

ЛЕКЦИЯ № 4

Методические основы очистки грунтов от загрязнений

1. Теоретические основы геопургологии.
2. Процессы самоочищения геологической среды.
3. Основы методики работ по выявлению загрязненных массивов.
4. Классификация методов искусственной очистки грунтов.

I.

Геопургология – часть геоэкологии, науки об экологических проблемах геосфер. Объектом ее исследований являются те или иные элементы геологической среды, а предметом изучения – способы и закономерности их очистки от экологически вредных загрязнений. Геопургология находится в стадии своего формирования. Ее структура, согласно В.А. Королёву и др, показана на рис.

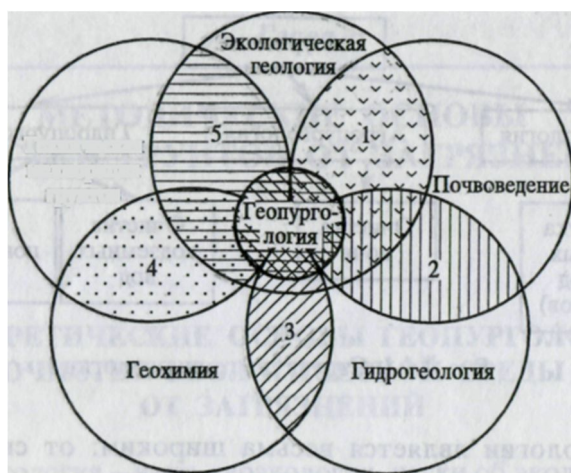


Рис. Схема соотношения геопургологии со смежными науками: 1 – экологическое почвоведение; 2 – агрономелиорация; 3 – гидрогеохимия; 4 – инженерная геохимия; 5 – инженерная (техническая) экологическая геология

В соответствии с подлежащими очистке основными вещественными элементами геологической среды, т.е. горными породами (природными и искусственными), почвами, подземными и связанными с ними поверхностными водами, могут быть выделены и соответствующие разделы геопургологии, отличающиеся объектами исследований, а именно: литопургология, агропургология и гидропургология (см. рис.).

Литопургология – раздел, изучающий закономерности и способы очистки различных горных пород и искусственных грунтов от экологически вредных загрязнений. Основные задачи литопургологии заключаются в разработке эффективных и рациональных способов очистки горных пород и слагаемых ими массивов экологически опасных и токсичных химических, биохимических, биологических (обеззараживание) и радиоактивных (деактивация грунтов) компонентов с целью реабилитации загрязненных территорий для их последующего хозяйственного и экологически безопасного использования.

Большинство экологически опасных химических и биохимических компонентов концентрируется в высокодисперсных породах. Поэтому главные задачи исследований литопургологии должны быть направлены в первую очередь на изучение именно этих пород. Радиационным и биохимическим загрязнениям подвержены любые типы пород, поэтому круг изучаемых объектов литопургологии является весьма широким: от скальных до дисперсных пород и слагаемых ими массивов.

Агропургология – раздел, изучающий закономерности и способы очистки почв от экологически опасных загрязнений (см. рис.). Главные задачи агропургологии заключаются в разработке способов очистки всевозможных почв от экологически вредных и токсичных химических, биохимических и радиоактивных (деактивация почв) загрязнений с целью восстановления их плодородия и экологической пригодности для сельского хозяйства. В современных условиях

многие из этих задач решаются в рамках агрохимии почв, однако предмет и задачи исследований агрохимии почв гораздо шире, чем агропургологии, имеющей узкую направленность.

С другой стороны, агропургология тесно примыкает к рекультивации земель и ландшафтов - техническому и биологическому восстановлению нарушенного почвенного покрова или ландшафта (например, при разработке карьеров и т.п.). Однако рекультивация обычно предусматривает целый комплекс восстановительных мероприятий, включая планировку, снятие или завоз почв, озеленение, благоустройство ландшафта и т.п., без работ по очистке почв или ландшафта. В отличие от рекультивации земель именно эти проблемы и должны решаться агропургологией.

Гидропургология – раздел, изучающий закономерности и способы очистки от экологически опасных загрязнений подземных и связанных с ними поверхностных вод, включая воды морских акваторий (см. рис.). Основные задачи гидропургологии сводятся к разработке надежных и эффективных способов очистки подземных и поверхностных вод от токсичных и экологически вредных химических, биохимических, биологических, радиоактивных и других.

Особый вклад гидропургология должна внести в решение проблемы очистки поверхностных вод морских акваторий от нефтяных загрязнений, образующихся в результате аварий нефтяных танкеров.

Гидропургология тесно примыкает к работам и исследованиям по водоочистке и водопотреблению. Однако последние обычно проводятся на всевозможных технических объектах водопотребления (системы водозаборов, водопроводов и т.п.) или сброса сточных вод (канализации, очистные сооружения и т.п.). В отличие от них гидропургология разрабатывает вопросы очистки вод непосредственно в водоносных горизонтах подземных вод или поверхностных водоемах. Это более сложная проблема, поскольку управлять водоносными горизонтами в массивах пород гораздо труднее, чем в системах водопотребления.

Таким образом, геопургология является актуальным научным направлением, формирующимся на стыке многих смежных наук и дисциплин: геологии (прежде всего геохимии, инженерной геохимии, технической мелиорации грунтов и гидрогеологии), геоэкологии (прежде всего экологической геологии), почвоведения (особенно агрохимии), рекультивации земель, а также химии, радиохимии и горно-технических наук.

Соотношение геопургологии со смежными науками показано на рис.

Как следует из представленной схемы, геопургология целиком входит в объем исследований экологической геологии, с которой она имеет общий объект исследований – геологическую среду.

Кроме того, она имеет общие разделы с технической мелиорацией пород и инженерной геохимией, гидрогеологией (прежде всего с гидрохимией) и почвоведением (агрохимией). Выявление очагов техногенных загрязнений, их источников и путей миграции в пределах верхних горизонтов литосферы исследуется экологической геохимией (геохимией техногенеза), с которой у геопургологии должна быть самая тесная связь.

Предметом исследований геопургологии является разработка способов очистки геологической среды (и ее отдельных компонентов) от загрязнений. Этот специфический предмет исследований отличает ее от смежных дисциплин и выделяет в самостоятельное направление научных исследований.

Геопургология имеет важное теоретическое и прикладное значение. Фундаментальные аспекты геопургологии связаны с выявлением общих закономерностей подавления и удаления загрязнений из объектов геологической среды, а прикладные аспекты направлены на разработку эффективных промышленных способов ее очистки. Особое применение разработки геопургологии должны найти в системах геоэкологического мониторинга на стадиях целенаправленного управления объектами геологической среды.

Методические основы геопургологии в настоящее время только закладываются. Общим методологическим положением для геопургологии должен являться биоцентрический подход к решению проблемы очистки геологической среды от загрязнений. При этом очистка должна проводиться с учетом экологического состояния всех экосистем, связанных с геологической средой, а не только социальных экосистем. Способность природных экосистем к самоочистке (которая до конца также не познана) ограничена. Поэтому методы геопургологии должны быть

направлены на снижение содержания экотоксикантов в геологической среде в тех случаях, при которых невозможно самоочищение экосистемы.

Перечень экологически вредных химических компонентов (экотоксикантов), все более и более загрязняющих геологическую среду, постоянно увеличивается. Особое внимание должно быть обращено на ксенобиотики – вещества, не свойственные окружающей среде, чуждые биосфере, синтезированные человеком.

В настоящее время в мире производится около 80 тыс. видов химических продуктов общим объемом около 300 млн т в год. Многие из них являются экотоксикантами, попадающими в геологическую среду. Среди них наиболее опасными для среды являются загрязнения тяжелыми металлами, различными нефтепродуктами, асбестом, полициклическими углеводородами и нитрозоаминами, пестицидами, гербицидами, фенолами, синтетическими ПАВ и т.п. компонентами, большинство из которых не встречается в природных условиях и относится к классу ксенобиотиков.

Особую опасность вызывает загрязнение геологической среды радионуклидами и супер-токсикантами (например, полихлоридными бифенилами, три-хлордифенилом, диоксинами и др.). Для многих химических веществ, попадающих в геологическую среду, нет ПДК или не имеется достаточных экспериментальных данных об эффектах их длительного действия на биоту, что вызывает особую тревогу.

Поэтому методы геопургологии – методы очистки, должны разрабатываться отдельно применительно к каждому из загрязняющих компонентов, а также учитывать геолого-геохимические особенности геологической среды и особенности участия загрязняющих веществ в биологическом круговороте. В этой связи геопургология опирается на методы и методические подходы, уже разработанные в различных разделах геологии (прежде всего в геохимии) для оценки закономерностей миграции загрязнений в геологической среде, а также на методы экологической химии, экотоксикологии, биохимии и др.

В основе геопургологии – разработки методов очистки геологической среды от загрязнений, могут быть положены различные способы искусственного воздействия той или иной природы на ее объекты: физические (механические, электрические и т.п.), физико-химические, химические, биологические. Они могут быть простыми и сложными (комплексными), а также подразделяться по видам удаляемых загрязнений.

Для борьбы с загрязнениями в геологической среде могут применяться три принципиально различных подхода.

Первый из них – собственно очистка грунтов, предусматривающая непосредственное удаление вредных компонентов за счет их извлечения из объекта, очистки тем или иным способом. При этом изъятые из массива загрязнители подлежат дальнейшей утилизации уже вне массива каким-либо способом.

Второй подход основан не на удалении, а на подавлении активности (детоксикации) вредного компонента на месте, непосредственно в массиве, например, путем его нейтрализации, разложения (деструкции), связывания и т.п. при этом изъятия загрязнителей из массива не происходит, они разрушаются или переводятся в нетоксичные формы на месте, в самом массиве. Деструкция загрязнителя предполагает постепенное разложение его молекул на более простые соединения или на составляющие нетоксичные элементы под действием физических, химических, физико-химических или биологических факторов.

Третий подход основан на локализации загрязнителей в массиве за счет создания вокруг аномалии защитного экрана, препятствующего дальнейшему распространению загрязнений. Технология, конструкция и состав экрана могут быть самыми разнообразными: от простой непроницаемой пленки до защитных многослойных и многометровых экранов типа защитного "саркофага" на Чернобыльской АЭС. При этом сами загрязнители не разрушаются и не удаляются, они остаются как бы законсервированными внутри массива и изолированными от экосферы экранами.

Какой из этих трех подходов реализовать, какой из них наиболее эффективен, решается в каждом конкретном случае индивидуально, исходя из особенностей массива и загрязнителя. При этом центральным вопросом является реализация такого метода, который мог бы быть применен непосредственно в массиве, а не в вынутой породе.

С другой стороны, методология разработки способов очистки геологической среды от загрязнений может основываться и на анализе механизмов природных способов самоочистки экосистем. Спецификой реализации перечисленных способов очистки геологической среды от загрязнений является то, что они, как правило, должны осуществляться в массивах пород (за исключением случаев, позволяющих извлекать породу и очищать ее в нарушенном сложении).

Поэтому технология их реализации должна предусматривать возможность осуществления искусственного воздействия на значительный объем массива пород, в том числе и глубинного воздействия.

Для этих целей могут подходить: поле механических и гидродинамических напряжений, электрическое и магнитное поле, а также различные инъекционные способы воздействия на массивы пород. Отсюда следуют и особые требования, предъявляемые к способам очистки геологической среды от загрязнений.

К ним относятся:

- селективность метода по отношению к определенным экотоксикантам и загрязнителям;
- экологическая чистота применяемого метода и отсутствие побочных негативных экологических явлений в экосистемах (биогеоценозах);
- относительно высокая степень и скорость очистки;
- экономическая эффективность метода.

Во всем мире сейчас ведется интенсивная разработка указанных способов и технологий удаления загрязнений или их детоксикации, по этой проблеме ежегодно публикуются и оформляются сотни работ и патентов. Однако в нашей стране разработка этих методов, их реализация на практике пока не получили должного развития в силу различных, прежде всего экономических, причин.

II.

Процессы перераспределения загрязнителей в горных породах, почвах, илах сопровождаются самоочищением геологической среды, закономерности которого до конца еще не изучены. Познавание этих процессов имеет весьма важное значение для их использования при разработке новых способов и технологий очистки грунтов от загрязнителей, а также для выявления безопасных и предельно допустимых уровней (ПДУ) техногенных воздействий на геологическую среду.

Самоочищением геологической среды называется совокупность самопроизвольных природных физических, геохимических и биологических процессов, происходящих в ее пределах и направленных на снижение в тех или иных компонентах геологической среды (породах, почвах, подземных водах и т.п.) загрязнителей до уровней, безопасных для экосистем.

Самоочищение геологической среды во многом зависит от природы загрязнителя. По способности загрязнителей к самоочищению в геологической среде они могут быть разделены на три группы.

1. Консервативные загрязнители, к которым относятся вещества, не разлагающиеся самопроизвольно в геологической среде или разлагающиеся чрезвычайно медленно. Эту группу загрязнителей составляют труднорастворимые соли, ионы некоторых металлов, гидрофобные хлорорганические вещества (типа пестицидов), нефтяные углеводороды, а также радионуклиды (особенно долгоживущие). Самоочищение этих веществ имеет кажущийся характер, поскольку эти вещества способны лишь перераспределяться или рассеиваться в геологической среде.

2. Биогенные загрязнители, участвующие в биогеохимическом круговороте веществ. К этой группе относятся различные минеральные формы азота и фосфора, а также различные легкоусвояемые органические соединения.

3. Самоочищение от этих веществ происходит в геологической среде в основном за счет биохимических процессов.

4. Водорастворимые загрязнители, не вовлекаемые в биологический круговорот. К ним относятся различные токсичные вещества, самоочищение от которых происходит в основном за счет химических процессов их разложения, иногда с участием микробиологической трансформации.

С термодинамической точки зрения, самоочищение геологической среды происходит вследствие стремления изолированной системы к равновесию (по всем термодинамическим потенциалам, включая и химические потенциалы компонентов-загрязнителей, которые (за исключением энтропии) в состоянии равновесия достигают минимальных значений).

При этом энтропия такой системы возрастает в соответствии со вторым началом термодинамики. Хаотическое рассеивание загрязнителей, их разбавление, растворение и т.д. в пределах системы сопровождается возрастанием ее энтропии и является самопроизвольным процессом. В отличие от этого, концентрирование загрязнителей в одном месте системы, ее упорядочение – антиэнтропийный процесс. Поэтому антиэнтропийными являются большинство процессов техногенеза: извлечение веществ из недр, их концентрирование, обогащение руд, создание аномалий загрязнений, т.е. загрязнение геологической среды и т.п.

Таким образом, "расползание" ореолов и самопроизвольное рассеивание загрязнителей в геологической среде идет в соответствии со вторым началом термодинамики и сопровождается увеличением энтропии. Этот процесс более вероятен, чем противоположный - самопроизвольное концентрирование, упорядочивание и локализация загрязнителей в каком-либо одном месте. Поэтому самопроизвольная очистка геологической среды может осуществляться только за счет рассеивания загрязнителей или их разрушения (деструкции).

С другой стороны, этот процесс можно проанализировать и на основе принципа Ле Шателье - принципа смещения равновесия. Если считать, что любое техногенное загрязнение в пределах геологической среды, как внешнее воздействие на систему, создает определенное возмущение в системе, нарушающее ее равновесие, то, согласно принципу Ле Шателье, это воздействие вызывает в системе процессы, стремящиеся ослабить эффект данного воздействия. Самоочищение системы (геологической среды или ее части) идет в соответствии с принципом Ле Шателье, который позволяет определить направление смещения равновесия.

В основе процессов самоочищения, как известно, лежат процессы абиотического или биотического превращения химических веществ-загрязнителей: а) физические процессы массопереноса: разбавление (рассеивание, перемешивание), вынос загрязнителей за пределы экосистемы, испарение, сорбция, бионакопление; б) микробиологическая трансформация; в) химическая трансформация: гидролиз, фотолиз, окисление и др. Особая роль в процессах самоочищения принадлежит автотрофным организмам.

Весьма существенную роль в самоочищении геологической среды играют различные круговые и циклические процессы массо- и энергопереноса, включая глобальный круговорот воды, круговые процессы в горных породах, биогеоценозах и т.п. Техногенное нарушение естественных круговых или циклических процессов в геологической и смежных средах приводит к нарушению функций "самоочищения" различных сред.

К абиотическим превращениям загрязнителей в геологической среде относятся окислительные и восстановительные процессы, гидролиз, фотохимические реакции, реакции между самими посторонними веществами и т.п.

К биотическим превращениям относятся ферментативная детоксикация (например, тяжелых металлов), ферментативное окисление, разложение, восстановление и т.п. Органические вещества окончательно выводятся из геологической среды лишь в результате их минерализации, т.е. разложения органических соединений до диоксида углерода, воды и других небольших неорганических молекул (например, CO , HCl , NH_3 и т.п.). Разные соединения обладают различной нежелательной устойчивостью к минерализации.

Биологическая деструкция загрязнителей может вызываться различными организмами (энзимы, грибы, микроорганизмы и т.д.). При полной биологической деструкции образуются только вода, углекислый газ и появляются новые органические биотические образования. Однако чаще происходит неполная биологическая деструкция, при которой какой-либо вид организмов осуществляет лишь определенную стадию (ступень) процесса разложения. В итоге, для полного биологического разложения какого-либо загрязнителя на конечные продукты в большинстве случаев требуется совместная деятельность большого числа различных организмов, объединенных в данном биогеоценозе.

По этой же причине более богатые по видовому разнообразию биогеоценозы обладают большей устойчивостью к различным загрязнителям, большей способностью к самоочищению, чем бедные в видовом отношении биогеоценозы. В общем случае, чем сильнее молекулярное строение того или иного загрязнителя отклоняется от строения близких природных веществ, тем сложнее идет процесс его биологического разложения.

Процессы самоочищения в геологической среде (как и в окружающей среде в целом) ограничены. Самоочищение может осуществляться лишь в определенных пределах загрязнения,

не превышающих некоторых границ, уровень которых лимитируется механизмами указанных выше процессов самоочищения. Для каждого механизма, как и для каждого вещества-загрязнителя, существует свой предельный уровень (ПДУ), превышение которого уже не позволяет системе самопроизвольно "справиться" с данным загрязнителем в конкретных геохимических условиях. Превышение этих уровней исключает самопроизвольное очищение системы.

В этом случае система переходит уже в качественно иное состояние. Многообразие механизмов самоочищения в геологической среде, как и обилие различных веществ-загрязнителей, определяет чрезвычайную сложность этих процессов и не позволяет однозначно установить предельные уровни загрязнений для их самоочищения.

Не менее важным вопросом является оценка и учет устойчивости (персистентности) различных загрязнителей. В общем случае все вещества, период полураспада которых в природных условиях превышает двое суток, считаются трудноразложимыми.

Например, для различных хлорированных углеводородов длительность периода полураспада при 20° С составляет от 9 до 116 лет. Поэтому и после введения запретов на применение стойких биоцидов заражение ими почв и пород сохранится в течение десятилетий.

III.

Выявление загрязненных массивов горных пород, а также территорий с загрязненными почвами проводится с учетом "Методических рекомендаций по выявлению деградированных и загрязненных земель" (1995), предназначенных в том числе и для организации работ по консервации, восстановлению и реабилитации (очистке) деградированных и загрязненных земель. Выявление загрязнений является необходимым начальным этапом работ по их последующему удалению.

Обследования по выявлению загрязненных земель проводятся по заказу Минприроды России, Роскомзема, Минсельхозпрода России, а также по заявкам собственников земли, землевладельцев и землепользователей. Работы по выявлению загрязненных земель выполняются при крупномасштабных эколого-геологических и почвенных обследованиях, которые проводятся планово через каждые 20-25 лет, и при корректировках почвенных карт, которые проводятся каждые 10-15 лет с целью выявления существенных изменений состояния почв и почвенного покрова. Контроль за загрязнением земель: выбросами, сбросами, отходами, стоками и осадками сточных вод различных предприятий (промышленных, транспортных, сельскохозяйственных, хозяйственно-бытовых и т.д.) и других источников загрязнения - проводится систематически не реже 1 раза в 5 лет. Ежегодный систематический мониторинг объектов окружающей среды осуществляется выборочно в наиболее экологически опасных районах Российской Федерации.

Выявление загрязненных земель производится путем проведения геохимических, почвенных, агрохимических, почвенно-мелиоративных и других необходимых обследований в соответствии с имеющимися нормативно-методическими документами.

По содержанию работ обследование может быть полным (выявляются все типы загрязнения) или неполным (проводится целевое обследование по одному-двум типам загрязнения).

Основной задачей подготовительного этапа работы является сбор данных обо всех источниках загрязнения на данной территории (промышленное, сельскохозяйственное производство, транспорт и др.), для чего проводится их инвентаризация. Необходимую информацию о промышленных предприятиях получают от самих предприятий, в заводских лабораториях, из экологических паспортов предприятий, в местных органах охраны природы и санэпиднадзора и т.п.

В подготовительный период после установления объектов обследований проводится сбор материалов по природным условиям территории с учетом оценки воздействия систем земледелия, субъектов хозяйственной или иной деятельности на состояние почвенного покрова и горных пород. Исходные материалы, характеризующие физико-географические (природные) условия района обследований, должны учитывать предрасположенность почвенного покрова или горных пород к тому или иному типу процессов загрязнения и прежде всего содержать характеристики климата, рельефа, геологического и гидрологического строения, почвообразующих и подстилающих пород, а также растительности.

Далее проводится оценка техногенного воздействия на геологическую среду в соответствии с рекомендациями оценки воздействия на окружающую среду (ОВОС). При проведении оценки

воздействия промышленных, сельскохозяйственных и иных предприятий на территорию обследования и ареалы функционирования природных экосистем устанавливаются границы территории, на которой окружающая природная среда может быть подвергнута деградации или загрязнению (граница техногенного ландшафта; площадь территорий, подверженная повышенному загрязнению атмосферного воздуха, подземных и поверхностных вод, почв; размеры депрессионных воронок и зон смещения горных пород и др.), проводится анализ результатов воздействия и динамики изменения состояния окружающей среды.

Для выявления зон с наибольшей техногенной нагрузкой в первую очередь устанавливается перечень потенциальных источников загрязнения территории. Определяются приоритетные загрязняющие химические вещества для каждого промышленного предприятия и их опасность согласно ГОСТу 17.4.1.02-83 "Охрана природы. Почвы. Классификация химических веществ для контроля загрязнения". Конечным итогом предварительного этапа работы является выявление зон, наиболее неблагоприятных и уязвимых в отношении загрязнения земель, дается примерная оценка площади и интенсивности загрязнения в этих зонах, определяются участки территории с повышенными требованиями к уровню их загрязнения, определяется стратегия пробоотбора почв и их анализа на первом этапе картографирования.

Для картографического отображения загрязненных земель применяются следующие масштабы: на областном уровне - 1:200 000-1:500 000, на районном уровне - 1:50 000-1:200 000, на уровне землепользования - 1:2000-1:10000. В качестве картографической основы используют существующие для данного региона топографические или тематические карты, в первую очередь почвенные.

Проводятся предварительная камеральная обработка картографических материалов и ландшафтное дешифрирование аэроснимков. При этом выявляются границы характерных элементов рельефа, участков проявления деградационных процессов, которые наносятся на план землепользования. Уточняются источники возможного загрязнения (животноводческие фермы, птицефабрики, хранилища минеральных удобрений и пестицидов, промышленные предприятия и т.п.) с анализом сбросов и выбросов и их попадания на территорию обследований. В результате анализа разрабатываются программа и проект работ, определяются соисполнители, порядок передачи информации и порядок финансирования.

Определение уровня загрязнения земель химическими веществами проводится специалистами на основании показателей, которые используются и в качестве градаций при картографировании загрязненных земель, в соответствии с Порядком определения размеров ущерба от загрязнения земель химическими веществами, утвержденным Минприроды России 18.11.93, Роскомземом 10.11.93 и согласованным с Минсельхозом России, Госкомсанэпиднадзором России, Россельхозакадемией. Группировка показателей унифицирована, не учитывает типовых особенностей почв и предназначена в первую очередь для принятия административных решений по использованию земель. Условно чистыми по этой группировке считаются земли с содержанием загрязняющих химических веществ, не превышающим их ПДК.

Задачей первого (рекогносцировочного) этапа является выявление загрязненных земель и, если они имеются, приблизительное оконтуривание ареалов их распространения, а также окончательное определение видов загрязняющих веществ, подлежащих количественному определению на втором (детальном) этапе обследования.

Первый этап обследования включает следующий порядок работы: маршрутное обследование территории без отбора образцов почв; полевое обследование с отбором проб; аналитические работы по количественному определению содержания загрязняющих химических веществ в почвах и горных породах; составление предварительных карт содержания загрязняющих химических веществ; написание отчета и принятие решения о проведении второго (детального) этапа обследования.

Маршрутное обследование территории проводят во время поездок и пеших маршрутов при наличии картографической основы с нанесенной на нее схемой пробоотбора и собранного ранее информационного материала. Целями маршрутного обследования являются: уточнение расположения возможных источников загрязнения; оценка на месте хозяйственного использования территории и ее районирование по этому признаку, уточнение на карте границ этих районов; визуальное выявление загрязнения земель и сопутствующих ему признаков (угнетение и поражение растительности); уточнение мест расположения точек пробоотбора почв и горных пород.

В ходе полевого обследования отбирают образцы почв или горных пород по заранее намеченной во время маршрутных поездок и откорректированной на местности схеме. Схема размещения мест пробоотбора зависит от типа источника загрязнения и характера пространственного распределения загрязняющих химических веществ в почвах обследуемой территории:

если источник загрязнения точечный, путь поступления загрязняющих химических веществ воздушный и предполагается прямо пропорциональная связь между уровнем загрязнения и расстоянием до источника, то целесообразно отбирать образцы почв или горных пород по 4-8 направлениям (румбам) от предприятия, располагая точки пробоотбора более часто вблизи промпредприятия и с большими интервалами на удалении от него. Частота и дальность пробоотбора зависят от мощности источника и природно-климатических условий района. В целом рекомендуется пробоотбор по румбам через 0,5, 1, 2, 4, 8, 16 км;

если источник загрязнения линейный, путь поступления загрязняющих химических веществ воздушный, то размещать точки необходимо вдоль источника по линиям, также уменьшая количество точек с расстоянием от него. Располагать линии пробоотбора рекомендуется на расстоянии 0,1, 0,2, 0,5 км;

если приоритетным загрязняющим химическим веществом является жидкость (например, нефть и нефтепродукты), система отбора образцов строится в зависимости от сложности ландшафта, геохимической и гидрологической обстановки. Точки пробоотбора объединяются в систему профилей, располагающихся в направлении движения поверхностного стока от места разлива до места промежуточной или конечной аккумуляции. Минимальное количество профилей - 3. Одновременно закладывается серия разведочных скважин, определяемая конкретными гидрогеологическими и техногенными условиями, для выявления загрязнения грунтовых вод. Разведочные скважины также должны располагаться по профилям, идущим от источника

- загрязнения по потоку подземных вод и вкост него. Скважины на профилях должны последовательно пересекать участок интенсивного загрязнения, переходную зону и область незагрязненных вод;

- в случае, когда на обследуемой территории нет ярко выраженных точечных источников загрязнения (или имеется много источников, влияние которых перекрывается), а также при площадном источнике загрязнения (свалки, полигоны и т.п.) лучше использовать отбор проб по равномерной разреженной сетке (например, с размером ячейки- от 1х1 до 5х5 км или менее).

При рекогносцировочном обследовании ключевые площадки размещают вблизи намеченных узлов сетки пробоотбора. Для того чтобы снивелировать локальные особенности распределения загрязняющих химических веществ, целесообразно отбирать не точечные (индивидуальные), а смешанные образцы. Смешанный образец составляют из не менее чем 15 индивидуальных образцов, равномерно размещенных на ключевой площадке. Объем индивидуальных проб должен быть одинаков, поэтому для пробоотбора лучше использовать бур. Индивидуальные пробы объединяют и тщательно перемешивают, затем берут смешанный образец массой около 500 г.

Завершается первый этап обследования составлением краткого отчета. Его основная цель - оценить необходимость, объемы работ и приоритеты второго (детального) этапа обследования. В отчете должны быть представлены:

список загрязняющих химических веществ, анализируемых на втором этапе;

картосхема загрязнения почв или горных пород (на районной карте) с приблизительно выделенными контурами и уровнями загрязненности;

очередность последующего детального обследования земель на основании выделенных контуров с учетом степени их загрязнения, хозяйственного использования и значимости для здоровья человека.

Второй этап обследования (детальный) служит для составления детальных картограмм загрязнения земель на участках территории, которые признаны загрязненными по итогам рекогносцировочного этапа и определены в качестве первоочередных по срокам и необходимости их картографирования.

Этот этап включает в себя: выбор картографической основы на обследуемый загрязненный участок территории; пробоотбор почв или горных пород на данном участке; анализ проб на при-

оритетные для обследуемого участка загрязняющие химические вещества; составление и оформление картограмм содержаний загрязняющих химических веществ в почве или горной породе; написание отчета.

Выбор масштаба картографической основы определяется размером обследуемой территории и категорией ее сложности, а также степенью требуемой детальности карты загрязнения. В качестве основного рекомендуется масштаб 1:10000, для детального картографирования можно использовать и более крупномасштабные основы. После выбора масштаба определяют схему пробоотбора. Независимо от того, является ли источник загрязнения точечным или площадным, на втором этапе пробоотбор проводят по равномерной случайно-упорядоченной сетке (рекомендуемый размер ячейки от 0,1х0,1 до 0,5х0,5 км). Такой пробоотбор в значительной степени облегчает применение методов интерполяции полученных аналитических данных и построение изолиний по уровням содержания загрязняющих химических веществ, а также позволяет правильно рассчитать площади загрязнения.

Внутри каждой ячейки сетки выбирается ключевая (пробная) площадка. Относительная свобода в размещении пробной площадки в пределах сетки дает возможность располагать ее в местах с наиболее характерными условиями местности и, наоборот, исключить пробоотбор там, где он невозможен (постройки, водоемы и т.п.). Это позволит сгладить влияние природных факторов на локальное перераспределение загрязняющих химических веществ и более достоверно определить площадь загрязняемой территории. Размер ключевого участка не менее 10х10 м.

Глубина отбора индивидуальных и смешанных проб почв: пашня, сад - 0-20 см; сенокос, степь - 0-15 см; лес - 0-10 см (без подстилки); территория промышленных предприятий - 0-10 см; газон, парк, детские площадки - 0-10 см; при загрязнении нефтепродуктами до глубины нижнего фронта движения нефтяного потока в почве. Данные о содержании загрязняющих химических веществ в почве или горной породе заносят в ведомость с указанием координат ключевых площадок пробоотбора, а также наносят на картооснову (для каждого элемента и вещества отдельно).

Интерполяцию данных и выделение контуров почв или горных пород разной степени загрязненности проводят вручную, распространяя полученные результаты определения загрязняющего химического вещества на ключевом участке на всю площадь ячейки сетки, или наносят места пробоотбора (ключи) на картооснову точками и в этих точках имеют соответствующее значение концентрации загрязняющего химического вещества. В последнем случае предполагается прямо пропорциональная связь между концентрацией загрязняющего химического вещества и расстоянием между точками. Изолинии, соединяющие точки с одинаковыми значениями, проводятся в соответствии с грациями по степени загрязнения.

Для интерполяции пространственных данных используются различные комплексы программ для ЭВМ: метод сглаживания, метод аппроксимации, метод линейной интерполяции, метод точечного кригинга и др. Компьютерные программы позволяют непосредственно и более точно, чем указанные выше методы, провести на карте границы зон загрязнения. Наилучший метод интерполяции выбирается для каждого конкретного обследования, исходя из имеющейся информации. Особенности выполнения интерполяционных расчетов описаны в специальной литературе. Для исполнителей можно рекомендовать комплекс программ SURFER или аналогичные для персональной ЭВМ, позволяющий по опытным точкам рассчитывать концентрации в узлах регулярной сетки желаемой густоты и строить изолинии с заданным шагом.

В законченном виде картограммы загрязнения земель представляют собой контурные карты с нанесенными на них изолиниями, выделяющими площади загрязненных земель различной степени, источниками загрязнения, участками с повышенными требованиями к содержанию загрязняющих химических веществ, основными ориентирами.

Общее заключение о состоянии земель, степени их деградации и загрязнения дается в итоговой документации, которая включает: картограммы с нанесением контуров деградированных (загрязненных) почв и земель различной степени деградации (загрязнения); пояснительную записку к картограммам; сводную экспликацию земель с указанием степени деградации (загрязнения), площади и структуры деградированных (загрязненных) земель; заключение по существующему состоянию земель, дальнейшему их использованию (специальный режим использования, изменение целевого назначения, консервация) с приведением перечня мероприятий по устранению отрицательного воздействия загрязненных земель, рекомендаций по их очистке и восстановлению.

Затем на основе этих рекомендаций разрабатывается та или иная схема очистки почв или горных пород территории с целью ее восстановления, расконсервации и реабилитации, основанная на применении различных способов, которые рассматриваются ниже.

IV

Там, где загрязнение почв или массивов горных пород носит экологически угрожающий характер и где естественные процессы самоочищения грунтов не могут обеспечить удаление загрязнителей, приходится использовать искусственные методы очистки.

С каждым годом в мире разрабатывается все больше и больше методов искусственной очистки грунтов, основанных на разных принципах, механизмах воздействия и т.д. Наиболее интенсивно новые способы и технологии очистки грунтов от загрязнений разрабатываются в промышленно развитых странах, особенно в США, Дании, Швеции, Франции, Японии, Германии и др.

В классификации выделяются типы методов очистки по природе оказываемого при этом воздействия: физического, физико-химического, химического или биологического. Внутри каждого типа методов могут выделяться различные методы, отличающиеся друг от друга по механизму того или иного оказываемого на загрязнитель воздействия.

Как указывалось выше, в общем случае загрязнители из грунтов можно или удалять (извлекать), или разрушать их на месте (деструкция в массиве без извлечения загрязнителей), или локализовать (иммобилизовать) в массиве. Эти три принципа воздействия на загрязнители, различные по своему характеру, также отражены в классификации.

В приведенной классификации учтены лишь наиболее важные, с нашей точки зрения, методы очистки, которые могут быть реализованы непосредственно в грунтовых массивах. Здесь не учитываются методы утилизации загрязнителей, осуществляемые с помощью всевозможных химико-технологических установок по переработке отходов или очистке шлама, загрязненной породы и т.п., которые разрабатываются в области инженерной экологии. Также здесь не учитываются методы очистки и обработки воды, составляющие самостоятельный раздел исследований.

Приведем анализ и характеристику основных методов воздействия на загрязнители в массивах с целью их очистки (таблица).

Методы очистки		Принцип воздействия		
Тип метода	Механизм воздействия	Локализация загрязнителя	Деструкция загрязнителя	Удаление загрязнителя
Физический	Механический	Механические экраны	Механическое разрушение	Механическое удаление
	Гидродинамический	Инъекционные экраны		Промывка Фильтрация
	Аэродинамический		Газовая нейтрализация	Вакуумирование Продувка Экстракция
	Термический	Термоэкраны (витрификация) Термолокализация	Термодеструкция (нагревание, обжиг, плавление) Термодезинфекция	
	Электрический		Электролиз Электродеструкция	Электрохимическое удаление Электроосмос Электрофорез Электромиграция Электродиализ
	Электро-магнитный	СВЧ-экраны	Ультрафиолетовая деструкция	Магнитная сепарация
Физико-химический	Испарение			Удаление летучих
	Растворение, диффузия			Разбавление Выщелачивание Диффузиофорез
	Ионный обмен	Ионо-обменные экраны	Ионообменная детоксикация	
	Сорбция	Сорбционные экраны	Сорбционная детоксикация	
Химический	Гидролиз		Гидролитическое разложение	
	Фотолиз		Фотолитическое разложение	
	Нейтрализация	Химическая иммобилизация	Нейтрализация кислот или оснований	Реагентное выщелачивание
	Окисление		Окисление Дезинфекция	Реагентное выщелачивание
Биологический	Биопоглощение	Биосорбционные экраны	Биодетоксикация Биосорбция	Фитопоглощение Микробиопоглощение
	Биодеградация		Микробиодеструкция (активизация биодеструкции или внесение культур)	Биовыщелачивание