

Л Е К Ц И Я № 2

Особенности загрязненных грунтов

1. Особенности компонентного состава загрязненных грунтов.

2. Особенности структуры загрязненных грунтов.

3. Особенности свойств загрязненных грунтов.

I.

Как известно, грунты являются многокомпонентными системами, состоящими из твердых, жидких, газообразных и живых (биотических) компонентов. Процесс загрязнения грунта, так или иначе, меняет его исходный компонентный состав. При этом сами загрязнители также могут находиться в различном агрегатном состоянии – твердом, жидком, газообразном, или представлять живые организмы (биоту).

Показатели загрязненности грунтов. Количественное содержание в грунте загрязнителя может быть выражено в различных шкалах концентраций. Например, можно характеризовать содержание загрязнителя в грунте по его массе и тогда удобно использовать шкалу массовых концентраций.

Если характеризовать содержание загрязнителя в грунте по его объему, то используется шкала объемных концентраций.

Таким образом, в общем случае загрязненный грунт должен рассматриваться как пятикомпонентная система, суммарный объем которой (V) складывается из: 1) объема твердой минеральной части; 2) объема воды - порового раствора; 3) объема газовой фазы - порового воздуха; 4) объема биотического компонента и 5) объема собственно загрязнителя, который в свою очередь может быть представлен как твердой, жидкой, газообразной, так и биотической фазой. При этом объем пор грунта складывается из объемов компонентов, заполняющих поры.

Соотношение объемов твердой минеральной части, воды, газа, биотических компонентов и загрязнителя в грунте может быть различным. Если не учитывать объем биотического компонента (что вполне оправданно при наличии, например, в грунте микроорганизмов, объемная доля которых весьма незначительна или пренебрежимо мала), то загрязненный грунт можно рассматривать как четырехкомпонентную систему.

В общем случае объемные содержания указанных четырех компонентов в грунте можно рассматривать как независимые переменные. Поэтому отражение каким-либо наглядным способом всех возможных сочетаний этих компонентов является довольно трудной задачей.

Если грунт имеет постоянную пористость, то переменными будут уже только три компонента, причем лишь два из них будут являться независимыми. А если грунт, помимо постоянной пористости, имеет и постоянное, например, содержание загрязнителя, то в этом случае переменными будут уже два компонента, из которых только один будет независимым, поскольку содержание одного из них будет определять и содержание другого. Наиболее сложная ситуация возникает при анализе многокомпонентного грунта с несколькими компонентами-загрязнителями.

Все эти и другие возможные соотношения компонентов необходимо иметь в виду при анализе их содержания в грунте и исследовании факторов, влияющих на изменение свойств загрязненных грунтов и содержание компонентов.

Понятно, что объемная доля загрязнителя в грунте не может быть больше объема пор; максимальный объем загрязнителя, который может содержаться в грунте, определяется объемом пор данного грунта. При этом загрязнитель полностью заполняет поры грунта. Для того чтобы характеризовать степень заполнения пор загрязнителем (независимо от его фазового состояния), можно использовать показатель, аналогичный коэффициенту водонасыщения (или степени влажности, K) грунта, который мы предлагаем назвать степенью загрязнения пор.

Кроме указанных показателей для оценки загрязненности горных пород и почв применяются всевозможные геохимические параметры. Среди них наибольшее распространение получили следующие:

- коэффициент концентрации, рассчитываемый по формуле
- суммарный показатель загрязненности (Z_c), определяемый по формуле

где n - число учитываемых загрязняющих элементов;

Твердые компоненты-загрязнители. При наличии тех или иных загрязнений меняется исходный химико-минеральный состав любого фунта за счет появления новых, техногенных компонентов.

Степень преобразования химико-минерального состава зависит от количества и вида загрязняющего компонента, прежде всего его физико-химической активности и агрессивности по отношению к химико-минеральным и биотическим компонентам грунта.

Твердые загрязнители по тем или иным причинам (например, механическим путем) наиболее легко могут проникать в поры дисперсных грунтов. В скальных грунтах твердые загрязнители могут проникать только по трещинам. Поэтому ни трещиноватые, ни выветрелые скальные фунты практически не содержат твердых загрязнителей. В дисперсных грунтах (обломочных, песчаных, пылеватых и глинистых) твердые загрязнители могут по-разному располагаться в поровом пространстве.

Так, например, они могут находиться в порах грунта в виде примеси отдельных частиц-загрязнителей (кристаллов, обломков, пылеватых частиц и т.п.), рассеянных в определенном объеме грунта. Если твердые загрязнители формируют сплошные поверхностные пленки, то они покрывают частицы в виде "поверхностных рубашек". Если твердое вещество-загрязнитель цементирует отдельные частицы на контактах или кристаллизуется на контактах частиц, то в этом случае формируется типичная структура с цементационно-конденсационными контактами за счет данного загрязнителя).

Если же твердое вещество-загрязнитель полностью заполняет поры фунта (например, вследствие процессов кристаллизации, затвердения или гелеобразования первоначально жидких компонентов загрязнителя), то в этом случае формируется жесткая структура с цементом типа заполнения пор).

Существенное значение имеет адгезионная способность твердых загрязнителей по отношению к минеральной части грунта.

Загрязняющие вещества могут оказывать определенное влияние на исходный химико-минеральный состав грунта. Например, некоторые компоненты-загрязнители могут вступать в химические реакции с минеральными компонентами грунта, разрушая их и вызывая их частичное преобразование.

Другие компоненты-загрязнители могут быть абсолютно инертны по отношению к твердой минеральной части грунта, но активно химически взаимодействовать с жидкой или газообразной составляющей данного фунта. В результате этого также меняется химический состав грунта, появляются новообразования и продукты химических реакций.

И наконец, может наблюдаться и третий случай, когда компоненты-загрязнители химически инертны по отношению ко всем фазам грунта и его химический состав меняется лишь вследствие добавления данного загрязнителя, а не за счет его химического преобразования.

Кроме твердых минеральных загрязнителей, в грунтах могут содержаться твердые органические загрязнители.

Жидкие компоненты-загрязнители. Жидкие загрязняющие компоненты могут находиться в грунтах в различном виде. От того, как жидкие загрязнители располагаются в поровом пространстве грунта, зависит их влияние на свойства грунтов и способы их возможного удаления.

Формы возможного расположения жидких загрязнителей в дисперсных и скальных грунтах во многом схожи, хотя обладают и некоторыми различиями.

Так, например, жидкие загрязнители могут находиться на поверхности частиц или стенок трещин в виде конденсированных или адсорбированных компонентов, формирующих манжеты или более или менее протяженные прерывистые адсорбционные пленки.

Жидкие пленки загрязнителей могут и полностью покрывать поверхность частиц или стенок трещин в грунтах, образуя сплошной слой загрязнителей определенной толщины. В зависимости от состава и свойств жидких загрязнителей, в частности проявления ими свойств поверхностно-активных веществ (ПАВ), концентрация адсорбционных слоев и пленок загрязнителей в поровом или трещинном пространствах может быть различной. В частности, жидкие ПАВ-загрязнители могут концентрироваться в вершинных частях трещин скальных грунтов, обуславливая рост трещин.

Наряду с этим жидкие загрязнители могут находиться в порах дисперсных грунтов в виде рассеянных капель или в виде эмульсий несмешивающихся жидкостей. Последнее, например, характерно для жидких загрязнителей, нерастворимых в водных поровых растворах грунтов, нефтепродуктов. При этом отдельные капли загрязнителей, мигрирующие в поровом растворе грунтов, могут защемляться в тупиковых порах дисперсных грунтов или концевых частях микротрещин скальных фунтов.

В том случае, если жидкий загрязнитель полностью заполняет все поры или трещины грунта, формируется наибольшая концентрация загрязнителя.

Жидкие загрязнители из нефтепродуктов могут проникать глубоко в толщи грунтов, меняя их свойства. Свойства такого грунта резко отличаются от незагрязненного грунта.

Важным вопросом является определение влажности грунтов, содержащих загрязнители (растворимые или нерастворимые) в поровом растворе или жидкие загрязнители, не смешивающиеся с водой и образующие эмульсии.

Достаточно полное описание жидких компонентов загрязнителей в грунтах может быть дано на основе аппарата химической термодинамики. Для характеристики взаимосвязи концентрации различных компонентов порового раствора с их объемами используется уравнение Гиббса-Дюгема.

Важным вопросом является нахождение тяжелых металлов в жидкой фазе порового раствора грунтов. Металлы в жидкой фазе стремятся к равновесному состоянию, при котором формы существуют в соответствии со значениями констант нестойкости комплексов и концентрациями лигандов. Однако в естественных условиях равновесие редко достигается из-за постоянных флуктуации таких определяющих факторов в грунтах, как pH, Eh, температура, концентрации лигандов и др.

Одна из важных форм тяжелых металлов в жидкой фазе порового раствора грунтов - свободный ион, обычно имеющий гидратную оболочку. Другие растворенные формы тяжелых металлов в поровом растворе грунта - это ассоциаты с одним или более органическим или неорганическим лигандом, образующие растворимые комплексы с данным металлом.

Вследствие гидратации ионов и ионных комплексов тяжелых металлов вокруг них формируются гидратные оболочки, размер которых (степень гидратации) зависит от заряда иона или ионного комплекса и его радиуса. Как известно, различные ионы по-разному влияют в водном растворе на структуру воды в непосредственной близости от самого иона, обуславливая так называемую положительную или отрицательную гидратацию.

Ионы с положительной гидратацией эффективно "связывают" ближайшие молекулы воды раствора, уменьшая их подвижность, они приводят к укреплению водородных связей и упорядочению структуры воды вблизи иона. Положительной гидратацией обладают ионы, имеющие большую плотность заряда, обусловленную большим зарядом иона и его малым размером. Она свойственна многим катионам.

Ионы с отрицательной гидратацией, напротив, обуславливают большую подвижность молекул воды вблизи иона, чем в объеме воды. При этом прочность водородных связей между молекулами воды вблизи иона уменьшается, структура воды как бы разупорядочивается. Отрицательная гидратация характерна для ионов с низкой плотностью поверхностного заряда. Она свойственна анионам.

Согласно Г.А. Крестову, количественной мерой, позволяющей подразделять ионы на положительно и отрицательно гидратируемые, может служить суммарное изменение энтропии воды при гидратации данным ионом.

Ионы с положительной гидратацией характеризуются положительной величиной изменения энтропии, а ионы с отрицательной гидратацией, напротив, характеризуются отрицательной величиной. Ионы тяжелых металлов, как Hg^{2+} , Pb^{2+} , а также Cu^{2+} , обладают положительной гидратацией, они упорядочивают структуру воды в непосредственном своем окружении.

Газовые компоненты-загрязнители. В грунтах нередко могут накапливаться экологически опасные газы, например такие, как метан (CH_4), сероводород (H_2S) и др. Их происхождение может быть весьма разным (как природным, так и техноген-

ным) и обуславливаться биологическими процессами (биогаз), утечками из сетей, подземных газохранилищ и т.п.

Особенно опасны горючие газы, проникающие из грунтов в шахты, подземные и подвальные помещения, где они становятся взрыво-и пожароопасными. Метан взрывоопасен при концентрации в воздухе от 4 до 15%, а при более высоком содержании он горит без взрыва. Вероятность накопления глубинных газов в инженерных сооружениях возрастает с глубиной их строительства.

Образование биогазов - обычный процесс, сопровождающий трансформацию вещества в теле большинства свалок ТБО. Как показали исследования, меняющийся со временем характер гниения отходов вызывает формирование в грунтах различных газов. Однако на заключительных стадиях существования полигонов ТБО происходит устойчивое выделение метана. Если на такой погребенной свалке построить дом, то велика опасность скопления метана в подвальных помещениях и его последующего взрыва.

Метанообразование на полигонах ТБО наиболее активно происходит на глубине 2,5-6 м при оптимальной влажности гниющих отходов около 95-98% и температуре 35-40 °С. Общее количество метана, выделяющегося на полигонах ТБО территории бывшего СССР за год, составляет около 2,4 млрд м³.

Биологический метаногенез включает в себя несколько последовательных стадий: а) гидролиз субстрата до мономеров; б) разложение мономеров с образованием органических кислот и спиртов; в) образование уксусной кислоты (ацетогенез); г) образование метана. В состав метаногенных ассоциаций микроорганизмов входит несколько групп, каждая из которых реализовывает 1-2 этапа этого процесса. Биогаз помимо метана содержит обычно до 15-50% CO₂ (по объему) и небольшие количества других газов.

Газы-загрязнители могут содержаться в порах грунта в разном состоянии: в виде адсорбированных газов (молекул газа адсорбированных на поверхности минеральных компонентов грунта); в виде свободных газов, заполняющих открытые сообщающиеся поры; в виде заземленных (аглоutinированных) газов, находящихся в замкнутых порах или заземленных жидкими компонентами, и, наконец, в виде растворенных газов.

Если газовые компоненты-загрязнители рассматривать как идеальный газ, то их состояние в грунте может быть достаточно полно охарактеризовано термодинамическим уравнением состояния Клапейрона-Менделеева.

Если в грунте находится несколько газов, включая газы-загрязнители, то их особенности могут характеризоваться на базе термодинамики газовых смесей. При обычных условиях газы в порах грунта смешиваются в произвольных соотношениях, образуя гомогенные газовые растворы. Термодинамическое поведение смесей идеальных газов в грунтах, включая и газы-загрязнители, определяется аддитивностью их парциальных давлений, а также приведенных объемов, и описывается законом Дальтона.

Биотические компоненты. Помимо твердой, жидкой и газообразной составляющей загрязнители могут воздействовать и на состав исходного живого (биотического) компонента грунтов, вызывая активизацию жизнедеятельности тех или иных микроорганизмов, грибов и т.п., или, напротив, могут подавлять их активность вплоть до полного уничтожения той или иной популяции. С другой стороны, загрязнители грунтов могут быть сами представлены биотическими

компонентами, оказывающими вредное воздействие на экосистемы, развитые на таких грунтах. Например, загрязнение грунтов патогенными бактериями может вызвать серьезные заболевания у человека.

В почвах и горных породах обитают многочисленные различные виды бактерий, выполняющих важную биогеохимическую функцию в круговороте веществ в природе. Однако среди них лишь небольшая часть является патогенными, способными вызвать заболевания у человека и животных. Различные группы бактерий, встречающихся в почвах и горных породах, способны перерабатывать те или иные химические соединения и, что очень важно, - многие загрязнители. Это определяет экологическую роль микроорганизмов в природных процессах "самоочищения" почв и пород.

Так, например, большое экологическое значение имеет биodeградация галогензамещенных ароматических соединений – распространенных пестицидов и хладагентов. Лишь немногие микроорганизмы имеют набор ферментов, необходимых для разложения этих загрязнителей, что и обуславливает их высокую устойчивость в почвах и горных породах. Как отмечалось ранее, ДДТ сохраняется в почве в течение 30 лет. Однако этот пестицид превращается в нетоксичные соединения микробной ассоциацией.

Большинство сульфатовосстанавливающих бактерий *Desulfobacterium*, *Desulfonema* и др. окисляют ацетат; среди микроорганизмов существуют метилотрофы и метанотрофы, утилизирующие метанол, метан, метилированные амины и другие источники углерода.

Наряду с этим в почвах, илах есть микробные метаногенные ассоциации, вырабатывающие биогаз.

В анаэробных метаногенных ассоциациях биополимеры гидролизуют различные микроорганизмы: целлюлозу, крахмал, пектин, белки др. Эти микроорганизмы осуществляют не только гидролиз, но и последующие подготовительные этапы метаногенеза, тем самым предотвращая ингибирование гидролитических ферментов продуктами гидролиза. Этап ацетогенеза осуществляют ацетогенные бактерии: и др. Собственно метаногенез осуществляют около 50 известных к настоящему времени видов бактерий, относящихся к 13 родам.

Многие бактерии применяются в различных биогeотeхнологиях, включая и методы очистки грунтов от загрязнителей. К таким важнейшим микроорганизмам относятся *Thiobacillus ferrooxidans* – бактерии в виде палочек размером 0,5-1,5 мкм с одним жгутиком. Строгие аэробы, оптимальный рост при 28-33 °C и pH 2-2,5, окисляют медь, хром, серу, селен. Образуемая ими H_2SO_4 служат сильными агентами, переводящими в раствор различные металлы.

Thiobacillus thiooxidans – напоминают по своим свойствам предыдущие, однако способны к окислению серы, а не железа. Продукт этого окисления - H_2SO_4 , ведет к понижению pH вплоть до 0,65. Используются для биовыщелачивания меди.

Leptospirillum ferrooxidans - вариabельная форма бактерий, образующая и вибрионы, и псевдококки, и спириллы. Аэробная бактерия, активно окисляющая Fe^{2+} , но не серу и сульфиды.

Род *Sulfobacillus* - неподвижные аэробные спорообразующие палочки, окисляют элементарную серу, сульфиды и Fe^{2+} .

Род *Acidianus* - сферические клетки, иногда дольчатой формы и выглядят как тетраэдры, пирамиды и т.п. Факультативные анаэробы: в аэробных условиях они

окисляют серу и Fe^{2+} , в анаэробных - восстанавливают серу молекулярным водородом.

Помимо отдельных химических элементов микроорганизмы способны разрушать и важнейшие минеральные компоненты горных пород, такие как силикаты, алюмосиликаты и доломиты. Активные деструкторы силикатов - микроскопические водоросли, нитрифицирующие и тионовые бактерии, гетеротрофные бактерии, мицелиальные грибы и дрожжи.

Токсины способны образовывать многие цианобактерии - синезеленые водоросли, относящиеся к фототрофным прокариотам, использующим для своей жизнедеятельности энергию света. Поэтому они не способны к жизни в темноте и встречаются лишь на поверхности почв и грунтов, в водоемах и т.п. На поверхности влажной почвы или влажных горных пород они выглядят как слизистые темно-зеленые, иногда почти черные налеты или корочки. В водоемах - это сине-зеленая взвесь мельчайших частиц. Не все цианобактерии токсичны, многие из них образуют полезные для человека продукты, в том числе биотопливо или сырье для его изготовления.

Цианобактерии - древнейшие организмы на Земле, которые, вероятно, были первыми автотрофами, появившимися в процессе эволюции жизни на планете. Их находят в породах, возраст которых около 3500 млн лет. Они широко распространены и в современной биосфере Земли.

Следует иметь в виду, что в почвах и грунтах патогенные бактерии могут существовать лишь в благоприятных условиях. В частности, большинство патогенных бактерий погибают при нахождении их в течение часа при температуре 60 °С, а при 100 °С - почти моментально. Тем не менее известны, например, термофильные цианобактерии, обитающие в горячих источниках при температурах 74 °С. Убивают бактерии и ультрафиолетовые лучи (повреждающие их ДНК), ионизирующие виды излучений. Многие ПАВ (фенол, жирные кислоты, аммонийные соединения, относящиеся к дезинфицирующим средствам) также убивают патогенные бактерии и используются как бактерицидные средства.

Однако цианобактерии характеризуются исключительной приспособляемостью, выработанной за несколько миллиардов лет их эволюции на Земле. Так, например, в засушливых и пустынных районах цианобактерии способны выдерживать длительную засуху и вновь "оживать" при увлажнении. Особенно интересны цианобактерии, развивающиеся в так называемых криптоэндолитических сообществах ("крипто" - скрытый). Такие сообщества обнаружены как в холодных сухих пустынях Антарктиды, так и в горячих сухих пустынях, например в пустыне Негев в Израиле. В этих случаях цианобактерии развиваются в замкнутых порах и трещинах горных пород, изолированных от неблагоприятного воздействия внешней среды.

Огромная роль среди биотических компонентов грунтов и почв принадлежит и грибам (Mycetes) - гетеротрофным эукариотным организмам, питающимся осмотротрофно и сочетающим в себе признаки и растений, и животных. Среди различных экологических групп грибов с геологической точки зрения наиболее важны почвенные грибы. Наряду с бактериями грибы - редуценты, разлагающие сложные органические соединения до более простых.

Тело большинства грибов (таллом) представлено мицелием, или грибницей, состоящей из сильно разветвленных нитей (гиф). Благодаря им они осмотически

всасывают питательные вещества из окружающего пространства. Поскольку грибы не обладают органами пищеварения, способными разлагать сложные вещества до простых усваиваемых соединений, они "переваривают пищу" на месте, в окружающем пространстве с помощью вырабатываемых и выбрасываемых ими в среду ферментов.

Грибы, как и насекомые, характеризуются на Земле наибольшим видовым разнообразием. Расчетное число их видов составляет около 1,5 млн. Наибольшая их концентрация отмечена в почвенном слое, поскольку большинство грибов образуют симбиозы с определенными видами растений (от самых низших, до высших древесных растений). Грибы активно участвуют в почвообразовательном процессе и составляют основную долю живых организмов в почвах.

Общая биомасса грибов в почвах является определяющей, причем она может на два порядка превышать биомассу многих других основных групп организмов. Роль грибов в геохимическом круговороте веществ в биосфере огромна. Суммарная площадь внешней всасывающей поверхности гиф одного гриба достигает огромной величины. Благодаря этому они активно осуществляют потребление различных компонентов из почв и горных пород, передачу их растениям, и наоборот, поставляют ферменты, метаболиты, токсины и различные другие компоненты от растений в почвы и грунты. Часть ферментов грибов может оказывать токсичное действие на человека и другие организмы, однако токсичное действие грибов на почвы и грунты изучено пока недостаточно.

Особо опасное воздействие на экосистемы грибы могут оказывать при техногенном химическом загрязнении почв и грунтов. В этом случае грибы способны осмотически концентрировать в своем теле различные токсичные компоненты, формируя своеобразные геохимические аномалии. Передающиеся от них по пищевым цепям токсины могут негативно влиять на многие группы организмов, включая и человека. Есть сведения об осмотическом накоплении в грибах тяжелых металлов. Поэтому съедобные грибы не рекомендуется собирать вдоль автомобильных дорог, вблизи химических предприятий и т.п.

Среди других беспозвоночных огромная роль в почвах принадлежит кольчатым червям (Annelides). В этот тип объединяется класс щетинконогих червей (Chaetopoda), внутри которого выделено несколько подклассов. В подклассе малощетинковых червей (Oligochaeta) наиболее известны дождевые черви, относящиеся к нескольким родам (*Lumbricus*, *Allobophora*, *Eisenia* и др.). Роль дождевых червей в формировании почв огромна. Этот вопрос впервые обстоятельно изучил Ч. Дарвин посвятивший ему целую монографию. Дождевые черви влияют на процессы самоочищения почв.

Дождевые черви перемещают и перемешивают почвенные частицы из одного горизонта в другой. При этом более грубые частицы (песчаные, гравийные) перемещаются вниз, а нижние, бедные перегноем, поднимаются вверх. Черви способствуют аэрации почвы, обогащению ее органическими веществами, оставляют измельченные частицы почвы, прошедшие через их кишечник и смешанные с продуктами пищеварения, - экскременты. Установлено, что на старых пастбищах дождевые черви перерабатывают ежегодно около 26 т земли на одном гектаре. При этом не все виды выносят экскременты на поверхность, некоторые оставляют их внутри ходов.

На богатых питательными веществами почвах биомасса дождевых червей достигает 500 кг/га и более (отмечены случаи до 1 т/га) при общем количестве особей свыше 2,5 млн экз. Общее потребление и переработка почвы дождевыми червями на таком участке достигает 95 т/год.

Дождевые черви разных видов встречаются в самых разнообразных экологических нишах и физико-географических условиях: они отмечены в почве на самых удаленных островах Мирового океана, в средней полосе и в тропиках, встречаются даже в зоне многолетнемерзлых пород и в полярных областях. Так, например, представители рода *Eisenia* найдены в разных местах в дельте р. Лены. Представители семейства *Megascolecidae* обитают только в тропиках и достигают огромных размеров (до 1 м и более).

Многочисленные представители другого подкласса - много-щетинковые черви (*Polychaeta*) обитают в основном в морских, океанических или пресноводных илах в водной среде. Они играют существенную роль в процессах диагенеза субаквальных отложений.

Среди насекомых (*Insecta*), обитающих или развивающихся в почвах и грунтах, необходимо отметить мельчайших вилохвостых, или коллембол (*Collembola*), в большом количестве встречающихся в почве и характеризующихся размером до 1 мм. Они относятся к бескрылым низшим насекомым. Из крылатых насекомых в почвах и грунтах обитают различные представители прямокрылых (*Orthoptera*), в частности медведки (*Gryllotalpa*) с мощными роющими передними ножками, напоминающими лапы крота. В грунтах же обитают и многочисленные представители отряда термитов (*Isoptera*) - общественные полиморфные насекомые, распространенные в основном в тропических и субтропических областях, строящие в грунте и на поверхности термитники разных форм и размеров.

В почвах проходят определенные стадии развития (в основном личиночные) и многие другие насекомые, в том числе тли (*Aphidae*), бабочки, или чешуекрылые (*Lepidoptera*), жуки (*Coleoptera*), мухи, или двукрылые (*Diptera*), перепончатокрылые (*Hymenoptera*).

В заключение следует отметить, что различные химические загрязнители существенно влияют на биотические компоненты грунтов. Их воздействие может быть двояким: некоторые загрязнители вызывают рост популяций почвенных или фунговых биотических компонентов, другие, напротив, вызывают их угнетение и гибель.

Первый случай реализуется тогда, когда загрязнители не токсичны по отношению к данной биоте или содержат питательные компоненты для определенных групп организмов, например бактерий. Второй случай связан с токсичным или дезинфицирующим действием на организмы. В целом же техногенное загрязнение грунтов и почв ведет к снижению видового разнообразия организмов в биогеоценозах.

Таким образом, в результате загрязнения грунта его химико-минеральный состав, жидкие, газовые и биотические компоненты в той или иной степени преобразуются.

II.

Наряду с составом загрязнение грунтов меняет и их структуру. При этом структурообразование грунтов за счет загрязнителей тесно связано с изменением их

состава. В то же время микроструктура является важнейшим фактором, определяющим эколого-геологические условия грунтовых массивов.

Изучение структуры загрязненных грунтов позволяет решить несколько задач, важных с точки зрения их очистки: 1) установить или уточнить характер распределения загрязнителя в грунте; 2) оценить экранирующие возможности грунта; 3) на основе структурного анализа рекомендовать тот или иной способ удаления, деструкции или локализации загрязнителя и т.п. Влияние на структуру грунтов органических и неорганических загрязнителей имеет свои особенности.

Воздействие на структуру неорганических загрязнителей. В ходе интенсивного хозяйственного освоения территорий грунты подвергаются воздействию сточных вод и других загрязнителей, содержащих различные растворы неорганических электролитов. Воздействие неорганических загрязнителей отражается на составе, микроструктуре и свойствах грунтов.

Различные грунты по-разному реагируют на неорганические загрязнители, одни из них более "чувствительны" к ним другие менее. Наибольшие изменения в структуре при загрязнении характерны для высокодисперсных грунтов - глин суглинков, отчасти супесей. Неорганические загрязнители сильно влияют на структуру илов, почв, торфяных и лёссовых грунтов. В меньшей мере они влияют на структуру песчаных и крупнообломочных грунтов. И наименее подвержена воздействию неорганических загрязнителей структура скальных грунтов-магматических, метаморфических и осадочных сцементированных.

Последнее, однако, не означает, что структура скальных грунтов совершенно устойчива по отношению к загрязнителям. Все зависит от типа и характера загрязнителя, его концентрации механизма взаимодействия с компонентами грунта и т.п. Поэтому приведенная характеристика устойчивости структур к неорганическим загрязнителям условна и отражает лишь общие тенденции.

Так или иначе, на структуре практически всех грунтов в первую очередь сказывается количество загрязнителя содержащегося в грунте. Чем его больше, тем сильнее изменяется структура грунта

Чем больше соли в грунте, тем сильнее видоизменяется его первоначальная структура, а грунт переходит в совершенно иной по сравнению с изначальным тип.

Понятно, что свойства такого сильнозасоленного грунта будут резко отличаться от свойств исходной глины.

Проведенные нами исследования по изучению изменения микроструктуры различных глинистых грунтов под влиянием неорганических электролитов позволили выявить основные тенденции этих преобразований. При этом было изучено структурообразование:

- глинистых осадков в процессе седиментации минеральных частиц в различных водных растворах неорганических электролитов (нейтральных, кислых и щелочных), моделирующих сточные воды, промстоки и т. д.

- глинистых грунтов в процессе их техногенного засоления в результате подтопления, сброса рассолов, инфильтрации промстоков и т.п.;

- глинистых грунтов в процессе техногенного загрязнения грунтовых вод при их фильтрации;

- глинистых грунтов при их техногенном загрязнении под днищами полигонов ТБО, полей аэрации (фильтрации) и различных очистных сооружений.

Установлено, что воздействия неорганических электролитов (кислот, солей или щелочей) по-разному влияют на структурообразование глинистых грунтов. Они могут обуславливать структурообразование как по прогрессивному, так и по регрессивному рядам искусственного литогенеза. При этом микроструктура глинистого грунта, испытавшего техногенное воздействие, с одной стороны, приобретает новые особенности, а с другой - несет в себе унаследованные черты, характерные для аналогичной породы, не подвергавшейся техногенному загрязнению. Выявлены основные закономерности преобразования микроструктуры глинистых осадков при загрязнении их неорганическими электролитами.

В общем случае структурообразование дисперсных осадков в водных средах, содержащих неорганические загрязнители, происходит в соответствии с теорией контактных взаимодействий ДЛФО. Согласно этой теории на контактах частиц грунта осуществляются взаимодействия, обусловленные силами притяжения и отталкивания. Если учитывать лишь силы молекулярного притяжения и ионно-электростатического отталкивания между частицами, то баланс этих сил можно охарактеризовать так называемой энергетической кривой парного взаимодействия частиц в данной среде (например, в водной среде с растворенным загрязнителем).

На структурообразование влияет также вид электролита-загрязнителя и его рН.

В нейтральных средах - растворах неорганических солей, микростроение формирующихся осадков будет полностью контролироваться лишь концентрацией электролита-загрязнителя: увеличение его концентрации приводит в соответствии с теорией ДЛФО к снижению барьера ионно-электростатического отталкивания.

В зависимости от вида ионов металлов, содержащихся в поровом растворе глинистого грунта, его микростроение также меняется. Так, например, один и тот же суглинистый осадок, насыщенный ионами щелочных или тяжелых металлов, при прочих одинаковых условиях имеет разную микроструктуру.

Особенно сильные отличия микростроения глинистых грунтов в зависимости от вида ионов металлов проявляются в высокодисперсных монтмориллонитовых глинах в состоянии их свободного набухания, т.е. при полном водонасыщении.

Таким образом, проницаемость защитных водоупоров и экранов-покрышек в отношении флюидов-загрязнителей во многом обусловлена их трещиноватостью и пористостью. Размер трещин, их густота, раскрытость, закономерность распределения, величина пор, их сообщаемость, доля эффективных пор в породах – все эти факторы, рассмотренные выше, определяют экранирующее качество покрышек и водоупоров, т.е. их экранирующие, защитные и проводящие свойства.

III.

Свойства загрязненных грунтов сильно отличаются от свойств исходных грунтов. Ниже рассматриваются в основном лишь те свойства, которые важны с точки зрения очистки грунтов от загрязнителей.

Физические свойства

Различные загрязнители могут влиять на физические свойства грунтов, изменяя у последних плотность, пористость, показатели теплоемкости, электропроводности и т.п.

Плотность загрязненного грунта определяется вкладом плотностей его компонентов. Поэтому плотность грунтов, содержащих, например, различные загрязнители-нефтепродукты (НП) обычно ниже плотности незагрязненных грунтов, поскольку плотность НП обычно меньше 1 г/см^3 . Исключение составляют тяжелые мазуты и некоторые смазочные масла. Напротив, примесь тяжелых загрязнителей (органических или неорганических), с плотностью выше 1 г/см^3 , повышает плотность грунтов.

Плотность твердой фазы загрязненных грунтов при наличии твердого загрязнителя определяется только величиной плотности этого загрязнителя и возрастает с повышением последней.

Электрические свойства. Наличие загрязнителей-электролитов понижает электрическое сопротивление грунтов, причем тем больше, чем больше в грунт поступает загрязнителя. На этом явлении основан один из геофизических методов поиска ореолов химических загрязнений грунтов и их очагов - резистивиметрия загрязнений.

Неорганические загрязнители-неэлектролиты, напротив, повышают электрическое сопротивление. Аналогичное действие оказывает и большинство органических загрязнителей-неэлектролитов, в частности нефть и нефтепродукты. Электрическая проводимость нефтей в зависимости от их состава меняется в пределах $2 \cdot 10^{-9}$ - $0,3 \cdot 10^{-18} \text{ Ом}^{-1} \text{ см}^{-1}$, однако большинство нефтепродуктов - изоляторы.

Диэлектрические свойства загрязненных грунтов зависят от диэлектрической проницаемости (ϵ) загрязняющего компонента и его концентрации в грунте. Низкой диэлектрической проницаемостью обладают такие загрязнители, как нефть и нефтепродукты ($\epsilon = 2-3$), а также полихлоридные бифенилы (ПХБ, ТХД и др.) и другие трансформаторные жидкости, часто попадающие в грунты. Оценка изменения диэлектрических свойств загрязненных грунтов также позволяет выявить источники загрязнения и их ареалы.

Теплофизические свойства. В зависимости от концентрации и состава загрязнителя могут в той или иной степени меняться и теплофизические свойства грунтов. Поскольку теплоемкость грунтов является аддитивной величиной, зависящей от теплоемкостей компонентов грунта и их массового (или объемного) соотношения, то примесь загрязнителей с низкой теплоемкостью будет понижать общую теплоемкость загрязненного грунта, и наоборот.

Например, удельная теплоемкость нефти выше, чем у воды и большинства породообразующих минералов, и составляет (в зависимости от состава) $1,7-2,1 \text{ кДж/кг} \cdot ^\circ\text{К}$. Поэтому грунты с нефтяными загрязнениями имеют более высокую теплоемкость.

Следует отметить, что теплофизические параметры и морозостойкость грунтов с различными загрязнителями изучены еще недостаточно.

Если температура чистых и загрязненных грунтов различна, то это позволяет оценивать ореолы загрязнения с помощью так называемой тепловой съемки.

Магнитные свойства. Наиболее существенно магнитные свойства грунтов (намагниченность, магнитная восприимчивость и т.д.) изменяются в том случае,

если загрязнитель обладает заметными ферромагнитными свойствами. Попадая в грунты, ферромагнитные загрязнители резко увеличивают их магнитную восприимчивость, степень изменения которой становится индикатором загрязнения грунтов. Загрязнители являются в основном диамагнитными веществами с отрицательной магнитной восприимчивостью.

С помощью магнитометрии грунтов могут быть оконтурены участки ферромагнитных загрязнений. Имеются данные и методики изучения с помощью магнитной съемки загрязнения грунтов тяжелыми металлами.

Так, например, по оценке магнитной восприимчивости (χ) грунтов (метод каппа-метрии) удастся довольно легко предварительно оценить загрязненность территорий тяжелыми металлами.

Рядом специалистов установлена тесная корреляционная взаимосвязь между величиной магнитной восприимчивости (χ) и минерализацией почв и грунтов. Так, на ряде нефтяных площадей в Волгоградской области было установлено, что чистые почвы имеют магнитную восприимчивость (κ), равную $(60-80) \cdot 10^{-5}$ ед СИ, а те же почвы, загрязненные выбросами из трубопроводов минерализованных подземных вод, имеют κ , равную $(90-150) \cdot 10^{-5}$ ед СИ.

В то же время влияние углеводородных загрязнителей не сказывается на магнитной восприимчивости почв. Наибольшими величинами магнитной восприимчивости (до $(300-700) \cdot 10^{-5}$ ед СИ) характеризуются грунты и почвы в промзонах, вокруг металлообрабатывающих производств, на участках с механическими примесями техногенного железистого материала, а также частицы железистых сплавов, обладающих ферромагнитными свойствами.

Фильтрационные свойства. Проницаемость пород при миграции загрязнителей в ряде случаев является решающим фактором, определяющим формирование ореолов рассеяния загрязнителей. При этом проницаемость пластов-коллекторов загрязнителей определяет скорость движения загрязнителей по пласту, а проницаемость изолирующих пластов определяет защитные свойства среды в отношении распространения загрязнителя. Проницаемость пород определяется не только по воде, но и по конкретному флюиду-загрязнителю, физические свойства которого (плотность, вязкость и т.п.) определяются составом загрязнителя.

Хорошо известно, что защитные или изолирующие свойства глинистых покрышек играют решающую роль в образовании и сохранении естественных месторождений углеводородов, в том числе и с аномально высокими пластовыми давлениями. Глинистые покрышки участвуют и в формировании "техногенных залежей" нефти и нефтепродуктов при загрязнении массивов, играя роль геохимических барьеров. Разные исследователи по-своему характеризуют критерии экранирующих свойств глинистых пород покрышек. Одни считают основным критерием фильтрационные свойства глинистых пород (проницаемость), ограничивая нижние пределы фильтрации флюидов-загрязнителей, другие учитывают также мощности пластов-экранов, третьи рассматривают состав минералов, слагающих экранирующие пакки. Обычно в лабораториях за основной критерий принимается проницаемость пород по отношению к данному флюиду-загрязнителю.

Как известно, глинистые породы разной степени литификации и аргиллиты обладают довольно низкими значениями проницаемости. Это обусловлено, прежде всего, специфическими особенностями пористости, дисперсности и микростроения

глин. Эти свойства не остаются постоянными на протяжении геологической истории. Низкая проницаемость глин связана с чрезвычайно малым размером развитых в них пор (от сотых долей микрона до нескольких микрон).

Изолирующие свойства глинистых покрышек, под которыми находятся залежи УВ, зависят не только от литологического состава и структурных особенностей порового пространства глинистых пород, но и от целого комплекса других взаимосвязанных факторов.

Было бы неправильно думать, что глинистые покрышки и водоупоры абсолютно непроницаемы для флюидов, содержащих различные загрязнители. Проводимость пород в отношении флюидов-загрязнителей обеспечивается главным образом за счет разрывов (дизъюнктивных дислокаций), нарушающих сплошность водоупорных толщ и зон повышенной трещиноватости пород, которые в платформенных и переходных областях статически тяготеют к периферии антиклинальных складок.

Вместе с тем, возникновение и дальнейшее сохранение залежей возможно при хороших экранирующих свойствах тех же водоупорных толщ или пластов, но уже на участках, близких к сводовым частям поднятий, и на самих сводах ловушек, где водоупоры становятся покрышками и где они должны проявить свои экранирующие способности, т.е. быть минимально проницаемыми для жидких и газообразных углеводородов. Многочисленны прямые и косвенные следы проникновения углеводородов через покрышки различного литологического состава, разной пластичности и строения. В них зафиксированы процессы перемещения углеводородов при формировании и рассеивании залежей.

Так, например, прямым свидетельством проникновения углеводородов через покрышки является повышенное (аномальное) содержание углеводородных газов над некоторыми залежами (на их картировании газосъемкой основан один из геохимических методов поисков нефти и газа), непосредственное обнаружение нефтей и различных битумов в трещинах и в общей массе пород покрышек.

Так, Т.А. Ботневой еще в 1959 г. отмечалось, что в газоупорных частях покрышек залежей Ставрополя породы содержат более значительное количество эпигенетического битума, чем те же породы - в водоупорных частях покрышек. Причина такого распределения эпигенетического битума - диффузия углеводородов из залежей.

Механическое проникновение загрязняющих флюидов (неорганических загрязнителей, нефти, углеводородных и иных газов) через защитные экраны или покрышки осуществляется путем фильтрации через поровую среду или перетоком по трещинам. Кроме того, перемещение загрязняющих веществ, в частности углеводородов, происходит и путем молекулярного проникновения, т.е. в результате диффузии

Переток по трещинам и фильтрация через поры пород покрышек или защитных экранов возможны лишь при определенном перепаде давлений. Перепады давлений являются следствием различных причин.

Во-первых, они возникают из-за разности гидростатических давлений пластовых вод, величины которых пропорциональны глубинам их залегания и плотности.

Во-вторых, перепады давления могут быть обусловлены избыточным давлением в залежах нефти и газа. Такое давление возникает за счет разности плотностей нефти (газа) и подпирающей ее пластовой воды.

Физико-химические свойства

Наличие различных загрязнений по-разному влияет на изменение физико-химических свойств грунтов.

Растворимость загрязнителей в поровом растворе грунтов является важным фактором, определяющим возможную миграцию того или иного загрязнителя. Растворимость загрязнителей важно учитывать и при разработке методов очистки грунтов, основанных на их промывке. В общем случае хорошо смешиваются такие вещества, которые легко взаимодействуют между собой за счет образования водородных связей. Это особенно важно для жидких загрязнителей, способных в той или иной степени растворяться в поровой воде грунта.

По способности к образованию водородных связей все жидкости, включая жидкости-загрязнители, можно разбить на пять групп.

К первой группе относятся вещества, способные к образованию объемной трехмерной сетки водородных связей. К таким жидкостям относятся сама вода, а также жидкости-загрязнители, содержащие несколько гидроксильных или аминных групп (например, глицерин, гликоль, аминокислоты, муравьиная кислота и т.п.). Все они имеют высокую диэлектрическую проницаемость, хорошо растворимы в воде и легко смешиваются между собой.

Вторая группа объединяет вещества-загрязнители, которые обладают менее выраженной способностью к образованию водородных связей. Эти жидкости-загрязнители образуют лишь двумерные сетки водородных связей, а их молекулы содержат лишь одну гидроксильную группу (фенолы, некоторые кислоты, одноатомные спирты и т.п.).

Третья группа - жидкости-загрязнители, молекулы которых имеют в своем составе атомы кислорода, азота, фтора и других элементов, способных к образованию водородной связи с водородом других молекул. К ней относятся кетоны, альдегиды, простые и сложные эфиры.

В четвертую группу входят жидкости, молекулы которых имеют водород, способный к образованию водородной связи, но не имеют атомов, способных быть акцепторами протонов, например, хлороформ, тетрахлорэтан и др.

К последней, пятой группе относятся жидкости, которые не способны к образованию водородной связи ни в качестве доноров, ни в качестве акцепторов протонов. В этой большой группе содержатся бензол и большинство углеводородных загрязнителей, различные нефтепродукты и т.п. В обычных условиях эти вещества не способны к образованию водородных связей или эта способность у них очень слабо выражена. Жидкости-загрязнители пятой группы плохо смешиваются с жидкостями первых трех групп.

Жидкости-загрязнители первой и второй групп смешиваются между собой, хорошо растворяют многие вещества, легко образуя водородные связи в качестве доноров и акцепторов протонов. Жидкости-загрязнители третьей группы хорошо растворимы в таких жидкостях, которые могут быть донорами протонов. Например, ацетон хорошо смешивается с хлороформом потому, что последний имеет водород, способный к образованию водородных связей. Жидкости этой группы между собой смешиваются хуже, чем с жидкостями второй, первой и четвертой групп.

Электроповерхностные свойства. В дисперсных грунтах загрязнения вызывают изменения строения и особенностей их "первичного" двойного электрического слоя (ДЭС). При этом загрязнители-электролиты влияют на ДЭС грунтов так же, как и соли щелочных и щелочноземельных металлов: при попадании в грунт они будут взаимодействовать с ионами ДЭС и в соответствии со своим зарядом, способностью к ионному обмену и адсорбции будут замещать часть ионов ДЭС.

Общее увеличение концентрации электролита-загрязнителя в грунте приведет к сжатию диффузной части ДЭС и снижению барьера ионно-электростатического отталкивания между частицами. В соответствии с этим будет меняться и величина эпсилон-потенциала).

При этом многозарядные ионы (Al^{3+} , Fe^{3+} и др.) способны не только снижать эпсилон-потенциал, но и вызывать перезарядку - смену знака эпсилон-потенциала за счет специфической адсорбции ионов. Перезарядка ДЭС за счет специфической адсорбции при определенных концентрациях характерна и для ионов тяжелых металлов, например таких, как Cd, Cu, Pb, Zn и др.

Диффузионные свойства загрязненных грунтов определяют возможность миграции загрязнителей диффузионным путем. Так, например, проницаемость покрышек в отношении флюидов-загрязнителей во многом обусловлена именно процессами диффузии. Вопросы диффузионной проницаемости глинистых пород в отношении различных загрязнителей изучены не в полной мере.

Различные вещества-загрязнители диффундируют в одинаковой породе с разными скоростями, поэтому их коэффициенты диффузии будут различны. Степень различия коэффициентов диффузии разных загрязнителей в одной и той же породе зависит от многих факторов, основными из которых являются размер и масса диффундирующих частиц.

Загрязнители, представленные неорганическими или органическими электролитами в водонасыщенных грунтах, диффундируют в диссоциированной форме. При этом коэффициенты диффузии катионов и анионов будут различны в силу различий у них массы и радиуса.

Как известно, размеры ионов закономерно связаны с положением элементов в периодической системе и в пределах групп растут с увеличением порядкового номера элемента. В рядах радиусы уменьшаются с увеличением валентности.

Наряду с простыми ионами загрязнителей важное значение для диффузии имеют загрязнители, образующие комплексные ионы, внутри которых связь между атомами ковалентная. Размеры таких ионов часто весьма значительны, их форма особенно далека от шаровой и коэффициенты диффузии намного меньше, чем простых ионов.

Кроме того, следует иметь в виду, что катионы и анионы загрязнителей в поровом растворе грунтов диффундируют в гидратированной форме. Гидратация ионов (положительная или отрицательная в зависимости от вида иона) изменяет эффективный радиус диффундирующего иона, что сказывается на его коэффициенте диффузии. Ионы с отрицательной гидратацией разупорядочивают структуру воды вблизи своего непосредственного окружения, а ионы с положительной гидратацией, напротив, упорядочивают структуру воды.

Набухаемость загрязненных грунтов. При загрязнении грунтов меняется их способность набухать. Поскольку набухание грунтов связано в первую очередь с

осмотическими процессами, происходящими в грунтах на микроуровне и обуславливающими расклинивающее давление между частицами, то оно зависит от воздействия загрязнителя на эти процессы.

Загрязнители-электролиты влияют на набухаемость грунтов так же, как и водные растворы обычных солей. При этом с ростом концентрации загрязнителя набухаемость грунта снижается вследствие падения ионно-электростатической составляющей расклинивающего давления. Набухаемость глинистых грунтов в воде при наличии полярных органических загрязнителей также ниже, чем чистых грунтов, поскольку крупные полярные органические молекулы способны взаимодействовать лишь с внешней поверхностью глинистых минералов и не могут участвовать в их внутрикристаллическом набухании.

Набухаемость грунтов в неэлектролитах или неполярных жидких загрязнителях практически отсутствует. В целом, загрязненный неэлектролитами грунт набухает в воде меньше, чем незагрязненный грунт. Если же загрязнитель (например, жидкие нефтепродукты) гидрофобизует поверхность минерала, то такой гидрофобизованный грунт вообще теряет способность набухать.

Физико-механические свойства

Физико-механические свойства загрязненных грунтов изучены в наименьшей степени. Оценка физико-механических свойств загрязненных грунтов в ряде случаев необходима для разработки технологических схем их очистки, рекультивации территорий, транспортировки и удаления загрязненных грунтов.

Деформируемость загрязненных грунтов. Как известно, деформационные свойства грунтов в основном зависят от типа структурных связей, в частности - от типа и прочности контактов между частицами, агрегатами, зернами, кристаллами. Поэтому в самом общем виде при наличии загрязнителя деформируемость грунта может понижаться, оставаться неизменной или повышаться.

Снижение деформируемости загрязненных грунтов может быть обусловлено следующими причинами: 1) загрязнитель упрочняет контакты между структурными элементами (например, вследствие кристаллизации веществ и новообразований на контактах); 2) загрязнитель способствует набуханию грунта; 3) загрязнитель закупоривает поры, препятствуя тем самым отжатию порового раствора или выходу воздуха.

Если загрязнитель индифферентен по отношению к перечисленным выше факторам, то деформируемость загрязненного грунта не меняется.

Увеличение деформируемости загрязненных грунтов объясняется следующими причинами: 1) загрязнитель понижает прочность контактов между структурными элементами (например, вследствие проявления эффекта Ребиндера, растворения цемента на контактах и т.п.); 2) загрязнитель частично растворяет контакты между структурными элементами; 3) загрязнитель понижает трение на контактах частиц.

Прочность загрязненных грунтов. В зависимости от характера загрязнителя, его способности влиять на прочность контактов структурных элементов грунта меняется и прочность загрязненного грунта. Снижению прочности способствуют такие загрязнители, которые обуславливают эффект Ребиндера в скальных грунтах (понижители прочности), агрессивны по отношению к цементу на контактах частиц или снижают трение между частицами.

Так, например, различные загрязнители, обладающие кислотными свойствами, способны разрушать карбонатный цемент в грунтах и тем самым снижать их прочность. Снижению трения на контактах частиц, уменьшению угла внутреннего трения в грунтах способствуют нефть и нефтепродукты, действующие как смазка. В то же время за счет вязких нефтепродуктов (парафинов, мазута и т.п.) в несвязных сыпучих до загрязнения грунтах может появляться заметное сцепление. Жидкие и газообразные загрязнители способны существенно влиять на прочность скальных и дисперсных грунтов вследствие проявления эффекта адсорбционного понижения прочности - эффекта Ребиндера. Сущность этого эффекта заключается в том, что прочность напряженного твердого тела (грунта) снижается, возникает хрупкость, уменьшается долговечность, повышается пластичность за счет адсорбции на его поверхности веществ, вызывающих уменьшение поверхностной (межфазной) энергии.

Чаще всего при загрязнении грунтов эффект Ребиндера проявляется при наличии ПАВ и других "родственных" сред. По отношению к ионным кристаллам в породах такими родственными средами, способными вызывать резкое понижение прочности, являются различные полярные жидкости, водные растворы и расплавы солей. Неполярные загрязнители практически не влияют на снижение прочности грунтов.

Реологические свойства загрязненных грунтов. Изменение этих свойств у загрязненных грунтов также во многом зависит от состава и особенностей загрязнителя.

Так, например, загрязнители, содержащиеся в грунтах в виде водных растворов, мало меняют реологические свойства. Особенно сильно меняются реологические свойства грунтов, загрязненных жидкими углеводородами - нефтью и нефтепродуктами. Это объясняется тем, что нефть и НП существенно снижают трение на контактах частиц грунта, облегчая процессы объемной и сдвиговой ползучести. За счет этого грунт, загрязненный НП, имеет пониженный порог ползучести и более низкие параметры предельных напряжений сдвига. Параметры долговечности такого грунта также ниже по сравнению с "чистым" водонасыщенным грунтом. Вязкость нефти и различных товарных жидких нефтепродуктов-загрязнителей в целом больше вязкости воды.

Поэтому вязкость грунтов, загрязненных нефтью и вязкими НП (маслом, мазутом), выше, чем водонасыщенных грунтов.

Однако легкие НП, например такие, как бензин и другие, имеют вязкость меньшую, чем вода. Поэтому эти загрязнители понижают вязкость грунтов по сравнению с другими жидкими НП и водой.

Подводя итог, можно констатировать, что загрязненный грунт обладает в целом свойствами, отличными от свойств того же незагрязненного грунта. Оценка этих свойств необходима для применения и разработки методов очистки грунтов от загрязнителей.