

Л Е К Ц И Я № 1

Типы загрязнителей грунтов

1. Понятия о загрязнении и загрязнителях
2. Органические и биоорганические загрязнители
3. Неорганические и радиоактивные загрязнители

I.

Как природный компонент **грунты** представляют собой горные породы, почвы, техногенные образования, представляющие собой многокомпонентную и многообразную геологическую систему и являются объектом инженерно-хозяйственной деятельности человека.

В процессе техногенной деятельности человека или в результате природных процессов происходит прямое или опосредованное **загрязнение грунтов**, выражаемое в возникновении в них новых, как правило, нехарактерных для них компонентов. Компоненты могут быть комплексными, твердыми, жидкими газообразными и биотическими.

Наибольшие экологические проблемы связаны с техногенными загрязнителями. **Загрязнитель (поллютант)** – это физический, химический или биологический компонент, попавший в среду и оказывающий токсическое воздействие на биоту.

Техногенными поллютантами называются не свойственные природной среде посторонние продукты техногенного происхождения (**ксенобиотики**), поступающие в таких концентрациях, которые вызывают токсическое воздействие на экосистемы.

При этом вредное воздействие может иметь острый или хронический характер. В первом случае, мы наблюдаем непосредственное воздействие, а во втором воздействие происходит только после накопления этих веществ до критических доз.

Среди загрязнителей грунтов наиболее опасными являются поллютанты имеющие ксенобиотический статус, так как живые организмы не всегда успевают перестроиться или выбрать к ним защитные функции. Длительный процесс эволюции организмов на Земле выработал у живых организмов те или иные защитные функции лишь по отношению к веществам природного генезиса.

Токсичностью называют способность химических веществ техногенного или природного происхождения, при поступлении в организм в количестве, превышающем меру их фармакологической активности, нарушать нормальное течение процессов жизнедеятельности.

В отличие от токсических веществ **токсины (яды)** – представляют собой биологически активные вещества, вырабатываемые самими микроорганизмами, растениями и животными, общим свойством которых является способность нарушать гомеостаз (устойчивость основных функций живого организма) у определенных групп организмов. Основным критерием отнесения того или иного вещества к токсинам служит его способность нарушать гомеостаз какого-либо организма.

Одно и то же вещество может быть токсично к одним организмам и нетоксично к другим.

Изучением широкого комплекса вопросов, связанных со взаимодействием токсинов с биологическими системами различных уровней организации (от клеточного до популяционного) занимается **токсикология**.

Было бы логично классифицировать поллютанты по их токсическому действию, но это действие разнохарактерно, широко и разнообразно. Поэтому, мы будем изучать литополлютанты на основе классической химической типизации.

II.

К органическим загрязнителям грунтов относятся различные химические органические вещества, оказывающие токсическое действие на организмы.

К специфическим путям попадания органических загрязнителей в грунты относятся аварии на нефтепроводах, аварии на всех видах транспорта, перевозящего органические вещества, места слива ГСМ, места складирования и длительного органических веществ, свалки органических отходов.

Наибольшая опасность загрязнения грунтов связана со стойкими полиорганическими и полиароматическими соединениями (ПОПС), к которым относится хлорорганика, диоксины-дифураны, многие из которых способствуют развитию онкологических заболеваний. Попадая из грунтов в подземные воды, оттуда в растения по пищевым цепям, эти вещества могут оказывать токсическое действие на человека.

Среди органических поллютантов грунтов выделяется семь условных категорий.

Пестициды

Среди низкомолекулярных органических загрязнителей в грунты попадают пестициды. Эти вещества предназначены для борьбы с различными видами вредителей: *гербициды* – уничтожают сорные растения; *инсектициды* – уничтожают различные группы насекомых; *фунгициды* – уничтожают грибковые заболевания растений; *акарициды* – уничтожают клещей; *альгициды* – уничтожают водоросли; *ацифиды* – уничтожают тлей; *нематициды* – уничтожают червей; *бактерициды* – уничтожают бактерии и бактериальные болезни; *зооциды* – уничтожают грызунов; *дефолианты* – вызывают опадение листьев (хлопчатник); *вирициды* – уничтожают вирусы; *моллюскициды* – уничтожают улиток; *репелленты* – для отпугивания насекомых и другие.

Согласно гигиенической классификации среди пестицидов выделяются:

- сильнодействующие ядовитые вещества (СДЯВ), для которых значение летальной дозы $Ld/50$ составляет до 50 мг/кг;
- высокотоксичные $Ld/50$ составляет до 50 – 200 мг/кг;
- среднетоксичные $Ld/50$ составляет до 200 – 1000 мг/кг;
- низкотоксичные $Ld/50$ составляет $\gg 1000$ мг/кг;

В соответствии с химической классификацией пестицидов среди них выделяют хлорорганические соединения (ХОС), фосфорорганические соединения (ФОС), азотсодержащие соединения, триазины, серосодержащие соединения, пиретрины.

В почвах и горных породах пестициды активно поглощаются глинистыми минералами, почвенными коллоидами, и далее включаются в метаболизм микроорганизмов.

ХОС являются наиболее токсичными и устойчивыми из всех разработанных средств защиты растений. Для примера рассмотрим хлорированный углеводородный пестицид ДДТ.

ДДТ (дихлордифенилтрихлорэтан) нерастворимое в воде органическое соединение, применявшееся как инсектицид. Очень стабилен, накапливается в окружающей среде. В СССР запрещен к применению в 1970 году.

Полициклические ароматические углеводороды (ПАУ)

3,4-бенз(а) пирен, перилен, фенантрен, хризен, антрацен, нафталин и др.

Поступают в грунты с производственными и бытовыми отходами (ТЭЦ, золо- и шлакоотвалы), но могут иметь и природное происхождение (извержения вулканов, лесные пожары).

Состав ПАУ, образующихся в результате горения зависит от природы топлива, его состава и температуры сжигания.

Многие ПАУ обладают канцерогенными и мутагенными свойствами. Однако систематический контроль содержания ПАУ проводится лишь по бенз(а)пирену.

В РФ в результате хозяйственной деятельности в атмосферу выбрасывается от 100 до 200 тонн в год.

Бенз(а)пирен – широко распространенный канцероген. Его ПДК в воде по санитарно-токсикологическому признаку вредности составляет 0, 000005 мг/л.

Содержание этого вещества в почвах, горных породах и различных элементах ландшафта коррелирует с онкологической заболеваемостью населения.

К органическим веществам – загрязнителям грунтов также относят **кетоны, спирты, акриламид, формальдегид, нефть, нефтепродукты, хлорорганические вещества, полихлорированные бифенилы. Эфиры и тяжелые растворители, синтетические детергенты.**

К биоорганическим загрязнителям геологической среды можно отнести органические и органо-минеральные соединения биологического происхождения, а также живые токсичные загрязнители – патогенные микроорганизмы – бактерии, водоросли. Эти компоненты попадают в природную среду с канализационными стоками и сельскохозяйственными отходами.

Биологические загрязнители влияют на соотношение в геологической среде биогенных элементов N/P, стимулирующих развитие микроорганизмов, водорослей, грибов.

Загрязнение геологической среды биогенными загрязнителями происходит в результате развития животноводства.

Химический состав биоорганических загрязнителей весьма сложен и определяется источниками их формирования.

Бактерии – разнообразная по биологическим свойствам группа широко распространенных и древнейших на Земле мельчайших, в основной одноклеточных организмов, принадлежащих к низшим формам жизни.

Большинство бактерий - прокариоты, т.е. их клетки лишены ядра в отличие от эукариотов, у которых оно имеется. Среди патогенных бактерий есть виды, вызывающие различные заболевания у человека, животных и растений.

У одного и того же вида бактерий патогенные свойства варьируют в широких пределах. Степень патогенности штамма определенного вида бактерий называется вирулентностью.

В почвах, канализационных осадках и грунтах из патогенных бактерий наиболее опасны для человека палочка ботулизма, палочка столбняка, кишечная палочка, дизентерийные бактерии, а также возбудители чумы, тифа, холеры и др. Возрастающую опасность представляют новые виды патогенных микроорганизмов, получаемых с помощью методов генной инженерии.

Выявление и ликвидацию очагов биохимического заражения почв, подземных и поверхностных вод патогенными бактериями проводят специальные службы МЧС, подразделения санитарно-эпидемиологической разведки. Постоянное наблюдение за источниками водоснабжения населения проводят станции санитарно-эпидемиологической службы (СЭС).

Кишечная палочка, или коли-бактерия, имеет форму палочки со слегка закругленными концами длиной до 1-3 мкм. Подвижна, имеет жгутики, спор не образует. Аэроб постоянно присутствует в кишечнике человека и большинства других млекопитающих, птиц, рыб, насекомых и других организмов.

Она выбрана в качестве санитарно-показательного микроорганизма, так как в значительном количестве выделяется организмами с фекалиями в окружающую среду, где длительное время может сохраняться. Наличие в грунтах кишечной палочки указывает на возможность наличия в них других, в том числе патогенных для человека, микроорганизмов кишечной группы, непосредственное обнаружение которых затруднено.

Количественными показателями фекального загрязнения почв, грунтов и воды являются коли-индекс и коли-титр, основанные на исследовании содержания в них кишечной палочки.

Коли-индекс - количество кишечных палочек, содержащееся в анализируемой пробе грунта (или воды) массой 1 кг. Коли-индекс в грунтах определяется методом мембранных фильтров. Сущность его заключается в фильтровании определенной пробы грунта, разведенной в воде, через мембранные фильтры № 2 или № 3, на которых задерживаются бактерии.

Фильтры переносят на чашки со средой Эндо, инкубируемые при 37 °С, а затем исследуют выросшие на поверхности фильтра темно-красные с металлическим блеском, а также розовые и прозрачные колонии. Для определения коли-индекса подсчитывают выросшие на фильтре колонии кишечной палочки и затем проводят пересчет на 1 кг грунта.

Коли-титр - наименьшее количество грунта, почвы или воды (выраженное, соответственно, в г или мл), в котором обнаруживается кишечная палочка. Чем больше величина коли-титра данного грунта, тем чище грунт в отношении кишечной палочки.

Его определяют бродильным методом, заключающимся в посеве определенных объемов исследуемого субстрата в среды накопления, которые выдерживают при 37 °С. В качестве сред накопления используют глюкозопептонную или лактозопептонную среду с индикатором. Затем из сред накопления делают высевы на среду Эндо с последующей идентификацией выросших колоний.

Коли-титр - величина обратная коли-индексу, который является прямым показателем фекального загрязнения грунтов и подземных вод. Возможен взаимный пересчет этих показателей. Предельно допустимые величины коли-титра (коли-индекса) нормируются государственными санитарными стандартами. Например, по

ГОСТ2874-73 коли-индекс питьевой воды в водопроводе составляет не более 3, а коли-титр - не менее 300.

Наряду с патогенными бактериями токсичным действием обладают и так называемые синезеленые водоросли, или цианобактерии. Цианобактерии присутствуют во всех пресных водоемах: "цветение" водоемов - серьезная экологическая проблема, поскольку такая вода не пригодна для питья и способна вызвать отравления.

Установлено, что техногенное загрязнение водоемов детергентами, нитратами и т.п. компонентами способствует их цветению вследствие более интенсивного развития цианобактерий. Из цианобактерий токсичны представители родов *Microcystis*, *Nobularia*, *Anabaena*, *Nostoc*, *Aphanizomenon*, *Oscillatoria* и др., представляющие в основном планктонные формы, способные проникать и в илы. Гепатотоксины, вырабатываемые этими цианобактериями, попавшие в организм, способны вызывать разрушение печени, развитие онкологических заболеваний и т.п.

Дополнительные органические вещества, поступающие, например, в открытые поверхностные водоемы в ходе процессов техногенеза, вызывают их эвтрофикацию, т.е. обогащение биогенными компонентами. В результате происходит зарастание водоемов водорослями, на разложение которых после их отмирания расходуется большое количество кислорода. Формирующийся сапропель приводит к обмелению водоема, его постепенному превращению в болото с активным выделением биогаза. Эвтрофикации способствует снос в водоемы нитратов, вымываемых из удобрений, или фосфатов - из моющих средств (детергентов).

Сложный химический и биохимический состав имеет фильтрат, образующийся на полигонах твердых бытовых отходов (ТБО). Основную его долю составляют водорастворимые органические и неорганические вещества, с примесью эмульсии водонерастворимых веществ и биотических компонентов (патогенных бактерий). Фильтрат обычно содержит гамму токсичных веществ.

III.

К неорганическим загрязнителям грунтов относятся различные неорганические химические соединения, оказывающие токсическое действие на организмы. Среди них выделяются: тяжелые металлы, минеральные соли и вещества, неорганические кислоты, щелочи.

Источниками загрязнения почв неорганикой служат различные объекты горнодобывающей, химической и металлургической промышленности, ТЭК, военной и машиностроительной промышленности.

Рассмотрим краткую характеристику основных неорганических загрязнителей геологической среды.

Тяжелые металлы (ТМ) в списке приоритетных неорганических загрязняющих компонентов находятся на одном из первых мест. К ним относятся в основном переходные элементы (p- и d-металлы) с плотностью более 4,5 г/см³.

Кларки большинства переходных металлов, за исключением железа, алюминия и марганца, находятся в пределах от десятых долей до десятков мкг/г. Однако роль этих элементов несоизмерима с их концентрациями.

Основными факторами, определяющими особую роль элементов, являются высокая физико-химическая и биохимическая активность и важная роль в биогеохимических циклах.

Поступление тяжелых металлов в почвы и горные породы происходит как естественным, так и техногенным путем. Значительная их часть поступает в почвы и горные породы с поверхностными атмосферными выпадениями. Различные формы микрокомпонентов обладают разной токсичностью и разной доступностью для биоты.

Ландшафтно-геохимические закономерности формирования техногенных аномалий тяжелых металлов в различных природных условиях изучены еще недостаточно. Исследования, проведенные А.И. Перельманом, Н.С. Касимовым для загрязненных тяжелыми металлами территорий городских агломераций, показали, что среди них могут быть выделены два вида:

1) аккумулирующий тип загрязнения, связанный с положением города в конечных бассейнах местного стока, тяжелым гранулометрическим составом почв и горных пород и высоким природным фоном тяжелых металлов, развитием поверхностного переувлажнения и оглеения, а также щелочным фоном почв

2) мобилизующий, вызванный кислым выщелачиванием металлов из почв и горных пород, особенно хорошо выраженным на почвах легкого гранулометрического состава.

В соответствии с этим в промышленных городах существует два основных вида поведения загрязняющих веществ, включая и тяжелые металлы, в геологической среде. Первый - сопряженный, при котором сохраняется определенное соотношение между атмотехногенной поставкой вещества, загрязнением почв и донных осадков. Этот вид загрязнения в основном определяется особенностями депонирующих сред.

Второй - диссонансный, при котором это сопряженное соотношение нарушается в ту или другую сторону. В соответствии с этим выделяется два вида такого диссонанса. При аккумулятивном геохимическом диссонансе природные и природно-техно-генные факторы миграции усиливают относительно небольшое по контрастности и объему выбросов атмотехногенное загрязнение.

При ослабляющем диссонансе мощные атмотехногенные выбросы загрязнителей минимизируются кислым выщелачиванием тяжелых металлов из почв легкого гранулометрического состава.

Такой вид геохимического диссонанса характерен, например, для некоторых центров черной металлургии, где преобладание труднодоступных форм металлов в атмосферных выбросах не способствует формированию техногенных биохимических аномалий, адекватных по контрастности мощности этих выбросов.

Рассмотрим некоторые некоторые тяжелые металлы.

Ртуть. Содержится в таких минералах, как киноварь, ливингстонит и др. Это жидкий серебристо-белый металл, заметно летучий даже при комнатной температуре. Плотность жидкой ртути - $13,5 \text{ г/см}^3$. Легко взаимодействует с серой и галогенами. Растворима в царской водке, нерастворима в соляной и разбавленной серной. Источниками поступления в окружающую среду являются предприятия по добыче и производству ртути, процесс сжигания органического топлива, а также различные ртутные приборы.

Пары ядовиты (ПДК в воздухе $0,01 \text{ мг/м}^3$, в воде - $0,001 \text{ мг/л}$), токсична в любой форме. Вдыхание паров организмом человека приводит к интоксикации, болезни Минамата, неполноценности новорожденных, поражению легочной и центральной нервной системы, вызывая острую пневмонию, судороги, ухудшение зрения и др. Прием всего лишь 1 г ртутной соли смертелен (ПДК в пище $0,3 \text{ мг}$ в неделю).

В обычных почвах ртуть содержится в количествах от 90 до 250 г/га . Однако за счет средств протравливания зерна она может ежегодно добавляться в количестве около 5 г/га . Примерно такое же количество попадает в почвы и горные породы с атмосферными осадками. Дополнительные загрязнения ртутью возможны при внесении удобрений, компостов, инсектицидов и т.п.

Мышьяк. Содержится во многих почвах за счет внесения удобрений и обработки пестицидами и инсектицидами. Источниками выделения мышьяка в окружающую среду служат производство пигментов, стекла, лекарств, инсектицидов, фунгицидов, дубильных веществ.

В организм попадает вдыханием пыли и испарений, вредно влияет на нервную систему (периферические невриты), желудок, легкие и кожу, вызывает интоксикацию, дерматит, рак кожи и легких. ПДК в воде составляет $0,05 \text{ мг/л}$.

Цианиды. Представляют собой соли синильной кислоты, HCN . Относятся к химически удушающим и отравляющим веществам. Источниками их поступления в окружающую среду являются отходы металлургической и химической промышленности, гальванотехники, а также пестициды и метаболизм. Попадают в организм путем вдыхания паров, подкожной абсорбцией или проглатыванием. Влияют на клеточный метаболизм, вызывают интоксикацию организма, ингибицию ферментов организма с метаболическим удушьем.

Цианиды щелочных и щелочноземельных металлов гидролизуются водой, цианиды тяжелых металлов, кроме ртути, не растворимы в воде. ПДК цианидов в воздухе - $0,3 \text{ мг/м}^3$ в пересчете на HCN , в воде - $0,05 \text{ мг/л}$. Особо высокотоксичен цианид калия (цианистый калий, KCN) - вещество, растворимое в воде и применяемое в качестве реагента при извлечении золота и серебра из руд. Смертельная доза для человека цианистого калия - 120 мг , цианистого натрия - 110 мг .

Синильная кислота (цианистый водород, HCN) - жидкость с запахом горького миндаля, смешивается с водой. Обладает слабыми кислотными свойствами. Токсична, задерживает окислительные и ферментативные процессы, связывает гемоглобин в циангемоглобин, парализует дыхательные центры и вызывает удушье, ПДК в воздухе - $0,3 \text{ мг/м}^3$.

Минеральные соли и удобрения - химические вещества, применяемые для повышения плодородия почв. Среди удобрений по содержанию основных компонентов выделяют азотные, калийные, фосфорные, известковые, сложные, а также микроудобрения.

Сами по себе минеральные соли и сельскохозяйственные минеральные удобрения не обладают токсическим действием. Однако избыток различных минеральных солей в почвах и горных породах приводит к засолению почв техногенного происхождения, угнетению и разрушению экосистем. Неправильная агротехника на сельскохозяйственных полях при применении

минеральных удобрений (в частности, переудобрение почв) часто ведет к загрязнению почв различными солями, снижению плодородия, вторичному засолению и другим негативным экологическим последствиям. Токсические свойства минеральных удобрений проявляются при несоблюдении агротехники, правил их хранения и гигиенических требований. При этом они могут загрязнять почвы, горные породы и подземные воды. Особенно легко вымываются из почвы азотные удобрения. Попадая в водоемы, соединения азота и фосфора способствуют их "цветению".

Неблагоприятное действие на человека по пищевым цепям минеральных удобрений иногда определяется не только их химическим составом, но и примесями веществ, более токсичных, чем основной компонент. Так, например, токсическое действие фосфоритов и суперфосфата в значительной степени может быть обусловлено примесью фторидов или соединений мышьяка. Неблагоприятное действие микроудобрений, как правило, зависит от основных компонентов. Острые отравления удобрениями наиболее вероятны в тех случаях, когда они содержат аммиак или цианамид кальция.

Загрязнение почв и горных пород минеральными солями происходит в больших объемах и на территориях, примыкающих к комбинатам по производству минеральных солей и удобрений. Так, например, на территории комбинатов по производству калия содержание минеральных солей в метровом слое почвы достигает 150-180 т/га при фоновом содержании 2-5 т/га.

Нитраты (соли и эфиры азотной кислоты с радикалом NO_3) и нитриты (соли и эфиры азотистой кислоты) поступают в геологическую среду с удобрениями (селитра - нитрат аммония, нитраты калия, натрия, кальция и т.п.), отходами животноводства. Хорошо растворимы в воде и поэтому активно мигрируют в грунтах. В малых дозах содержатся в почве и подземных водах, являясь конечными продуктами минерализации азотсодержащих органических веществ.

В чистых подземных водах их не более 0,1 мг/л, но в местах, где применяются минеральные удобрения, концентрация резко возрастает. Содержание нитратов в почвенных растворах достигает 300 мг/л и более. Обнаружение нитратов и нитритов в почвах и подземных водах указывает на загрязнение их азотсодержащими органическими веществами. В организм попадают с пищей, так как могут накапливаться в различных сельскохозяйственных растениях, и вызывают метгемоглобинемию, оказывают раздражающее действие на кожу и т.п.

Токсическое действие нитритов на организм обусловлено их влиянием на сосудодвигательный и дыхательный центры центральной нервной системы, а также образованием в организме сильных канцерогенов - нитрозаминов. Нитрозамины обнаружены и в машинных маслах (до 3%!). ПДК в воде - 45 мг/л, ПДК в воде по санитарно-токсикологическому признаку вредности - 10 мг/л.

Существенное загрязнение геологической среды на территориях крупных городов происходит вследствие применения зимой на дорогах различных антигололедных смесей (крупного песка и технической соли, содержащей хлориды, жидкий хлористый кальций и т.п.). Чаще всего используется техническая смесь NaCl и CaCl_2 , содержащая до 10% других загрязняющих примесей. В результате этого концентрация хлора в снеге, например в промышленных зонах Москвы, достигает 800-1200 мг на 1 кг снега, а в

селитебных зонах – 1200-2500 мг. Особенно высока концентрация хлоридных солей вдоль автодорог.

В период снеготаяния большое количество хлора, образующегося из антигололедных смесей, попадает в почвы, горные породы, подземные воды и реки, вызывая в весенний период резкое аномальное загрязнение хлором геологической среды.

Засоление вследствие этого почв и горных пород на территории города ведет к активизации процессов подземной коррозии, коррозионному повреждению бетонных покрытий автострад, бетонных мостов, автотранспорта, авариях на подземных трубопроводах, канализационных сетях, кабельных линиях, порчи обуви у населения и т.д. Отмечаются серьезные повреждения растительности, ухудшение качества и структуры почв, обусловленное ее засолением. Это, в свою очередь, приводит к вымыванию ионов питательных веществ, уплотнению почвы и постепенному повышению ее pH.

В связи с этим в ряде европейских стран и в отдельных городах (например, в Германии) применение антигололедных смесей было полностью запрещено.

Фосфаты. Фосфаты являются ингредиентами многих синтетических поверхностно-активных веществ (ПАВ), применяемых в качестве моющих средств, и удобрений. Со сточными водами они попадают в почвы, горные породы и подземные воды, вызывая различные загрязнения. Среди них наиболее важны конденсированные фосфаты: пиро- и трифосфаты. Вредное воздействие фосфатов на грунты и подземные воды состоит и в стимулировании ими развития цианобактерий, "цветения" водоемов.

Скорость гидролиза сильно зависит от температуры, pH среды, состава порового раствора грунта и др. Вследствие медленного гидролитического распада фосфаты могут длительное время сохраняться в грунтах или мигрировать с подземными водами, поступая в поверхностные водоемы, где их концентрация может достигать 1 мг/л. Кислая среда и присутствие бактерий способствуют гидролитическому распаду фосфатов в грунтах.

Фосфаты активно сорбируются поглощающим комплексом дисперсных грунтов и почв. Сорбция полифосфатов и метафосфатов на глинистых частицах приводит к росту заряда частиц и сопровождается пептизацией. Пептизирующее действие фосфатов может быть объяснено связыванием ими катионов многовалентных металлов, выступающих в роли коагулирующих ионов для отрицательно заряженных глинистых частиц грунтов.

Асбест. Собирательное название группы природных гидросиликатных минералов, имеющих волокнистую структуру и способных при механических воздействиях расщепляться на тонкие мельчайшие волокна толщиной до 0,5 мкм. Среди природных асбестов выделяют хризотил и амфиболовые асбесты (актинолит, антофиллит, крокидолит и др.).

Мировая добыча асбестов составляет около 5 млн т/год. Применяются при производстве асбесто-текстильных и асбесто-цементных изделий, тепло- и электроизоляторов. При вдыхании асбестовой пыли развиваются патологические изменения в верхних дыхательных путях, а также асбестоз (разновидность силикатоза) - диффузный фиброз легких. ПДК для пыли, содержащей более 10% асбеста, составляет 2 мг/м³. Последствия воздействия асбеста на организм

проявляются через 10-30 лет, поэтому иногда бывает трудно провести прямую связь между применением асбеста и возникшим заболеванием.

В настоящее время появились сведения о развитии различных раковых заболеваний при потреблении воды, контактирующей с асбестом, о вредном воздействии на организм строительных материалов с примесью асбеста. В ряде стран прекращено производство стройматериалов с примесью асбеста и потрачены миллиарды долларов на удаление асбеста из конструкций домов и рабочих помещений.

Таким образом, существует довольно широкий спектр неорганических, органических, радиоактивных и биотических загрязнителей геологической среды, отличающихся разной токсичностью, механизмом поступления и формой существования в грунтах.