Karl; MAECORP Inc., Chicago. - № 721935; Заявл. 23.7.91; Оpubл. 16.3.93.

30.

31.

32.

33.

34.

35.

36.

37.

38.

39.

40.

41.

42. *Kühl P.*

43. *Laramée V.*

44. *Lee F.Y.*

45. *Lothenbach B., Furrer G., Scharli H., Schulin R.*

46. *Lubbert R.F., Chu T.J.*

47. *Meyer J.-M.*

48.

- 49.
- 50.
- 51.
- 52.
- 53.
- 54.
- 55.
- 56.
- 57.
- 58.
- 59.
- 60.
- 61.
- 62.
- 63.
- 64.
- 65.
- 66.
- 67.
- 68.
- 69.
- 70.
- 71.
- 72.
- 73.
- 74.
- 75.

76. *Weisman R. J., Kingscott J.* An interagency approach to managing cost and performance data for site remediation // *Remediation: The Journal of Environmental Cleanup Costs, Technologies and Techniques*, 2001, 11, № 2, p. 75-87.