

ЛЕКЦИЯ № 6

Химические методы очистки грунтов

1. Химические методы удаления загрязнителей.
2. Химическая деструкция загрязнителей.
3. Химическая локализация загрязнителей

I.

Среди химических методов очистки грунтов широко применяются различные методы удаления загрязнителей с помощью химических реакций, осуществляемых в массиве, методы химической деструкции токсичных загрязнителей с помощью всевозможных химических реагентов, а также химическая локализация загрязнителей как с помощью реагентов, так и с помощью создания защитных экранов (например, химическими инъекционными растворами).

Химическое удаление загрязнителей основано на химических реакциях, протекающих в очищаемом массиве грунта одновременно с выщелачиванием загрязнителя и интенсифицирующих этот процесс. Это так называемое реагентное выщелачивание. При этом химические реакции могут осуществляться одновременно с растворением загрязнителя.

Просачивание жидкого выщелачивающего реагента через пористую или зернистую породу называется перколяцией. Перколяция используется и при реагентном растворении и удалении загрязнителей из грунтов. Реагентное растворение применяют в целях извлечения из загрязненных пород тяжелых металлов (свинца, олова, никеля, железа, хрома и кадмия), урана и соответствующих ему поливалентных металлов. В качестве реагентов используют аммиачную селитру, хлористый калий, орто-и пиррофосфаты, органические и неорганические кислоты. В целях предотвращения осаждения и перехода загрязнений в структурную форму, не поддающуюся выщелачиванию, используют комплексоны. Для устойчивости растворов, содержащих уран, применяют дигалогенпроизводные фосфорсодержащие комплексоны, а для растворов, содержащих тяжелые и благородные металлы, в качестве комплексонов используют эталонамины, диамины, гуминовые и фульвокислоты, а также фосфорсодержащие комплексообразователи. Как и в случае с простым растворением, необходимо детальное изучение экологических последствий такой очистки. Для целей реабилитации грунтов метод не может быть применен как самостоятельный.

Учет химических реакций при реагентном выщелачивании компонентов из горных пород разработан в области промышленных геотехнологий для обогащения или извлечения из пород различных полезных компонентов, но может с успехом использоваться и для очистки грунтов от загрязнителей. Рассмотрим один из таких подходов, разработанный Г.А. Аксельрудом и М.А. Альтшулером для случая, когда целевой компонент (в нашем случае загрязнитель) располагается в виде твердых растворимых пленок вокруг частиц грунта, которые подвергаются реагентному выщелачиванию.

II.

В основе химической деструкции загрязнителей лежат химические реакции между токсичными загрязнителями и вводимыми в грунт реагентами, вступающими с ними в химическое взаимодействие. В результате этого загрязнители нейтрализуются, переходят в нетоксичные соединения или формы, либо теряют свою структуру и разрушаются. При этом важно, чтобы химические реакции, осуществляемые в грунте, были бы полными, необратимыми и исключали бы возможность возникновения вновь токсичных компонентов при изменении физико-химических условий среды.

Центральными задачами при химической деструкции и нейтрализации загрязнителей являются подбор соответствующего химического реагента-деструктора и осуществление необходимой реакции непосредственно в грунтовом массиве. При этом химический реагент-деструктор должен

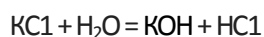
обладать рядом признаков, обеспечивающих надежность разрушения загрязнителя, быть нетоксичным и относительно дешевым. Реагент-деструктор или нейтрализатор должен активно проникать в грунт, поэтому для осуществления требуемой химической реакции в массиве наиболее предпочтительно использовать жидкие или газообразные реагенты. Особенно просто осуществляется нейтрализация поверхностных загрязнений (проливов и т.п.) путем обработки экотоксиканта непосредственно на поверхности соответствующим химическим реагентом.

Основным и наиболее распространенным химическим методом очистки геологической среды от загрязнителей остается реагентная обработка грунтов с нейтрализацией загрязнителя. В зависимости от типа химической реакции и взаимодействия реагента с экотоксикантом целесообразно разделить все виды химического воздействия на группы: гидролиз, осаждение, окисление-восстановление, замещение, нейтрализация, комплексообразование и др.

Среди химических методов деструкции важная роль отводится гидролизу загрязнителей. В естественных условиях гидролиз является важной составной частью в механизмах самоочищения почв и пород. Гидролиз, или гидролитическое расщепление, гидролитическая деструкция, представляет собой обменную реакцию между водой и загрязнителем.

При гидролизе загрязнителей, представленных солями, образуются кислоты и основания. Гидролиз солей, как правило, обратимая реакция, которая характеризуется отношением концентрации гидролизованной молекулы загрязнителя к общей концентрации данной соли в насыщенном растворе грунта (степенью гидролиза). Если же при гидролизе загрязнителя в грунте образуются нерастворимое соединение или легколетучее вещество, то реакция гидролиза идет практически до полного разложения исходного загрязнителя.

Органические загрязнители гидролизуются как некаталитически, так и каталитически в присутствии кислот (кислотный гидролиз) или оснований (щелочной гидролиз). Гидролизу в них чаще всего подвергаются связи углерода с галогенами, O, N, например:



Реакции гидролиза сложных эфиров карбоновых кислот, широко применяемых в гербицидах, позволяют подавить их токсичность. В результате гидролиза образуются соответствующие карбоновая кислота и спирт. Амиды карбоновых кислот гидролизуются с образованием кислоты и амина.

Относительно легко гидролизуются фосфорорганические соединения, многие из которых являются токсичными загрязнителями, содержащимися в различных инсектицидах. Эфиры и амиды фосфорной кислоты гидролизуются до фосфорной кислоты. Тиофосфаты более устойчивы к гидролизу, чем фосфаты.

Гидролиз загрязнителей, находящихся в грунтах в сорбированном состоянии, проходит более медленно, чем для веществ, находящихся в гомогенном пороховом растворе. Это необходимо учитывать при реализации реакций гидролиза с целью деструкции загрязнителей в грунтовых массивах.

Методы осаждения основаны на ионных реакциях, протекающих с образованием малорастворимых веществ, выпадающих в осадок в виде цемента в порах грунта. Реагент подбирается таким образом, чтобы он и продукты его реакции с загрязнителем были бы экологически безопасны. Методы осаждения особенно эффективны для загрязнений, содержащих тяжелые металлы и радионуклиды, чья растворимость и сорбционные характеристики непосредственно зависят от концентрации связующих лиганд или от окислительно-восстановительных условий и pH. Введение химических реагентов для обработки почв и пород, содержащих загрязнение в жидкой фазе, позволяет прочно связывать их остаточные концентрации с вмещающей породой.

Метод осаждения органических и неорганических загрязнений в водонасыщенных и слабеводонасыщенных грунтах основывается на двух типах химических реакций: комплексе-образовании и кристаллизации. Эту модификацию метода используют для очистки почв, пород и донных осадков от загрязнения полихлорированными бифенилами (ПХБ), пентахлор-фенолом, хлорированными и нитрированными углеводородами.

Химическая обработка почв и пород ш 8пи может проводиться реагентами как в жидкой, так и в газовой фазе. Преимущество газовых реактивов типа сероводорода в более высокой

проницаемости почв для газов, чем для жидкостей. Так как газы обладают способностью проникать в поры очень малого размера (соизмеримого с размером молекулы газа) и реагировать с загрязнениями в них, то эффективность обработки тонкопористых грунтов газообразными реагентами возрастает. Введение реакционноспособных газов в виде разбавленных воздушных смесей сероводорода или азота используют для обработки пород, загрязненных тяжелыми металлами и радионуклидами. Однако исследования, проведенные на грунтах с реальным загрязнением, показали, что после химической обработки в породах фиксировалось более 90% хрома и 50% урана, в то время как нитраты полностью теряли свою реакционную способность.

Таким образом, для эффективной очистки почв и грунтов необходима смесь газа, содержащая сероводород в азоте. Преимуществами метода являются: 1) использование его в грунтах с разным химико-минеральным составом и проницаемостью; 2) отсутствие издержек и риска для здоровья и безопасности человека, связанных с удалением, поверхностной обработкой, транспортировкой и дезактивацией загрязненных грунтов.

Процесс химического окисления загрязнений в почвах, породах, подземных и поверхностных водах основывается на отдаче электронов с внешнего неустойчивого слоя электронной оболочки атомов веществ и элементов, что приводит к переходу загрязняющего вещества в менее токсичную и реакционноспособную форму. К отдаче электронов склонны атомы элементов, у которых во внешнем электронном слое содержится малое число электронов. Процесс является составной частью окислительно-восстановительного взаимодействия загрязняющего вещества и химреагента или реакционноспособной поверхности грунта.

На современном этапе развития методов очистки геологической среды окислительно-восстановительные процессы используют для удаления из воды и породы полициклических и ароматических углеводородов (ПАУ), нефтяных углеводородов, ионов аммония, элементарного фтора и микроорганизмов. В качестве реагентов, изменяющих окислительно-восстановительные условия и количество свободных электронов в поровом растворе грунтов, подземных и поверхностных водах, используют хлор, кислород, озон и атмосферный воздух.

Окисление кислородом и воздухом применяют преимущественно для очистки почв, природных и техногенных грунтов, неоднородных по проницаемости или слабопроницаемых. Этим способом удастся снизить исходные содержания загрязнений до 3%. Недостатком метода является резкое снижение эффективности преобразования ионов аммония в нитраты (на 70%) при снижении температуры ниже 0°C. Метод используют в комплексе с фосфоро-воздушным диспергированием, рыхлением и промывкой грунта для стимуляции последующей биodeградации остаточных содержаний загрязнения.

Для химического разрушения полициклических и ароматических углеводородов (ПАУ) в подземных и поверхностных водах, а также уничтожения микробов используют газообразный озон - метод озонирования. Озон образуется из обычного кислорода под действием тлеющего электрического разряда или ультрафиолетового излучения. В результате окисления углеводородов образуются промежуточные продукты реакции (органические кислоты), также обладающие токсичностью и поэтому требующие дальнейшей обработки. Методы хлорирования и озонирования используются для обеззараживания поверхностных и подземных вод. Эффективность метода 50-86%. Недостатком этого метода является образование хлорфенольных соединений, вследствие чего хлорирование все в меньшей степени используется в мире для обеззараживания вод.

Процесс химического окисления наиболее часто используется для очистки почв, грунтов, поверхностных и подземных вод от хлорированных углеводородов в диапазоне концентраций от 0,2 до 12 000 000 мг/кг. Для окисления загрязнений также используют перекись водорода и перманганат калия. Эффективность очистки почвы с исходным содержанием трихлор-этилена 250 мг/кг достигает 74-97% при обработке 3,6 и 7,3%-ными растворами перекиси водорода (H_2O_2) и выше 98% при использовании 1,5; 3,0 и 6,0%-ных растворов перманганата калия ($KMnO_4$).

Преимущество методов данного типа в быстрой и экономически выгодной очистке пород и подземных вод от загрязнений широкого круга. Химическое окисление может расширять область применения биологических методов очистки. Использование реагентов с низкой степенью окисления позволяет разрушить органическое загрязнение до простых неорганических веществ с минимальным вредом для окружающей среды.

Для химического обеззараживания грунтов, в которых содержатся патогенные микробы и бактерии, могут использоваться различные химические бактерицидные вещества - пестициды

(фунгициды, амебоциды и др.) и антисептические средства, применяемые в эпидемиологической службе. Работы по обеззараживанию грунтов проводятся соответствующими дезинфекционными станциями и дезинфекционными отделами (отделениями) СЭС различных категорий в соответствии с разработанными инструкциями. Непосредственно дезинфекционные работы проводятся дезинфекторами под руководством и контролем дезинструкторов, а методическое руководство и контроль осуществляются врачами-дезинфекционистами.

Бактерицидным свойством обладают различные по своей химической природе соединения: галоиды, фенолы и их производные, кислоты, щелочи, альдегиды, сулема, спирт, формалин, перекись водорода и др.; из газов - сернистый газ, окись этилена, бромистый этил и др. Химические дезинфицирующие средства должны непосредственно воздействовать на возбудителей в требуемой для каждого вида бактерий или микробов концентрации,

при определенной экспозиции и требуемой температуре. Однако следует иметь в виду, что сами перечисленные бактерицидные вещества могут являться загрязнителями почв и пород.

Поэтому к химическим дезинфицирующим средствам предъявляются следующие требования: хорошая растворимость в воде, эффективность воздействия при небольших концентрациях и в короткие сроки, широкий спектр действия на возбудителей, отсутствие отрицательного действия и малая токсичность для человека и животных, отсутствие неприятного стойкого запаха, устойчивость при хранении, малая стоимость и удобство при транспортировке.

Механизм действия химических бактерицидных веществ на бактерии различен: одни вещества денатурируют или свертывают белок микробной клетки, вызывают его набухание, окисление или растворение, другие поражают определенные ферментные системы и т.п., в результате чего микробы или бактерии погибают.

Группа химических окислителей белка включает хлор-, бром- и йодсодержащие соединения, а также некоторые перекисные соединения (марганцовокислый калий, перекись водорода, озон и др.). Из них наиболее широко в дезинфекционной практике применяют хлорсодержащие химические соединения: хлорную известь, гипохлориты, неопантоцид, пантоцид, хлорамин и др.

Группа химических свертывателей белка включает большое количество различных соединений: фенол, крезолы и их производные, спирты, соли тяжелых металлов и др. Однако эти вещества не оказывают действия на споры, большинство вирусов и возбудителей туберкулеза. Кроме того, при определенных концентрациях они сами могут быть токсичными загрязнителями среды.

Среди распространенных химических средств дезинфекции почв используются также такие биоцидные вещества, как хлорпикрин, метилбромид, дазомед, варпан, тропекс, хлорбензол и линдан. Большинство этих веществ сами по себе являются опасными и токсичными для человека, в связи с чем их применение может быть только в исключительных случаях.

Для химической дезинфекции почв и поверхности грунтов используют различные передвижные дезинфекционные установки. Такие установки монтируются на автомобильных шасси, прицепах и т.п. Они обеспечивают обработку почв или грунтов холодными или горячими дезинфицирующими растворами. Подготовленный раствор из цистерны подается в распыленном виде на почву или обрабатываемую поверхность породы под действием вакуума или давления, создаваемого двигателем автомобиля. Передвигаясь по обрабатываемой площади, установка постепенно проводит дезинфекцию всей поверхности загрязненного массива грунта. Для химической обработки почв или грунтовых массивов ограниченного размера могут использоваться переносные опрыскиватели.

Для нейтрализации загрязненных промышленных отходов, ликвидации накоплений нефтешламов, очистки почв и горных пород от нефтепродуктов применяется метод химического капсулирования. Так, например, в Ухте организовано производство нового реагента "Ризол", служащего для химического капсулирования диспергированного грунта, загрязненного нефтепродуктами. Метод применим для грунта в нарушенном сложении.

Сущность метода химического капсулирования состоит в химико-механическом преобразовании загрязненного грунта (шлама) в порошкообразный, нейтральный для внешней среды материал, каждая частица которого покрыта карбонатной гидрофобной водонепроницаемой оболочкой, образующей капсулу. Заключенные в капсуле углеводороды, соли, в том числе и тяжелых металлов, не могут загрязнять окружающую среду благодаря высокой прочности и

герметичности капсулы. Со временем вследствие продолжающейся карбонизации поверхности капсулы ее прочность возрастает. Таким образом, химическое капсулирование представляет собой комплексный метод локализации (иммобилизации) загрязнителя путем химической реагентной обработки "Ризолом". Получаемый при этом порошок экологически безвреден, пригоден для длительного хранения или использования в качестве инертной добавки в дорожном строительстве, что подтверждено экспертизой ДорНИИ.

В настоящее время метод химического капсулирования промышленных загрязнений является наиболее распространенным в США и странах ЕС. Технологические схемы этого метода различны в зависимости от объемов загрязненных фунтов. При больших объемах загрязненных грунтов (более 10 000 м³) и недоступности обработки на месте смешение грунта с реагентом осуществляют на специальных технологических площадках 500-800 м² с укрытием от осадков.

Важной проблемой при химической деструкции загрязнителей в массивах грунтов является технология химических реакций при пропитке пористых и трещиноватых грунтов. Собственно пропитка жидкими или газообразными реагентами может осуществляться либо насыщением под давлением (инъекцией), либо (для жидкостей) – капиллярной пропиткой. В любом случае пропитка загрязненного грунта химическим реагентом осложняет этот процесс за счет химических реакций между вводимым реагентом и различными химико-минеральными компонентами грунта, включая загрязнитель.

Эти взаимодействия могут сводиться к реакциям с образованием газов, которые будут оттеснять фронт пропитки назад. Торможение пропитки происходит при кислотных обработках загрязненных карбонатных пород и др. Газообразование в таких случаях может подавляться введением в кислоты ПАВ в качестве ингибиторов кислотной коррозии. Торможение пропитки происходит и при закупорке пор и трещин продуктами реакции, выпадающими в осадок и цементирующими каналы. Кроме того, при пропитке водонасыщенных грунтов необходимо учитывать разбавление вводимого химического реагента и его гидродисперсию.

Однако химические реакции могут не только подавлять, но ускорять пропитку грунта. Это, например, возможно, если пропитывающая жидкость содержит реагенты, образующие с заземленными газами хорошо растворимые соединения. Примером может служить пропитка растворами щелочей пор грунтов, содержащих заземленный СО₂, или пропитка растворами кислот грунтов, насыщенных парами NH₃.

В целом, интенсификация и ингибирование процессов пропитки пористых грунтов и фильтрации в них жидких реагентов могут основываться на различных методах управления. К ним относятся следующие методы [1]:

Предварительная эвакуация газов из порового пространства пропитываемого грунта с целью увеличения предельной степени пропитки.

Действие избыточного давления на пропитывающую жидкость с целью увеличения скорости и степени пропитки.

Замена труднорастворимого газа легкорастворимым в пропитывающей жидкости с целью ускорения пропитки.

Введение в пропитывающую жидкость веществ, химически связывающих заземленные газы, с целью ускорения процесса пропитки.

Пропитка при повышенном внешнем давлении с целью уменьшения предельной степени пропитки.

Замена легкорастворимого газа труднорастворимым для уменьшения предельной степени пропитки.

Введение в пропитывающую жидкость ПАВ: а) снижающих поверхностное натяжение для уменьшения скорости пропитки; б) гидрофобизирующих поверхность для уменьшения скорости пропитки в соответствии с изменением краевого угла смачивания.

Предварительная обработка грунта гидрофобизаторами для регулирования капиллярного впитывания.

Изменение температуры бинарной смеси для распада бинарной смеси на двухфазную дисперсию после пропитки ею воднофазовом состоянии пористого грунта и др.

Перечисленные выше методы показывают, что пропитка грунтов химическими реагентами может в определенной степени регулироваться с учетом физических и физико-химических особенностей кинетики переноса жидкостей в грунтах.

III.

Химическая локализация загрязнителей осуществляется с помощью химических инъекционных растворов путем создания защитных экранов, являющихся геохимическими барьерами для тех или иных загрязнителей. С помощью химических реакций токсичные вещества также осаждаются в поровом пространстве и теряют свою мобильность, локализуясь в ограниченном пространстве грунтового массива.

Методы управления окислительно-восстановительными условиями в специально созданных подземных барьерах используются для трансформации соединений тяжелых металлов (цинк, никель, свинец, соединения хрома, сурьмы, селена, кадмия, марганца) и радионуклидов (стронция, технеция и оксидов урана) в менее растворимые формы (гидроокислы), а также разрушения цианидов, растворенных форм нитратов, органических и хлор-органических соединений (тетрахлорид и другие хлорированные растворители).

Создаваемые с помощью химических реагентов барьеры являются зоной с заданным окислительно-восстановительным потенциалом. В качестве химических реагентов для осаждения тяжелых металлов используют известь (поташ), сульфат натрия, оксиды и диоксиды железа, органический углерод и др. Эффективность очистки зависит от реакционной способности реагента и экотоксиканта. Размеры барьера в среднем до 18 м в диаметре и 30 м в глубину. Водный реагентный раствор закачивают в почву через скважины на 5-30 дней, затем загрязненный раствор удаляют на поверхность. Преимущество метода в разрушении хлорированной органики и фиксации тяжелых металлов и радионуклидов в высокой по сравнению с откачкой на поверхность скоростью очистки, не требующей дальнейших затрат на разрушение и дезактивацию загрязнений, и в достаточно низких капиталовложениях.

Для осаждения микродоз тяжелых металлов в почвах в сельском хозяйстве используют внесение удобрений (минеральных, фосфорных, азотных, калийных). Например, внесение фосфорных и органических удобрений в почвы, содержащие свинец, цинк, марганец, никель или стронций, приводит к образованию (при $\text{pH} < 6$) хелатных комплексных соединений, однако степень очистки зависит от дозы вносимых удобрений и условий вегетации растений. Образованию малорастворимых соединений тяжелых металлов в почвах способствует внесение фосфатов. Применение фосфатов целесообразно в породах с высоким pH, когда хелатные комплексы тяжелых металлов разрушаются. Доза и тип вносимых удобрений могут изменить поведение тяжелых металлов в почвах. Это связано с увеличением кислотности почв.

Как один из способов связывания тяжелых металлов в почвах используют гумусирование, приводящее к образованию хелатных комплексных соединений. Однако недостатком метода являются подкисление почв и неустойчивость хелатных соединений при высоких температурах. В общем случае применение фосфорных удобрений, известкования, органических удобрений способствует иммобилизации свинца, никеля, кадмия в почве.

Для химической иммобилизации (связывания) и локализации загрязнений используют различные органические и неорганические вяжущие типа битума, смол, цемента, золы, доменного шлака, смеси зола-известь и гелеобразующих веществ типа силиката натрия, бентонита и целлюлозы. Эти методы детоксикации геологической среды применяют в тех случаях, когда менее радикальные способы очистки неэффективны или экономически неоправданы.

Суть химической иммобилизации состоит в закачке в загрязненный грунт химических вяжущих веществ, которые связывают загрязнитель с породой. При этом загрязнители консервируются в объеме всего закрепленного массива, поскольку в этом случае миграция загрязнителя возможна лишь диффузионным путем, а коэффициент диффузии загрязнителя в такой закрепленной породе на несколько порядков ниже по сравнению с исходной породой. Метод можно считать временным, так как иммобилизация загрязнителей от экосферы в этом случае определяется скоростью диффузии иммобилизованных компонентов.

Суть химической локализации загрязнителей состоит в создании защитных экранов. В этом случае создание защитных экранов с помощью методов химического инъекционного закрепления грунтов позволяет локализовать загрязненный массив, отделив его от экосферы относительно непроницаемым экраном, окружающим загрязненный грунт со всех сторон. Понятно, что этот метод также является временным, так как ликвидации или удаления загрязнителей из грунта при этом не происходит, они лишь как бы консервируются в массиве на определенное время. Период консервации зависит от диффузионной проницаемости создаваемого вокруг защитного экрана. С течением времени законсервированный загрязнитель также должен быть удален. Однако временный характер локализации бывает иногда оправдан и необходим, особенно в чрезвычайных ситуациях, когда нужно в короткий срок (например, во время аварии) локализовать очаг загрязнения геологической среды, не допустить попадания токсичных веществ в подземные воды, водоемы и тем самым уменьшить масштабы техногенной катастрофы.

Для создания таких защитных экранов и химической иммобилизации загрязнителей могут использоваться различные способы химического инъекционного закрепления грунтов в массиве, имеющиеся в арсенале методов технической мелиорации грунтов. Среди них для целей создания защитных экранов наиболее предпочтительны те методы, которые создают не наибольшую прочность, а наименьшую проницаемость грунтов в области экрана.

К таким методам относятся битумизация, силикатизация, смолизация и в меньшей мере глинизация и цементация грунтов.

Битумные защитные экраны могут создаваться двумя способами: горячей и холодной битумизацией. Способ горячей битумизации состоит в нагнетании через пробуренные скважины расплавленного битума, который, остывая в порах и трещинах, создает в породе необходимую водонепроницаемость. Поскольку битум не смешивается с водой, а при контакте с ней образует пленку, плохо проводящую тепло, то при нагнетании он может заполнять большие пустоты и каверны даже при наличии значительных скоростей движения грунтовых вод. Он медленно остывает в породе, и поэтому с его помощью можно добиваться больших радиусов закрепления. Однако метод не позволяет заполнять трещины и поры размером менее 1 мм.

Поэтому более предпочтительна холодная битумизация, разработанная для придания водонепроницаемости песчаным грунтам. Метод основан на нагнетании в песчаный массив битумной эмульсии, содержащей диспергированные битумные частицы.

Как видно из представленных фотографий микроструктуры песка с битумной эмульсией, битумная пленка почти целиком покрывает все песчаные частицы и заполняет пустоты порового пространства. Такой песчаный грунт становится водонепроницаемым, а защитный экран из него может надежно изолировать всевозможные растворимые в воде загрязнители.

На первой фазе обработки грунта битумной эмульсией происходит заполнение эмульсией водопроводящих каналов и пор. На второй фазе начинается процесс коагуляции отдельных битумных частиц, а на третьей фазе происходит полное слипание частиц битума в компактную массу, перекрывающую поры и каналы в грунте. Метод применим к песчаным и трещиноватым скальным грунтам с коэффициентом фильтрации в пределах 10-50 м/сут.

Силикатные защитные экраны создаются на базе методов силикатизации грунтов, успешно и широко применяемых в технической мелиорации. Методы основаны на закачивании в грунт водных растворов жидкого стекла (силиката натрия), которые с помощью отвердителей переходят в гидрогели кремниевой кислоты, заполняющие поры грунта и делающие его водонепроницаемым. При этом грунт приобретает характерную микроструктуру. Модификации способа силикатизации зависят от применяемого отвердителя.

Так, например, в двухрастворном способе силикатизации, разработанном в 1931 г. Б.А. Ржаницыным, отвердителем служит раствор хлористого кальция, закачиваемый в грунт после жидкого стекла. В способе газовой силикатизации отвердителем служит углекислый газ и т.д. Для химически активных грунтов применяется однорастворный способ силикатизации. Рецептуры гелеобразующих растворов для создания силикатных защитных экранов подбираются с учетом химико-минерального состава грунта и состава загрязнителя.

Смоляные защитные экраны создаются с помощью методов смолизации грунтов, также применяемых в технической мелиорации. Методы основаны на использовании в качестве инъектируемых растворов жидких синтетических смол. Среди них наиболее часто используются

мочевино-формальдегидные (карбамидные), фенольные, фурановые, акриловые, эпоксидные и др. Используемые смолы должны отвечать экологическим требованиям и стоить недорого.

Из перечисленных смол наиболее распространена карбамидная смола. Она легко растворяется в воде, и поэтому ее раствор может закачиваться в грунты с малым коэффициентом проницаемости. Закачиваемый гелеобразующий раствор состоит из смеси раствора смолы и отвердителя в виде соляной или щавелевой кислоты. Варьируя составом отвердителей, можно регулировать время гелеобразования смолы в массиве грунта. А меняя плотность раствора щавелевой кислоты, используемой в качестве отвердителя, можно также регулировать вязкость и время гелеобразования. Обработанные таким образом грунты становятся водонепроницаемыми и служат довольно надежными защитными экранами, задерживающими распространение загрязнений.

Для предотвращения фильтрации нефти и нефтепродуктов через почвы и предотвращения загрязнения природных вод создаются защитные экраны на основе полимерных материалов.

Так, например, фирма «Волгагеология» разработала и применяет установку для нарезания щелей в грунте шириной 40[^]-60 см и глубиной 6-8 м (до 16 м). В подготовленную щель заливается тампонажная смесь, состоящая из воды, водорастворимого полимера, бентонита, тампонажного цемента. Производительность установки до 100 м³/ч.

Таким образом, промышленные технологии и методики для создания всевозможных защитных экранов достаточно полно разработаны в области технической мелиорации грунтов и могут успешно использоваться для целей химической локализации загрязнителей.