Министерство образования и науки РФ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ФГБОУ ВО «АмГУ»)

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В ТЕХНОСФЕРЕ

сборник учебно-методических материалов

для направления подготовки 20.03.01 – Техносферная безопасность

Благовещенск, 2017

Печатается по решению
редакционно-издательского совета
инженерно-физического факультета
Амурского государственного
университета

Составитель: Т.А. Родина
Физико-химические процессы в техносфере: сборник учебно-методических материалов для направления подготовки 20.03.01. – Благовещенск: Амурский гос. ун-т, 2017.

© Амурский государственный университет, 2017
© Кафедра химии и естествознания, 2017
© Т.А. Родина, составление

СОДЕРЖАНИЕ

Введение……... ….4
Краткое содержание теоретического материала……..…… …..5
Методические рекомендации к лабораторным занятиям……..…….25
Методические указания для самостоятельной работы…….32

ВВЕДЕНИЕ

Целью изучения дисциплины является формирование у студентов целостного представления о процессах и явлениях физико-химического взаимодействия загрязнителей с компонентами окружающей среды, необходимого при решении физико-химических проблем обеспечения безопасности жизнедеятельности.

Задачами дисциплины являются:

- формирование представлений об основных физико-химических процессах происходящих в биосфере и техносфере;
- приобретение знаний о законах миграции химических элементов, глобальных биогеохимических циклах;
- приобретение знаний по проблемам химического загрязнения биосферы;
- изучение закономерностей физических явлений и химических процессов в окружающей среде под воздействием естественных и антропогенных факторов.

В процессе освоения дисциплины студент формирует и демонстрирует следующие общекультурные и профессиональные компетенции:

владение культурой безопасности и риск-ориентированным мышлением, при котором вопросы безопасности и сохранения окружающей среды рассматриваются в качестве важнейших приоритетов в жизни и деятельности (ОК-7);

способность использовать законы и методы математики, естественных, гуманитарных и экономических наук при решении профессиональных задач (ПК-22);

способность применять на практике навыки проведения и описания исследований, в том числе экспериментальных (ПК-23).

В результате освоения дисциплины обучающийся должен демонстрировать следующие результаты образования:

знать: факторы, определяющие устойчивость биосферы; естественные процессы, протекающие в атмосфере, гидросфере, литосфере; характеристики возрастания антропогенного воздействия на природу; состав и свойства продуктов взаимодействия загрязняющих веществ и их производных с компонентами окружающей среды и между собой; пути миграции загрязнителей, этапы их трансформации, пути и способы выноса из атмосферы, гидросферы и литосферы (ОК-7, ПК-22, ПК-23);

уметь: осуществлять в общем виде оценку антропогенного воздействия на окружающую среду с учетом специфики природно-климатических условий (ОК-7, ПК-22, ПК-23);

владеть: методами предсказания протекания возможных химических реакций в окружающей среде и оценки их воздействия на живую и неживую природу (ОК-7, ПК-22, ПК-23).

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОГО МАТЕРИАЛА

Общие сведения о загрязнении биосферы

Привнесение в какую-либо среду новых не характерных для нее в рассматриваемое время неблагоприятных физических, химических и биологических агентов или превышение естественного среднемноголетнего уровня этих агентов в среде называется загрязнением. Создано множество классификаций загрязнений.

1. По объектам: загрязнение вод (поверхностных и подземных), загрязнение атмосферы, загрязнение почв, загрязнение космического пространства и т. п.
2. По масштабам: локальное, региональное, глобальное.
3. По природе действующих факторов: физическое, химическое, биологическое.
4. По характеру воздействия на объекты окружающей среды.

Большинство загрязнителей – химические вещества, возникающие в качестве побочных продуктов или отходов добычи, переработки и использовании ресурсов. В настоящее время в повседневном использовании в мире применяется около 80000 синтетических веществ. В ходе промышленного и сельскохозяйственного производства образуется порядка 100 000 веществ. Так или иначе, все эти вещества попадают в окружающую среду. Для того чтобы можно было охватить все многообразие загрязняющих химических агентов в среде, нам необходима классификация.

Загрязнители чрезвычайно разнообразны и, по самому определению, один источник загрязнения может давать большое число загрязнителей. Можно различать несколько разных типов загрязнителей, хотя это деление достаточно условно и многие загрязнители могут быть отнесены к нескольким типам. Можно классифицировать загрязняющие вещества *по их поведению в окружающей среде*.

- *Разложимые биологически вещества* – те, которые подвергаются атаке микроорганизмов, ведущей к их деградации и полному удалению. Обычно это – отходы жизнедеятельности организмов и включают наиболее распространенные загрязнители: хозяйственно-бытовые стоки. Сюда же можно отнести стоки сельского хозяйства и пищевой промышленности. Поскольку эти вещества являются подходящим субстратом для микробной активности, биоразложимые вещества остаются в активном состоянии до тех пор, пока они не захораниваются достаточно глубоко в осадки или не разлагаются полностью.
- *Биологически неразложимые вещества* не изменяются под действием микроорганизмов. *Инертные загрязнители*, такие как твердые частицы, тяжелые металлы, многие синтетические органические вещества сохраняются в окружающей среде в неизменной форме, несмотря на то, что они могут растворяться или транспортироваться.
- *Химически разложимые вещества*, такие как, например, кислоты, уничтожаются в ходе химических реакций в окружающей среде.

Факторами, определяющими тяжесть воздействия загрязняющих веществ, являются:
1) их биологическая активность (сила токсического или другого воздействия на биоту);
2) концентрация;
3) время жизни в среде или устойчивость.

Природные и антропогенные загрязнения

Загрязнители попадают в окружающую среду не только в результате деятельности человека, но и «естественным путем». Отходы деятельности любой системы являются загрязнителями для остальных. Но в процессе эволюции биосферы возникли механизмы утилизации этих загрязнений и теперь продукты жизнедеятельности одних подсистем биосферы служат источниками существования других. В биосфере не существует «ресурсов», используемых для «продукции» (в обыденном понимании этих слов), как и не существует отходов. Производство органического вещества и его разложение в биосфере

сбалансированы с точностью порядка 10^{-7}. Отходы жизнедеятельности животных перерабатываются другими животными, минерализуются микроорганизмами и возвращаются в биотический круговорот. То же происходит с отмершими растениями. Углекислота, образуемая гетеротрофными организмами в процессе дыхания, повторно используется растениями для воссоздания органического вещества с помощью солнечной энергии. Кислород, побочный продукт, образуемый растениями в ходе фотосинтеза, изначально был ядовит для живых организмов, но жизнь выработала механизм его обезвреживания. Этот механизм оказался очень эффективным способом трансформации энергии и теперь распространен почти повсеместно в биосфере. Нам он известен как дыхание.

Природное загрязнение окружающей среды включает в себя и катастрофы. Наиболее яркими примерами здесь могут служить извержения вулканов. При этом необходимо помнить, что вулканическая активность обеспечивает и возврат в круговорот биосферы химических элементов из мантии Земли. Можно упомянуть и космические катастрофы, например, гипотетический гигантский метеорит с которым связывают массовое вымирание динозавров.

Очень многие вещества поступают в окружающую среду, как в результате техногенной активности, так и из природных источников. Биогенные вещества (главным образом соединения азота и фосфора) – важнейшие компоненты бытовых и сельскохозяйственных сточных вод и естественные продукты метаболизма животных. Окислы серы и бенз(а)пирены попадают в атмосферу в ходе природных пожаров, многие металлы – благодаря вулканической активности, окись азота образуется при вспышках молний, нефть попадает в водоемы в районах естественных нефтепроявлений. Большое количество дисперсных веществ поступает в атмосферу естественным путем. Таковы продукты выветривания горных пород, частички почвы, морская соль. Эруптивные газы вулканов (выделяющиеся при извержениях) содержат углекислый газ, сероводород, сернистый газ, соединения галогенов. Фумаральные газы (выделяемые в спокойном состоянии) – сернистый, углекислый, сероводород, метан. Естественные гейзеры и геотермальные источники поставляют в атмосферу окиси углерода и серы в количествах, сопоставимых с выбросами тепловых электростанций. Только один такой источник может поставлять в среду ежегодно 200 тыс. т хлора, 100–1000 т аммиака, фтора, серной кислоты, 1000–10000 т сероводорода.

Антропогенное загрязнение отличается, в первую очередь, большей концентрацией загрязняющих веществ. Возникают необычные для биосферы сгущения обычно разреженных элементов, такие как свалки, отвалы, места захоронения отходов. Кроме того, современная цивилизация вынуждает биосферу к включению в биотические кругообороты экзотических веществ, таких как, например, алюминий, синтетические элементы, ксенобиотики. Большая часть загрязнителей рассеивается и разлагается, и их концентрация снижается до безопасного уровня.

Точечные и диффузные источники загрязнения

Точечные источники – четко локализованные. Неточечные – трудноопределимые. Загрязнители могут поступать в окружающую среду из точечных источников или диффузно. Точечный источник – одиночное место, которое может быть идентифицировано как источник загрязнения. Примерами может служить сточная труба по отношению к водотоку или водоему, крупное предприятие, город и т.п. Мониторинг точечных источников загрязнения значительно легче осуществлять, чем диффузных.

Диффузные выбросы не имеют такой легко устанавливаемой привязки к определенному месту. Они поступают сразу на большой площади, как, например, в случае с кислотными дождями, выпадающими сразу на площади водосборного бассейна, биогенными элементами, образующимися из удобрений и просачивающимися из почвы на значительной длине реки. Примером диффузного загрязнения может служить и поступление загрязняющих веществ с выхлопами автомобильных двигателей.

Виды загрязняющих веществ

Любое инородное вещество как вредное, так и нейтральное, не оказывающее вредного воздействия на окружающую среду, можно определить как примесь или чужеродное вещество, называемое *контаминантом* (contaminant, англ. – примесь, инородное вещество, постороннее вещество, грязь). Если вещества вызывают деградацию окружающей среды, они называются загрязнителями или *поллютантами* (pollutant, англ. – загрязняющий агент).

Физико-химические процессы в атмосфере

Воздушная оболочка составляет 0,0001 % (10^{-6}) массы Земли, сильно перемешана, состоит из азота, кислорода и аргона на 99,9 %. За счет динамической активности земной атмосферы перераспределяется получаемая Землей солнечная энергия. Атмосфера Земли – это рабочее тело «тепловой машины» планеты. Азот практически не участвует в геохимических процессах и поэтому накапливается в атмосфере, как и аргон. Кислород циркулирует в ионосфере, океане, биосфере и осадочных породах. Количество его в атмосфере определяется скоростью химических реакций и фотосинтеза, которые связывают свободный кислород атмосферы с восстановленным углеродом и частично депонируют его в осадочных породах. По количеству молекул в атмосфере 79 % N_2, 20 % O_2, 1 % Ar. Остальные составляющие атмосферы имеют столь низкую концентрацию, что она выражается не %, а в млн.$^{-1}$. Таковы CO_2 (340), Ne (18), He (5), O_3 (2). Нижняя часть атмосферы – *тропосфера* мощностью 12–15 км, составляющая 80 % массы атмосферы. Затем на высоте от 20 до 40 км лежит тонкий *озоновый слой*. Выше *тропопаузы* расположены 40 км *стратосферы*, на которую приходится примерно 19% массы атмосферы. Следующие за *стратопаузой* 800–1300 км занимает *термосфера* (0,9 % массы атмосферы), над ней находится *экзосфера*, простирающаяся до 10 000 км. Атмосферу также подразделяют на хорошо перемешиваемую *гомосферу*, простирающуюся до высоты 120 км от поверхности Земли, и *гетеросферу*, где силы гравитации преобладают над перемешиванием. Они разделены турбопаузой.

Состав атмосферы.

Кроме главных газов – азота, кислорода, аргона, в воздухе присутствуют и различные следовые газы, время жизни которых различно.

Состав незагрязненного воздуха: азот 78,084 %, кислород 20,946 %, аргон 0,934 %, вода 0,5–4 %, углекислый газ 0,036 %, неон 0,001818 %, гелий 0,000524 %, метан 0,00017 %, криптон 0,000114 %, водород 0,00005 %, ксенон 0,0000087 %. Время пребывания следовых газов в атмосфере: диоксид углерода 4 года, метан 3,6 года, азотистый ангидрид 20-30 лет, оксид углерода 0,1 года, муравьиная кислота 10 дней, аммиак 2 дня, метилхлорид 30 дней, серооксид углерода 1, диоксид азота 4 дня, диоксид серы 3-7 дней, оксид азота 4 дня, сероводород 1 день, сероуглерод 40 дней, метилиодид 5 дней, хлороводород 4 дня, диметилсульфид 1 день.

Реакционная способность следовых веществ в атмосфере.

Наиболее реакционноспособны в атмосфере радикалы гидроксила, образующиеся при фотодиссоциации молекул воды $H_2O + h\nu \rightarrow \cdot OH + \cdot H$, или при фоторазложении озона $O_3 + h\nu \rightarrow O_2 + \cdot O$; $O\cdot + H_2O \rightarrow 2\cdot OH$. Реакция между ним и диоксидом азота приводит к образованию важной составляющей кислотных дождей: $NO_2 + \cdot OH \rightarrow HNO_3$. Газы, имеющие низкие скорости реакций с OH, накапливаются в тропосфере и проникают в стратосферу, где преобладают химические процессы с участием атомарного кислорода.

Обзор загрязнения атмосферы.

Первичное загрязнение.

Обычный процесс сгорания топлива описывается как

$$4CH + 5O_2 \rightarrow 4CO_2 + 2H_2O.$$

При недостатке кислорода $4CH + 3O_2 \rightarrow 4CO + 2H_2O$, или

$$4CH + O_2 \rightarrow C + 2H_2O.$$

Могут образовываться и полициклические углеводороды (например, бенз(а)пирен).

Окись углерода (CO) в свежем незагрязненном воздухе присутствует в концентрациях 0,05–0,1 млн.$^{-1}$. Суммарное антропогенное поступление ее оценивается в 30 % от общего содержания. Специфическое действие на человека и животных CO оказывает, связываясь с гемоглобином. В отсутствие CO гемоглобин связывается с O_2 с образованием оксигемоглобина, транспортирующим кислород с кровотоком внутри организма. Способность CO связываться с гемоглобином в 210 раз превышает таковую O_2. Образовавшийся карбоксигемоглобин не способен переносить кислород. В норме у некурящих людей доля карбоксигемоглобина от общего содержания гемоглобина составляет 0,3– 0,5 %. При вдыхании CO содержание карбоксигемоглобина растет и обеспеченность организма кислородом снижается

Кроме того, в ископаемом топливе содержатся примеси, наиболее распространенный из них – сера. В некоторых углях может содержаться до 6 % пирита, который при сжигании образует диоксид серы: $4FeS_2 + 11O_2 \rightarrow 8SO_2 + 2Fe_2O_3$.

Промышленные выбросы серы в виде SO_2 составляют 200 Мт год$^{-1}$, поступление из природных источников – 300 Мт год$^{-1}$. Сажа и SO_2 являются первичными загрязнителями.

Вторичное загрязнение

Вторичное загрязнение атмосферы впервые ярко проявилось в Лос-Анжелесе в годы второй мировой войны. Первичные загрязнители атмосферы, образующиеся при сгорании топлива угля и древесины, в наше время уступают первое место по вкладу в загрязнение городского воздуха веществам, выбрасывающимся двигателями внутреннего сгорания. В цилиндрах двигателей при высоких температурах и давлениях образуются окислы азота (NO и NO_2, вместе обозначающиеся как NO_x). Двуокись азота фотохимически активна и вызывает образование фотохимического смога, реакции в котором и производят действующие загрязняющие вещества (вторичные загрязнители). Реакции в фотохимическом смоге:

$NO_2 + h\nu \rightarrow O + NO$; $O + O_2 + M \rightarrow O_3 + M$; $O_3 + NO \rightarrow O_2 + NO_2$ приводят к образованию озона – главного индикатора фотохимического смога. Как правило, озон не разрушается в ходе последней описанной реакции, а накапливается, поскольку присутствующие в смоге продукты неполного сгорания топлива (в качестве примера взят метан) и радикалы гидроксила направляют реакцию по пути:

$OH + CH_4 \rightarrow H_2O + CH_3O_2$ $\quad$ $CH_3O_2 + NO \rightarrow CH_3O + NO_2$

$CH_3O + O_2 \rightarrow HCHO + HO_2$ $\quad$ $HO_2 + NO \rightarrow NO_2 + OH$,

приводящему к дальнейшему росту концентрации двуокиси азота (следовательно, к продолжению фотохимических процессов) и образованию альдегидов, которые в ходе дальнейших реакций могут превращаться в другие раздражающие глаза вещества, например, в пероксиацетилнитрат (ПАН) – $CH_3COO_2NO_2$. И озон, и двуокись азота затрудняют дыхание, озон и альдегиды раздражают слизистые оболочки, вызывают головную боль.

Сравнение смогов Лос-Анджелеса и Лондона.

Характеристика	Лос-Анджелес	Лондон
Температура воздуха	От 24 до 32 °С	От –1 до 4 °С
Относительная влажность	<70 %	85 %
Скорость ветра	<3 м с$^{-1}$	Безветрие
Видимость	0,8–16 км	<30 м
Месяцы наиболее частого появления	Август-сентябрь	Декабрь-январь
Основные топлива	Бензин	Уголь и бензин
Основные составляющие	O_3, NO, NO_2, CO, органические вещества	Частички вещества, CO, соединения S
Тип химической реакции	Окислительная	Восстановительная
Время максимального сгущения	Полдень	Раннее утро
Основные воздействия на	Временное раздражение	Раздражение бронхов

здоровье	глаз	
Повреждающиеся материалы	Резина	Железо, бетон

Озон. Образование озона

Возможное разрушение озонового слоя, защищающего жизнь на Земле от губительного воздействия жесткой космической радиации и большей части ультрафиолетовой части спектра солнечного излучения стало с 1980-х годов одной из самых обсуждаемых проблем современности. При взаимодействии высокоэнергетических квантов УФ-излучения с молекулярным кислородом происходит фотораспад последнего: $O_2 + h\nu \rightarrow O + O$. Образовавшийся атомарный кислород реагирует с молекулярным кислородом с образованием озона: $O_2 + O \rightarrow O_3$. Весь озон, содержащийся в атмосфере, если его сконцентрировать при давлении, равном атмосферному у поверхности, составил бы слой мощностью 3 мм. Поглощение УФ–излучения при синтезе и разложении озона очень велико. Так, излучение с длиной волны 250 нм ослабевает, проходя через озоновый слой в 1030 раз.

Разрушение озона

Озон разрушается в фотохимическом процессе $O_3 + h\nu \rightarrow O_2 + O$, $O_3 + O \rightarrow 2O_2$, вместе с дополнительной реакцией $O + O + M \rightarrow O_2 + M$. M – забирает избыточную энергию в процессе реакции. Этим M может быть молекула O_2 или N_2. На самом деле в реакциях принимают участие водород, азот и хлорсодержащие формы:

$OH + O_3 \rightarrow O_2 + HO_2$, $HO_2 + O \rightarrow \cdot OH + O_2$;

$N_2O + O \rightarrow 2NO$, $NO + O_3 \rightarrow O_2 + NO_2$, $NO_2 + O \rightarrow ON + O_2$;

$Cl + O_3 \rightarrow O_2 + ClO$, $ClO + O \rightarrow Cl + O_2$.

Окись азота попадает в стратосферу из двигателей сверхзвуковой авиации, закись азота проникает из тропосферы, источник хлора – хлорфторуглеводороды (ХФУ), в первую очередь, хлорфторметаны. Можно отметить и то, что в стратосфере присутствует и природный хлор, поступающий в атмосферу из океана. Основная его форма – метилхлорид (CH_3Cl), но природный хлор составляет только ¼ хлора, переносимого через тропопаузу.

Хлорфторуглеводороды и озон

Наиболее распространенными в настоящее время в атмосфере хлорфторуглеводородами (ХФУ) являются Фреон–11 ($CFCl_3$) и Фреон–12 (CF_2Cl_2). Их широкое поступление в атмосферу началось с 1970-х годов благодаря их использованию для аэрозолей и в качестве охлаждающих веществ. Под действием УФ-излучения ХФУ фотодиссоциируют с образованием атомарного хлора: $CFCl_3 + h\nu \rightarrow CFCl_2 + \cdot Cl$, $CF_2Cl_2 + h\nu \rightarrow CF_2Cl + \cdot Cl$. Атомы хлора, как сказано выше, становятся катализаторами разложения озона:

$O_3 + \cdot Cl \rightarrow O_2 + \cdot ClO$, $ClO\cdot + \cdot O \rightarrow O_2 + \cdot Cl$

по суммарному уравнению реакции $O_3 + \cdot O \rightarrow 2O_2$.

Как правило, реакция протекает с участием еще и «третьих веществ»:

$2Cl\cdot + 2O_3 \rightarrow 2ClO\cdot + 2O_2$, $2ClO\cdot + M \rightarrow Cl_2O_2 + \cdot M$,

$Cl_2O_2 + h\nu \rightarrow ClO_2 + \cdot Cl$, $ClO_2 + \cdot M \rightarrow Cl\cdot + O_2 + M$,

Т.е., суммарная реакция будет выглядеть как $2O_3 \rightarrow 3O_2$.

Согласно данным Всемирной Метеорологической Организации скорость снижения общего содержания озона(ОСО) в средних широтах составляет 4–5 % за 10 лет. Главной причиной этого является воздействие антропогенных выбросов соединений хлора и брома.

<u>Физико-химические процессы в гидросфере</u>

Водная оболочка составляет 0,025 % (0,25 10^{-3}) массы Земли. Объем гидросферы 1375 10^6 км^3. Океаны покрывают 70,8 % земной поверхности и имеют среднюю глубину 3,96 км. В каждом кубическом километре морской воды растворено 36 миллионов тонн твердых веществ. Средний химический состав растворенных в морской воде веществ: Cl –

55,07 %, Na – 30,62 %, Mg – 3,68 %, S – 2,73 %, Ca – 1,18 %, K – 1,10 %, Br – 0,19 %, C – 0,08 %, Sr – 0,02 %, B – 0,01 %. Подавляющая часть воды на Земле сосредоточена в Мировом Океане. Если гипотетически распределить всю воду планеты на поверхности шара с площадью равной земной, то мы получим слой воды мощностью 2,6 км. Толщина слоя пресной воды при этом составила бы 50 м. Из них 49,5 м – вода, сосредоточенная в полярных льдах и ледниках и только 0,5 м – вода, находящаяся в озерах и водохранилищах, т. е. доступная для использования человечеством. Океан и атмосфера образуют единую систему. Основным источником, из которого углекислый газ поступает в атмосферу, является океан, в котором в настоящее время растворено в 60 раз больше углерода, чем его содержится в углекислом газе атмосферы

Химическое загрязнение гидросферы

Практически все химические агенты загрязнения проявляют свою токсичность именно в водной фазе, кроме того, загрязнение и атмосферы, и геосферы немедленно сказывается на гидросфере. В XXI веке вода стала лимитирующим фактором для существования человечества. Безвозвратное потребление воды человечеством составляет 9 км^3 в сутки. Доступные человечеству запасы пресной воды, сосредоточенные в озерах и водохранилищах составляют $125 \cdot 10^3$ км^3. Без постоянного возобновления этого источника только за счет безвозвратного водопотребления человечество способно использовать всю доступную наличную воду менее чем за 40 лет. А если учесть и «возвратное» водопотребление, при котором возвращаемая вода часто загрязнена настолько, что не может служить средой обитания водным организмам, то срок сократится до 10–12 лет. Уже сейчас больше двух дюжин стран испытывают серьезные проблемы, связанные с недостатком воды, а к 2010 г. их число превысит три десятка Водные системы всегда были излюбленным местом для избавления от отбросов. Движение вод измельчает отбросы и относит их от места выброса, тогда как биологические процессы достаточно эффективно нейтрализуют их вредное воздействие. С ростом населения и распространением индустриализации с простым выбросом отходов в водную среду возникло две проблемы: во-первых, концентрации традиционных отходов возросли настолько, что природные процессы перестали справляться с ними; во-вторых, появились новые типы загрязнителей, с которыми организмы никогда не сталкивались в процессе их эволюционной истории. Значительную долю загрязнения вод составляет обычный бытовой мусор. Подсчитано, что ежедневно на каждого человека – участника водных перевозок (пассажир или член команды) в среднем выбрасывается за борт от 1,1 до 2,6 кг мусора. Это дает 6,5 млн. т в год. Значительная часть этого мусора с точки зрения экосистем практически вечна и, скапливаясь вдоль берегов, в заводях, устьях рек, он серьезно нарушает нормальное функционирование гидробиоценозов. Наибольший вред окружающей водной среде наносит выпуск промышленных сточных вод, даже прошедших очистку. Но начнем мы обзор загрязнения гидросферы с самого массового и неизбежного загрязнения – бытовых сточных вод.

Загрязнение бытовыми сточными водами

Старейшим видом загрязнения вод являются прямые отходы человеческой жизнедеятельности. В пересчете на сухое вещество каждый взрослый человек за год «производит» около 20 кг органического вещества, 5 кг азота и 1 кг фосфора. Коммунально-бытовые стоки поступают в настоящее время не только из жилых зданий, но и из больниц, столовых, прачечных, небольших промышленных предприятий и т.п. Современные бытовые стоки, кроме собственно легкоокисляемых органических веществ и биогенных элементов содержат множество веществ использующихся в повседневном обиходе: детергенты и СПАВ, химикалии, лекарственные препараты и т.д. Поступающие в водотоки и водоемы легкоокисляемые органические вещества подвергаются там химическому и микробиологическому окислению. Для измерения содержания органических веществ в воде принято пользоваться величиной биохимического потребления кислорода за 5 сут. ($БПК_5$). Ее определяют по разнице содержания в воде

кислорода при отборе пробы и после пяти суток инкубации без доступа кислорода. $БПК_5$, отражая содержание легкоокисляемой органики в воде, является универсальным показателем, используя который можно сопоставить степень загрязнения от разных источников.

Легкоокисляемое органическое вещество, в избытке содержащееся в коммунально-бытовых стоках, становится питательной средой для развития множества микроорганизмов, в том числе и патогенных. Обычно питьевая вода защищена от вторжения этих микроорганизмов тем, что содержание в ней доступной пищи для бактерий (легкоокисляемых органических веществ) невелико и практически все они используются нормальной водной микрофлорой. Однако со значительным ростом концентрации органики в воде патогенные микроорганизмы находят достаточно источников пищи для себя и могут стать источником вспышки инфекции. Кроме того, повышение количества органики в воде стимулирует рост и непатогенной микрофлоры, служащей, в свою очередь, пищей для более крупных возбудителей заболеваний – ряда амеб, других паразитов, проводящих в воде значительную часть своего жизненного цикла. В условиях избытка питания могут развиться и почвенные грибки, продуцирующие канцерогенные вещества, например, афлотоксины. Кроме того, множество патогенных бактерий попадает в воду непосредственно с коммунально-бытовыми сточными водами. Найдя там условия благоприятные для размножения, они развиваются в массовых количествах. Водоемы замедленного водообмена (озера и водохранилища) при неконтролируемом бытовом загрязнении легко превращаются в очаги инфекций. Кроме непосредственной опасности развития патогенных организмов в воде, загрязненной бытовыми стоками существует другое непрямое неприятное для человека последствие этого вида загрязнений. При разложении органического вещества (и химическом, и микробиологическом), потребляется кислород. В случае тяжелого загрязнения содержание растворенного в воде кислорода падает настолько, что это сопровождается не только заморами рыбы, но и невозможностью нормального функционирования микробиологических сообществ. Происходит деградация водной экосистемы. В проточных водах и в водоемах картина последствий загрязнения бытовыми стоками выглядят по-разному. В проточных водах образуются четыре, следующие друг за другом по течению, зоны. В них совершенно четко выражены градиенты содержания кислорода (увеличение от места сброса вниз по течению), биогенных веществ и $БПК_5$ (соответствующее снижение), видового состава биологических сообществ. Первая зона – зона полной деградации, где происходит смешивание сточных и речных вод. Далее располагается зона активного разложения, в которой микроорганизмы разрушают большую часть попавших органических веществ. Затем следуют зоны восстановления качества воды и, наконец, чистой воды. Еще в начале XX в. Р. Кольквитц и М. Марссон привели списки индикаторных организмов для каждой из этих зон, создав так называемую шкалу сапробности (от «сапрос», гр. – гнилой). В первой зоне – *полисапробной* содержится значительное количество нестойких органических веществ и продуктов их анаэробного распада, много белковых веществ. Фотосинтез отсутствует, и кислород поступает в воду только из атмосферы, полностью расходуясь на окисление. Анаэробные бактерии вырабатывают метан, сульфаты восстанавливаются до сероводорода, что способствует образованию черного сернистого железа. Благодаря этому ил черный, с запахом сероводорода. Очень много сапрофитной микрофлоры, нитчатых бактерий, серных бактерий. В следующей за ней α-мезосапробной зоне идет аэробный распад органических веществ. Аммонийные бактерии метаболизируют азотные соединения с образованием аммиака. Высокое содержание углекислоты, кислорода все еще мало, но сероводорода и метана уже нет, $БПК_5$ составляет десятки мг $л^{-1}$. Сапрофитные бактерии исчисляются десятками и сотнями тысяч в1 мл. Железо присутствует в окисной и закисной формах. Протекают окислительно-восстановительные процессы. Ил серого цвета. Преобладают организмы, приспособившиеся к недостатку кислорода и высокому

содержанию углекислоты. Много растительных организмов с миксотрофным питанием. В массе развиваются нитчатые бактерии, грибы, осциллятории, хламидомонады, эвглены. Встречаются сидячие инфузории, коловратки, много жгутиковых. В β-мезосапробной зоне практически нет нестойких органических веществ, они почти полностью минерализовались. Сапрофитов – тысячи клеток в мл. Содержание кислорода и углекислоты колеблется в зависимости от времени суток. Ил желтый, идут окислительные процессы, много детрита. Много организмов с автотрофным питанием, наблюдается цветение воды. Встречаются диатомеи, зеленые, много протококковых водорослей. Появляется роголистник. Много корненожек, солнечников, инфузорий, червей, моллюсков, личинок хирономид. Встречаются ракообразные и рыбы. Олигосапробная зона соответствует зоне чистой воды. Цветения не бывает, содержание кислорода и углекислоты постоянно. На дне мало детрита, автотрофных организмов и червей, моллюсков, хирономид. Много личинок поденок, веснянок, можно встретить стерлядь, гольяна, форель. В больших водоемах (морях, крупных озерах) вокруг постоянно действующего источника образуются, концентрически расположенные, поли-, мезо и олигосапробная зоны. Такая картина может сохраняться неопределенно долгое время, если самоочистительный потенциал водоема позволяет ему справляться с поступающей нагрузкой. Если водоем небольшой, то он трансформируется, по мере поступления загрязнений из олигосапробного в полисапробное состояние, а со снятием нагрузки может вернуться в олигосапробное состояние.

Эвтрофикация

Коммунальные сточные воды, кроме большого количества органических веществ, несут и много биогенных элементов. Результатом этого становится антропогенное эвтрофирование водоемов и водотоков. Эвтрофикация – это обогащение водоемов питательными веществами.

Еще в 1915 г. Тинеманн предложил различать по трофности (от «трофе», гр. – питание) эвтрофные («хорошо питающиеся», «тучные») и олиготрофные («недостаточно питающиеся», «тощие») водоемы. Отличительным признаком **олиготрофных водоемов** является высокая прозрачность воды благодаря низкой численности планктонных водорослей, обусловленной низким содержанием биогенов. Содержание кислорода в воде в течение всего года близко к насыщению. Из-за малости биомассы первичных продуцентов биомассы на высших трофических уровнях также невысоки. Дно водоемов песчаное или каменистое. Как правило, относительно глубокие и узкие озера. При малости биомасс компонентов, отличаются высоким разнообразием состава. Фауна и флора представлены видами, характерными для олигосапробных водоемов.

Эвтрофные водоемы. Простейшим индикатором эвтрофности является низкая прозрачность воды, вызванная массовым развитием планктонных водорослей. Желто-зеленый цвет типичен для эвтрофных вод. Высокое содержание биогенов и варьирующее содержание кислорода. Концентрация кислорода значительно снижается как во время летней стратификации, так и подо льдом зимой. Во всех эвтрофных озерах вода в эвфотическом слое перенасыщена кислородом в дневное время суток благодаря фотосинтезу, а в ночное время уровень содержания кислорода падает из-за дыхания. Донные осадки эвтрофных озер чрезвычайно богаты биогенами, благодаря накоплению органического вещества, поступающего из фотической зоны. По видовому составу эвтрофные водоемы близки к мезосапробным. Важной чертой эвтрофных озер является значительный урожай на корню, на всех уровнях пищевой цепи, включая рыб. Эвтрофные озера, как правило, очень рыбопродуктивны. Из-за пониженного содержания кислорода и расположения в теплых низинах в эвтрофных озерах редко встречается форель. Летние и зимние заморы рыбы типичны для эвтрофных вод.

Главными **агентами эвтрофирования** могут выступать соединения азота и фосфора, главным образом, в виде нитратов и фосфатов:

Смыв неорганических удобрений, содержащих нитраты и фосфаты.

Смыв с ферм навоза, содержащего органические соединения азота и фосфора, нитраты, фосфаты, и аммиак.

Смывы с нарушенных территорий (шахты, отвалы, стройки, неправильное использование земель).

Сбросы детергентов, содержащих фосфаты.

Поступление нитратов из атмосферы.

При эвтрофировании водная экосистема последовательно проходит несколько стадий. Сначала происходит *накопление минеральных солей* азота и/или фосфора в воде. Эта стадия, как правило, непродолжительна, т.к. поступающий лимитирующий элемент немедленно вовлекается в кругооборот и наступает стадия *интенсивного развития водорослей.* Нарастает биомасса фитопланктона, увеличивается мутность воды, повышается концентрация кислорода в верхних слоях воды. Затем наступает стадия *отмирания водорослей*, происходят аэробная деградация детрита. Интенсивно отлагаются донные илы с повышенным содержанием органики. Отмечаются изменения зооценоза (замещение лососевых рыб карповыми). Наконец, наступает полное исчезновение кислорода в глубинных слоях и начинается анаэробное брожение. Характерно образование сероводорода, сероорганических соединений и аммиака.

Обильная растительность может препятствовать движению воды и водного транспорта, вода может стать непригодной для питья даже после обработки, рекреационная ценность водоема может снизиться, могут исчезнуть коммерчески важные виды (такие как форель). Наконец, эвтрофирование приводит к вспышкам «цветения» (массового развития) водорослей. *Цветение водорослей* наносит двоякий ущерб водной системе. Во-первых, они снижает освещенность, вызывая гибель водных растений. Тем самым нарушаются естественные местообитания многих гидробионтов. Во-вторых, при отмирании водорослей потребляется много кислорода, что может привести к тем же последствиям, что и прямое внесение органики в воду.

Загрязнение углеводородами

В настоящее время поверхность Мирового океана на огромных площадях оказалась покрытой углеводородной пленкой. Причинами этого считают: сброс отходов нефтеперегонных заводов, сброс балласта и промывка танков нефтевозов после транспортировки, большое число аварий с нефтеналивными судами. Примерно половина всей добытой нефти транспортируется морем. В настоящее время по морю ежегодно транспортируется более 1 млрд. т нефти. Часть этой нефти (от 0,1 до 0,5 %) выбрасывается в океан. Необходимо обратить внимание на то, что техногенное поступление нефтепродуктов далеко не всегда связано с прямыми выбросами в воду. Чрезвычайно мощным источником загрязнения открытых районов океана являются дальние атмосферные переносы. Возникновение этого потока связано с неполным сгоранием бензина, керосина и других легких фракций нефти. Время их пребывания в атмосфере составляет 0,5-2,3 года, причем около 90 % этих веществ выпадает из атмосферы в северном полушарии.

В море нефть встречается в самых разных формах: мономолекулярные пленки, пленки толщиной до нескольких миллиметров, пленки на скалах, нефть в донных осадках, эмульсии «вода в нефти» или «нефть в воде», нефтяные агрегаты. Сразу же при попадании нефти в морскую среду обычно образуется слик (поверхностная пленка). В первые часы существования нефтяного слика доминируют физико-химические процессы. Затем важнейшее значение приобретает микробная деструкция. В целом судьба нефтяного слика в море характеризуется общей цепью последовательных процессов: испарение, эмульгирование, растворимость, окисление, образование агрегатов, седиментация, биодеградация, включающая микробное разрушение и ассимиляцию. 1 т нефти, растекаясь по поверхности океана пленкой толщиной в 1/16 мкм, занимает площадь 10-12 км^2, а 5 т, сброшенных при промывке танков, образуют на поверхности воды покрывало длиной 75 км и шириной 800 м, т.е. нефтяная пленка покрывает площадь около 60 км^2.

От нефтяного загрязнения страдают, естественно, не только морские, но и пресные воды. Сточные воды нефтеперегонных заводов, смена масла в автомобилях, утечки масла из картеров, расплескивание бензина и дизельного топлива в момент заправки автомобилей – все это приводит к загрязнению источников воды и водоносных слоев. При этом загрязняются не только и даже не столько поверхностные, сколько подземные воды. Поскольку бензин проникает в почву в семь раз быстрее, чем вода, и придает неприятный вкус питьевой воде даже при таких низких концентрациях, как 1 $млн^{-1}$, подобное загрязнение способно сделать неприемлемой для питья довольно значительное количество подземных вод.

Мазут, дизельное топливо, керосин (сырая нефть значительно легче подвергается биологической и другой деструкции), покрывая пленкой воду, ухудшают газо- и теплообмен океана и атмосферы, поглощают значительную часть биологически активной компоненты солнечного спектра. Интенсивность света в воде под слоем разлитой нефти составляет, как правило, только 1 % интенсивности света на поверхности, в лучшем случае 5-10 %. В дневное время слой темноокрашенной нефти лучше поглощает солнечную энергию, что приводит к повышению температуры воды. В свою очередь, в нагретой воде снижается количество растворенного кислорода и увеличивается скорость дыхания растений и животных. Немаловажным фактором является биологическое действие нефтепродуктов: их прямая токсичность для гидробионтов и околоводных организмов.

Полициклические ароматические соединения

В настоящее время загрязнение полициклическими ароматическими углеводородами (ПАУ) носит глобальный характер. Их присутствие обнаружено во всех элементах природной среды от Арктики до Антарктиды. ПАУ, обладающие выраженными токсическими, мутагенными и канцерогенными свойствами, многочисленны. Их количество достигает 200. Вместе с тем, ПАУ, распространенных повсеместно в биосфере не более нескольких десятков. Это антрацен, флуорантрен, пирен, хризен и некоторые другие. Наиболее характерным и наиболее распространенным в ряду ПАУ является бенз(а)пирен (БП): БП хорошо растворим в органических растворителях, тогда как в воде он растворим чрезвычайно мало. Минимальная действующая концентрация бенз(а)пирена мала. Для него характерны: активная циркуляция в биосфере, высокая молекулярная устойчивость, значительная проканцерогенная активность.

В формировании природного фона бенз(а)пирена участвуют различные абиотические и биотические источники. В современных условиях рост концентрации бенз(а)пирена связан с антропогенным происхождением. Главными источниками БП являются: бытовые, промышленные сбросы, смывы, транспорт, аварии, дальний перенос. Антропогенный поток БП составляет примерно 30 т в год. Кроме того, важный источник поступления БП в водную среду – транспортировка нефти. При этом в воду попадает около 10 т в год.

Для БП доказаны токсичность, канцерогенность, мутагенность, тератогенность, действие на репродуктивную способность рыб. Кроме того, как и другие трудноразложимые вещества, БП способен к биоаккумуляции в пищевых цепях и, соответственно, представляет опасность для человека.

Загрязнение вод металлами

Металлы принадлежат к числу главных неорганических загрязнителей пресных и морских вод. Это, в основном, соединения мышьяка, свинца, кадмия, ртути. Острота проблемы загрязнения водной среды токсичными металлами определяется:

• высокой концентрацией соединений тяжелых металлов в прибрежных районах океана и внутренних морях;

• образованием высокотоксичных металлоорганических комплексов, которые как включаются в абиотический компонент экосистемы, так и поглощаются гидробионтами;

• накоплением металлов гидробионтами в дозах, опасных для человека.

Основные источники поступления токсичных металлов в водную среду – прямое загрязнение и сток с суши. Только воды рек ежегодно привносят в океан свыше 320 Мт железа. Кроме того, важная роль в загрязнении гидросферы металлами принадлежит атмосферному переносу.

На пути от мест попадания в воду до океана значительная часть металлов оседает на дне рек. Кроме того, значительная часть металлов на пути к океану задерживается в водоемах – как в их донных осадках, так и в биоте. Естественно, что наибольшее загрязнение металлами приходится на моря и те части океана, где антропогенная активность высока.

Многие тяжелые металлы являются канцерогенами. Мышьяк вызывает рак легких, свинец – рак почек, желудка, кишечника, никель – рак полости рта, толстого кишечника, кадмий – практически все формы рака. Тяжелые металлы аккумулируются организмами и концентрируются в пищевых цепях, что определяет их токсичность. Мышьяк широко распространен в содержащих фосфаты породах и соответственно встречается в виде примесей в фосфатных удобрениях или детергентах, производимых их этого сырья. Обычные формы мышьяка в природе: H_3AsO_3, $As(OH)_3$, H_3AsO_4. Некоторое количество мышьяка используется в качестве пестицида в виде арсенатов натрия и меди для опрыскивания плодовых деревьев. Но основными антропогенными источниками мышьяка являются сжигание угля и выплавка металлов.

Загрязнение природных вод и воздуха свинцом происходит в результате процесса обжига и плавки свинцовых руд с целью получения металлического свинца, за счет выбросов отходов с производств, использующих свинец, а также при сжигании угля, древесины и других органических материалов, включая городские отходы. Кроме того, значительные количества свинца попадают в окружающую среду благодаря использованию свинцовых труб для водопроводов и свинцово-кислотных аккумуляторов. До сих пор серьезными источниками загрязнения окружающей среды остаются алкильные соединения свинца. Только за последние 40 лет примерно 10 Мт свинца переработано в тетраэтилсвинец, который используется в качестве антидетонаторной присадки в автомобильном бензине. Из антропогенных источников свинца этот считается важнейшим. Количество свинца, ежегодно попадающего в океан в результате применения алкилсвинца в качестве антидетонатора дизельного топлива, оценивается в 25 кт.

Свинец в организме человека накапливается в костях, вытесняя соли кальция. Кроме того, он депонируется в мышцах, печени, почках, селезенке, головном мозге, сердце и лимфатических узлах.

Ртуть относится к числу наиболее токсичных металлов, чаще других встречаемых в окружающей среде. Ртуть – один из самых редких элементов с очень низким содержанием в земной коре. Она встречается в природе в виде красного сульфида, киннабара, черного сульфида и в виде жидкой ртути. В окружающую среду ртуть поступает как из природных источников, так и из источников техногенного происхождения. Природная ртуть попадает в биосферу из относительно глубоких слоев земной коры благодаря вулканической, гео- и гидротермальной активности.

Главные антропогенные источники ртути: сжигание ископаемого топлива; выбросы промышленных предприятий, из которых наиболее важны сбросы сточных вод с электролизных фабрик по производству хлорощелочей и едкого натра и предприятий, где сульфат ртути используется в качестве катализатора; использование в сельском хозяйстве различных биоцидов, содержащих ртутные соединения. В результате деятельности человека в окружающую среду ежегодно поступает до 10 кт ртути, из которых 3 кт – за счет сжигания ископаемого топлива. Существуют бактерии, которые переводят минеральную ртуть в монометил (или метил) ртути (CH_3Hg^+).

В природе кадмий, как правило, ассоциирован с цинком и их разделение экономически нерентабельно. Ежегодно во всем мире добывается до 18 кт кадмия. Кадмий широко используется в электронной промышленности, производстве пластмасс,

красителей, растворителей. Наиболее известно его использование в никеле-кадмиевых аккумуляторах. В окружающей среде кадмий присутствует в виде двухвалентного иона, осаждаемого в виде карбоната $CdCO_3$. В кислой среде ионы кадмия освобождаются: $CdCO_3 + 2H^+ = Cd^{2+} + CO_2\uparrow + H_2O$

К основным антропогенным источникам поступления кадмия в окружающую среду относятся горнорудные и металлургические предприятия, а также сточные воды. Курение поставляет в окружающую среду 6–11 т кадмия ежегодно. Всего воды Мирового океана содержат примерно 140 Мт кадмия. Кадмий накапливается водными животными, но не концентрируется в пищевых цепях. Кадмий – один из самых опасных токсикантов. Токсичность кадмия связана со схожестью его химических свойств с цинком. При этом он связывается с серой более прочно, чем цинк и, следовательно, вытесняет цинк из многих ферментов, в которых тот используется как ко-фактор.

Синтетические органические вещества

С середины XX в. во всем мире значительно увеличилось производство

синтетических органических соединений. Наибольшую опасность для окружающей среды представляют ксенобиотики – антропогенно синтезированные вещества чуждые биосфере, в т.ч. высокомолекулярные органические вещества, такие, как хлорированные углеводороды. В состав группы хлорированных углеводородов входит несколько основных классов:

1) хлорированные бифенилы, – смесь бифенилов, частью или полностью замещенные атомами хлора (ПХБ);

2) алифатические хлорированные углеводороды, включающие циклические (например, гексахлорциклогексан (ГХГЦ)) и нециклические (например, дихлорэтан) углеводороды;

3) ароматические хлорированные углеводороды (ДДТ, гексахлорбензолы (ГХБ));

4) хлорированные продукты диенового синтеза (альдрины, дильдрин).

Большая часть этих соединений до сих пор используется разными странами как пестициды: гексахлорбензолы (ГХБ), гексахлорциклогексаны (ГХЦГ), особенно γ-изомер (линдан), ДДТ.

Наиболее изучены среди хлорированных углеводородов ПХБ, поскольку они представляют особый интерес по следующим причинам:

• большие масштабы производства и широкое применение в промышленных и бытовых материалах;

• высокая устойчивость к биодеградации и, следовательно, способность к биоаккумуляции;

• токсичность.

ПХБ применяют в качестве диэлектриков в трансформаторах и крупных конденсаторах, в системах теплопередачи и гидравлических системах, они входят в состав смазочных и охлаждающих масел, пестицидов, а также используют в качестве пластификаторов в красителях, в копировальной бумаге, клеях, замазках и пластических массах. Поскольку ПХБ столь широко применяются в материалах, использующихся современной цивилизацией, в бытовом и промышленном мусоре содержится много ПХБ. Очевидно, что кроме целенаправленного внесения ПХБ в окружающую среду как пестицидов, большое количество их попадает в воздух и, соответственно, в воду и почву в результате сжигания мусора на мусоросжигающих заводах. Львиная доля ПХБ в окружающей среде сосредоточена в пресноводных и прибрежных донных отложениях и в водах открытого океана.

Пестициды

Пестициды – необходимый компонент современного сельского хозяйства. Они представляют собой большую группу органических веществ, токсичных для разного рода нежелательных организмов. По механизму биологического действия они подразделяются на: зооциды; инсектициды; эпициды; акарициды; родентициды; лимациды; нематоциды;

фунгициды; бактерициды; гербициды; дефолианты; дефлоранты; десиканты (для высушивания листьев на корню); фумиганты (для окуривания угодий или помещений); ретарданты (для регуляции роста и развития растений); репелленты (для отпугивания насекомых, грызунов); аттрактанты (для привлечения насекомых с последующим уничтожением). Сегодня в мире в среднем на 1 га наносится 300 г химических средств защиты растений.

Пестициды поступают в водоемы с дождевыми и талыми водами (поверхностный сток), после авиа- и наземной обработки сельскохозяйственных угодий, лесов и водоемов пестицидами, с дренажно-коллекторными водами, образующимися при выращивании хлопка и риса, со сточными водами предприятий, производящими эти вещества.

Стойкие пестициды (ДДТ и др.) способны к биоаккумуляции. Как правило, в воде часть их находится в растворенном виде в малых и ультрамалых концентрациях, но значительно большая их доля адсорбирована на неорганических и органических частицах, на поверхности тел организмов бактерио-, фито- и зоопланктона.

Синтетические поверхностно-активные вещества

С 1950-х г. начали применяться *синтетические моющие средства* (СМС). В таких моющих средствах содержатся активные соединения – сурфактанты (детергенты), обладающие более сильными поверхностно-активными свойствами, чем «натуральное» мыло. СМС обладают многими нежелательными свойствами (вспенивание воды, возникновение кислородного дефицита, токсичность для гидробионтов). Кроме того, входящие в состав СМС фосфатные наполнители вызывают эвтрофирование водоемов. Кроме того, они содержат добавочные ингредиенты: ароматизирующие вещества, отбеливающие реагенты (персульфаты, пербораты), токсичные для водных организмов.

В настоящее время, СПАВ – одни из самых распространенных химических загрязнителей водоемов. Они поступают в водные объекты в результате их широкомасштабного применения с бытовыми, промышленными и сельскохозяйственными стоками. В сельском хозяйстве поверхностно-активные вещества используются для эмульгирования пестицидов. В подземные воды поверхностно-активные вещества попадают в результате применения почвенных методов очистки сточных вод, при пополнении запасов подземных вод из открытых водоемов и при загрязнении почвы этими веществами.

Поверхностно-активные вещества – «экологически жесткие» вещества. На их окисление расходуется много растворенного кислорода, который, таким образом, отвлекается от процессов биологического окисления. Кроме этого косвенного вреда, детергенты оказывают и прямое токсическое действие на водных животных. Они нарушают функции биологических мембран. Они усиливают токсическое и канцерогенное влияние других загрязняющих веществ.

Физико-химические процессы в почвах

Почва, почвенный покров, - поверхностный слой, несущий на себе растительный покров суши и обладающий плодородием. Живое население почвы, выполняя основную глобальную биогеохимическую функцию – разложение органического вещества на простые соединения, участвует в формировании самого почвенного покрова и его плодородия. Таким образом, почва предстаёт как полифункциональная и интерактивная система.

Своеобразие почвы как дисперсной системы определяется её раздробленным состоянием и тем, что почва является трехфазной (образованной твердой, жидкой и газовой фазами), органоминеральной, полидисперсной, т.е. структурно-гетерогенной системой. Она состоит из генетически связанных горизонтов, которые в совокупности образуют почвенный профиль.

Высокая пористость почвы обеспечивает возможность обмена газами с атмосферой через поры аэрации. Почвенные поры частично заполнены воздухом, частично – водой. Полиморфность твёрдой фазы почвы обуславливает её рыхлость (газо – и

влагопроницаемость) и большую суммарную поверхность частиц: от 3-5 $м^2/г$ у песчаных почв до 300-400 $м^2/г$ у глинистых.

Минеральный состав почвы представлен:

- кремнезёмом (SiO_2) - свыше 50 %,
- глинозёмом (Al_2O_3) - около 1-25 %,
- оксидами железа (FeO, Fe_2O_3) - 1-10 % ,
- оксидами магния, калия, фосфора, кальция (MgO, K_2O, P_2O_5, CaO) - 0,1-5,0 %.

Органические вещества, поступающие в почву с мёртвыми тканями организмов, включают: лигнин (углеводы, целлюлозу, гемицеллюлозу), белковые вещества (протеины), жиры (липиды), а также конечные продукты обмена веществ растений: воски, смолы, дубильные вещества. Органические останки в почве минерализуются с образованием более простых (воды, углекислого газа, аммиака и др.) или более сложных соединений, например, гумуса. Вещества гумуса (гуминовые вещества) по способности к растворению и выпадению в осадок можно разделить на три группы: гуминовые кислоты, растворимые в разбавленных щелочах и обратимо осаждаемые кислотами; фульвокислоты, растворимые в разбавленных щелочах и остающиеся в растворе после подкисления; гумин, нерастворимый в щелочах и кислотах и образующий комплексы с неорганической фракцией почвы.

В принципе вещества всех трёх групп имеют аналогичную структуру и отличаются лишь числом и видом функциональных групп, определяющих их растворимость и осаждаемость.

Химическая структура гуминовых веществ определена экспериментом при изучении их разложения и идентификации полученных при этом продуктов. В соответствии с современным состоянием знаний гуминовые вещества на 35 ÷ 92% состоят из ароматических соединений, остальное – алифатические органические вещества. Среди ароматических составляющих определены фенолы, хиноны, бензойные кислоты и азотсодержащие гетероциклы. Алифатические составляющие – это преимущественно полиэфиры.

Гумус содержит также относительно устойчивую полисахаридную функцию. Кроме того, в гумусе в относительно высокой концентрации содержатся стабильные свободные радикалы. В химический состав гумуса входят как свободные ульминовая и гуминовая кислоты, так и их соли на основе кальция, железа, алюминия (гуматы, ульматы). Кроме того, в гумусе содержатся гумины и ульмины, образующиеся при денатурации соответствующих кислот. Гуминовые вещества не являются абсолютно устойчивыми образованиями. Они могут разлагаться микроорганизмами, если в хорошо аэрируемую почву вносится легкодоступная органика. Молекулярные массы гуминовых кислот варьируются в очень широких пределах – от нескольких тысяч до многих десятков тысяч дальтонов (а. е. м.). В составе гумусовых соединений из разных типов почв условно выделяют некоторые "структурные ячейки".

У гуминовых кислот из дерново-подзолистых почв такая гипотетическая "ячейка" имеет средний состав $C_{173}H_{183}O_{86}N_{11}$, тогда как в чернозёмах молекулярная масса её примерно в 2,5 раза меньше $C_{73}H_{61}O_{32}N_4$.

"Ячейки" фульвокислот из дерново-подзолистых почв и чернозёмов различаются по молекулярным массам в меньшей степени: им можно приписать средний состав $C_{260}H_{280}O_{177}N_{15}$ и $C_{260}H_{280}O_{177}N_{15}$, соответственно. Как видно, относительное содержание кислорода, входящего в состав главным образом карбоксильных и гидроксильных групп, выше у фульвокислот, и это обуславливает их лучшую растворимость по сравнению с гуминовыми кислотами.

Благодаря наличию карбоксильных групп, фенольных гидроксилов и аминогрупп кислоты почвенного гумуса способны к реакциям ионного обмена, в ходе которых образуются растворимые и нерастворимые соединения – гуматы и хелаты. Комплексные соединения ионов рассеянных элементов и фульвокислот относительно хорошо

растворимы и поэтому свободно перемещаются в почвенном растворе.

Почвенный раствор и окислительно-восстановительные процессы в почве

Дождевая вода, поступающая в почву, содержит некоторое количество растворённых веществ: газов атмосферного воздуха (O_2, CO_2, N_2, NH_3 и др.), а также соединений, находящихся в воздухе в виде пыли переводя в раствор также и отдельные компоненты почвы. Следовательно, вода в почве представляет собой почвенный раствор.

Важнейшими характеристиками почвенного раствора являются: состав, концентрация, величина pH, осмотическое давление, окислительно-восстановительный потенциал.

Состав и концентрация почвенного раствора являются результатом биологических, физико-химических и физических процессов, лежащих в основе взаимодействия компонентов почвы. Темп и направление процессов взаимодействия подвержены значительной сезонной изменчивости, поэтому и состав почвенного раствора чрезвычайно динамичен. Концентрация почвенного раствора невелика и обычно не превышает нескольких граммов вещества на литр раствора. Исключение составляют засолённые почвы, в которых содержание растворённых веществ может достигать десятков и даже сотен граммов на литр. В почвенном растворе содержатся минеральные, органические и органо-минеральные вещества, представленные в виде ионных, молекулярных и коллоидных форм. Из минеральных соединений в составе почвенного раствора могут быть анионы HCO_3^-, CO_3^{2-}, NO_3^-, NO_2^-, SO_4^{2-}, Cl^-, $H_2PO_4^-$ и катионы Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^+, NH_4^+, K^+, H^+. В сильнокислых почвах могут быть также Al^{3+}, Fe^{3+}, а в заболоченных Fe^{2+}. Железо и алюминий в почвенных растворах содержатся в основном в виде устойчивых комплексов с органическими веществами.

Органоминеральные соединения представлены преимущественно комплексными соединениями гуминовых кислот с поливалентными катионами Ca^{2+}, Fe^{2+}, и др. Из анионов, присутствующих в почвенном растворе, наиболее важное значение для растений имеют NO_3^-, SO_4^{2-}, $H_2PO_4^-$.

Содержание нитратов определяется условиями нитрификации в почве (обогащёность органическим веществом, гидротермический режим почв и условия аэрации). Сульфат-ионов в почвенных растворах незасолённых почв присутствует немного (обычно не более нескольких миллиграммов на литр). Ещё меньше фосфат-ионов (1-2 мг/л), что объясняется энергичным их поглощением растениями, минеральными соединениями почвы и слабой растворимостью почвенных фосфатов.

В почвенных растворах засолённых почв преобладают Cl^-, SO_4^{2-}, Ca^{2+}, Mg^{2+} и Na^+.

Состав и концентрация почвенного раствора обусловливают его активную реакцию. Активная реакция (актуальная кислотность) определяется концентрацией в растворе ионов H^+ и исчисляется в единицах водородного показателя pH. Почвы могут иметь различную реакцию от сильнокислой (pH = 3,0 ÷ 4,5) до сильнощелочной (pH ≥ 8,5).

Как правило, в кислых почвах отсутствует хлориды, сульфаты, карбонаты. В нейтральных присутствуют карбонаты. В почвах с щелочной реакцией накапливаются не только карбонаты, но также сульфаты и хлориды.

Буферность почвы характеризует её свойство сохранять активную реакцию при сравнительно небольшом добавлении кислот или щелочей. Буферность почв обуславливается в основном составом поглощенных оснований. При воздействии кислоты на почву с нейтральной реакцией происходит обмен поглощённых оснований на ион водорода кислоты, вследствие чего в растворе образуется нейтральная соль:

$$Ca^{2+} + 2HNO_3 = 2H^+ + Ca(NO_3)_2$$

В силу того, что ионы водорода будут изъяты из раствора и адсорбированы почвой, концентрация ионов водорода в почвенном растворе существенно не изменится. При взаимодействии с кислой почвой соли сильного основания произойдет обмен между основанием соли и поглощёнными ионами водорода, в результате чего основание будет сорбировано, а вытесненные ионы водорода перейдут в раствор и увеличат кислотность

почвы до исходного уровня.

Осмотическое давление почвенного раствора имеет важное значение для растений. Если оно равно осмотическому давлению клеточного сока растений или выше его, то прекращается поступление воды в растение, и растение погибает. Величина осмотического давления зависит от концентрации почвенного раствора и степени диссоциации растворённых веществ и определяется формулой:

$$P = i \cdot C \cdot R \cdot T \text{ (кПа)},$$

где С– концентрация почвенного раствора, моль/дм^3;

i – изотонический коэффициент раствора;

R – универсальная газовая постоянная, Дж/моль•К;

T – температура, К.

Осмотическое давление почвенного раствора разных типов почв и в отдельных горизонтах одной и той же почвы колеблется в интервале $10^2 \div 10^3$ кПа.

Окислительно-восстановительные процессы широко развиты при явлениях превращения органического вещества в почве. Так, в почве возможно:

- окисление тирозина и других ароматических аминокислот в меланины;
- окисление смол и соединений непредельного ряда;
- окисление дубильных веществ, сахаров, аминокислот, белков и других соединений, входящих в состав растительных остатков.

Гумификация представляет собой в целом процесс окислительный и необратимый.

Обратимыми окислительно-восстановительными реакциями являются широко развитые в почве реакции окисления и восстановления железа ($Fe^{3+} \leftrightarrow Fe^{2+}$), марганца ($Mn^{4+} \leftrightarrow Mn^{2+}$), азота ($N^{5+} \leftrightarrow N^{3+}$). В почве происходит окисление и восстановление кислорода ($O \leftrightarrow O^{2-}$), водорода ($H \leftrightarrow H^{+}$), серы ($S^{6+} \leftrightarrow S^{2-}$). Поскольку большая часть этих реакций имеет биохимическую природу и теснейшим образом связана с проявлением микробиологических процессов, то, естественно, интенсивность последних в почве непосредственно влияет и на развитие окислительно-восстановительных процессов. Основным окислителем в почве выступает молекулярный кислород почвенного раствора.

Для количественной характеристики окислительно-восстановительного состояния почвы, как и других сред, пользуются понятием окислительно-восстановительного потенциала, величина которого по отношению к нормальному водородному электроду определяется приведённой формулой:

$$Eh = 0{,}029 \lg \frac{[H^+]^2}{[H_2]}.$$

Величина Eh почв невелика и составляет от 200 мВ у болотистых почв и почв длительно затопляемых (рисовые поля) до 550-750 мВ у нормально увлажнённых подзолистых и дерново-подзолистых почв.

Оптимальные условия для нитрификации при величине окислительно-восстановительного потенциала Eh = 350-500 мВ. Резкое уменьшение потенциала способствует денитрификации, а также приводит к образованию заметных количеств закисного железа и подвижных ионов Mn^{2+}.

Коллоиды почв

Почва как дисперсная система является коллоидным раствором с жидкой дисперсной средой и частицами (мицеллами) размером $10^{-7} – 10^{-9}$ м.

К.К. Гедройц предложил систематизацию коллоидов почвы по трём группам:

- коллоидно размельчённые первичные и вторичные минералы почв;
- органические гели гуминовых и ульминовых кислот и их солей;
- органоминеральные коллоидно размельчённые соединения почвы.

Рентгеноскопические исследования показали, что минеральные коллоиды почв по своему составу относятся к кристаллическим глинистым минералам. Органическая составляющая почвы относится к коллоидам второй группы, т.е. организована гелями

гуминовых и ульминовых кислот и их производных.

На поверхности мицеллы в виде тонкого слоя адсорбированы органические составные части почвы. Коллоиды почв, имея огромную поверхность, обладают свойством адсорбировать из окружающей среды значительные количества газов, паров, жидкостей и различных ионов. При этом следует отметить, что почти вся адсорбционная способность почвы связана с наличием в ней коллоидных частиц, так как частицы почвы более крупных размеров практически не участвуют в процессах поглощения и являются мало активной с химической точки зрения её частью.

Адсорбция газов коллоидами почв зависит: от состава мицелл почвы, степени увлажнения, химической природы газов, температуры (с повышением температуры количество адсорбированных газов убывает), давления (с увеличением давления увеличивается и количество адсорбированных газов).

Коллоиды почв легко адсорбируют из почвенных водных растворов, различные катионы: K^+; Na^+; Ca^{2+}; Mg^{2+}; NH_4^+; H^+. и др., до полного насыщения поверхности коллоидных частиц. Дальнейшая адсорбция катионов может происходить лишь путём обмена адсорбированных уже катионов на катионы почвенного раствора, т.е. путём обменной ионной адсорбции.

Совокупность почвенных коллоидов, участвующих в адсорбции (поглощении) катионов, получила название почвенного поглощающего комплекса, а общее количество катионов, адсорбированное 100 г почвы, - ёмкости поглощения, или ёмкости обмена почвы. Ёмкость поглощения исчисляется в миллиграмм-эквивалентах поглощённого вещества на 100 г почвы (мг/экв на 100 г).

В зависимости от количества и свойства коллоидов, составляющих почвенный поглощающий комплекс, почвы сильно отличаются друг от друга по величине ёмкости поглощения. Так, подзолистые слои почв северной лесной зоны обычно имеют ёмкость обмена от 6 до 8 мг/экв на 100 г почвы, чернозёмные почвы – от 40 до 60 мг/экв на 100 г почвы, торф – от 60 до 100 мг/экв и даже более, а ёмкости обмена гумусовых веществ почв исчисляются уже сотнями миллиграмм-эквивалентов на 100 г массы почвы.

Важнейшие свойства почвы: влагоёмкость, набухаемость, структура, pH почвенного раствора и др. – определяются соотношением между адсорбированными катионами.

Например, почвы, содержащие в составе адсорбированных катионов значительное количество Na^+, приобретают особые так называемые "солонцеватые свойства". Они отличаются высокой дисперсностью, плотным сложением, высокой щелочностью, повышенной набухаемостью и вязкостью и ничтожной водопроницаемостью. Эти почвы трудно обрабатываются и, несмотря на большой запас в них питательных веществ, мало плодородны.

Если же в состав адсорбированных катионов почвы входят преимущественно Ca^{2+}, то такие почвы обладают хорошей структурой, малой распыленностью, большой прочностью отдельных частиц против разрушающего действия воды, хорошей водо- и воздухопроницаемостью. Эти почвы относятся к наиболее плодородным. Примером почв с большим содержанием адсорбированного кальция и прекрасными физическими свойствами является чернозёмная почва.

От состава адсорбированных катионов в значительной степени зависят и химические свойства почвы. Так, подзолистые почвы, содержащие в большом количестве адсорбированные ионы водорода (при общей небольшой ёмкости поглощения), получили название кислых, так как их почвенные растворы в результате обменных реакций становятся кислыми. Вследствие того, что ионы водорода занимают в поглощающем комплексе подзолистой почвы места, которые могли бы быть в иных условиях заняты ионами металлов (ионами оснований), например ионами Ca^{2+}, Mg^{2+} и др., эти почвы, по предложению К.К. Гедройца, стали называть ненасыщенными основаниями (т.е. ненасыщенными ионами металлов). К таким почвам, кроме подзолистых почв, относятся краснозёмы, латериты и желтозёмы.

Следует отметить, что адсорбированные катионы могут изменять плодородие почвы не только путём изменения её физических и физико-химических свойств, но они могут оказывать и непосредственное влияние на рост и развитие растений. Например, полное насыщение поглощающего комплекса ионами K^+; Na^+; NH_4^+ приводит к гибели растения. Наоборот, наличие в поглощающем комплексе небольших количеств этих ионов весьма благоприятно для роста и развития растений. Насыщение почвы ионами Ba^{2+}, Ni^{2+}, Co^{2+} или Cu^{2+} является ядовитым.

Процесс адсорбции катионов почвенным поглощающим комплексом обратим. Адсорбированные катионы легко вступают в обменные реакции с катионами почвенного раствора. Если концентрация того или иного катиона (например, иона K^+) будет относительно высокой (благодаря внесению в почву калийных удобрений), то часть их адсорбируется почвенным комплексом в обмен на другие ионы (например, ионы Ca^{2+}).

При извлечении иона K^+ растениями или при выносе его из почвы почвенными водами процесс идёт в обратном направлении: этот катион в обмен на другие катионы начинает поступать в почвенный раствор из почвенного поглощающего комплекса, восполняя происшедшую убыль. Таким образом, состав адсорбированных катионов в почвенном поглощающем комплексе не остаётся в неизменном состоянии.

Можно сказать, что почвенный поглощающий комплекс представляет своеобразную кладовую, куда откладываются про запас поступающие в почву те или иные катионы, которые без этого могли бы быть легко выщелочены и удалены из почвы почвенными водами.

Адсорбция коллоидами почвы анионов имеет иную природу, чем адсорбция катионов. Такие анионы, как NO_3^-, Cl^-, почвой не поглощаются, они свободно передвигаются в почве вместе с почвенной влагой. Весьма легко почва поглощает анион фосфорной кислоты PO_4^{3-}. Если почвы сильно кислые, то анионы PO_4^{3-} адсорбируются из почвенного раствора непосредственно на поверхности почвенных коллоидных частиц. В слабо кислых, нейтральных и щелочных почвах адсорбция анионов PO_4^{3-} происходит с образованием нерастворимых и малорастворимых фосфорно-кислых солей кальция, железа и алюминия.

Таким образом, процесс поглощения почвой анионов, в отличие от процесса поглощения катионов, происходит с образованием в ряде случаев химических соединений и чаще всего является необратимым.

При разложении органических веществ или при внесении в почву удобрений в виде кислых солей в почвенном растворе появляется большое количество ионов водорода. Поглощающий комплекс почвы адсорбирует образовавшийся избыток ионов водорода из почвенного раствора в обмен на другие катионы, находящиеся в адсорбированном состоянии. Эти обменные реакции можно объяснить следующей схемой:

$$Ca^{2+}[An]^{2-} + 2H^+ \leftrightarrow H^+ - [An]^{2-} - H^+ + Ca^{2+}$$

$$H^+[An]^- + NH_4^+ \leftrightarrow NH_4^+ - [An]^+ + H^+,$$

где [An] – поглощающий анионный комплекс.

В результате такого обмена концентрация ионов водорода в почвенном растворе, а вместе с этим значение pH его, восстанавливается почти до первоначальной величины.

Но не все почвы обладают одинаковым буферным действием: тяжелые глинистые почвы, богатые минеральными и органическими коллоидами, обладают наибольшим буферным действием, тогда как у песчаных почв буферное действие выражено слабо.

Загрязнение почвы химическими веществами

В почву попадают твёрдые и жидкие промышленные, сельскохозяйственные и бытовые отходы. Основными загрязняющими почву веществами являются тяжёлые металлы (ТМ) и их соединения, радиоактивные вещества, удобрения и пестициды.

Решением Европейской экономической комиссии ООН в группу наиболее опасных (и следовательно, приоритетных для целей наблюдения, контроля и регулирования) тяжёлых металлов включены: ртуть, свинец, медь, кадмий, хром, марганец, никель,

кобальт, ванадий, железо, цинк, сурьма, а также типичные металлоиды: мышьяк и селен. Большинство из перечисленных элементов, за исключением свинца, сурьмы, мышьяка и селена относятся к d-элементам. Наличие вакансий во внешних электронных оболочках d-элементов обуславливает лёгкость их включения в комплексные соединения, в том числе и с биолигандами. Благодаря этому такие металлы с переменной валентностью, как Cu, Co, Ni, V, Cr, Mn, Fe, наряду с цинком и молибденом входят в состав простетических групп ферментов и некоторых белков. В составе комплексов с биомолекулами они участвуют в переносе кислорода, алкильных групп и во многих других жизненно важных процессах и реакциях.

Однако индивидуальная потребность организмов в тяжёлых металлах очень мала и поэтому поступление из внешней среды избыточных количеств этих элементов приводит к различного рода токсическим эффектам. Особенно опасными оказываются металлы, не входящие в состав биомолекул, т.е. ксенобиотики: ртуть, кадмий и свинец. Каждый из них образует особо прочные соединения с концевыми тиогруппами белков, и поэтому их называют тиоловыми ядами. Попадание больших количеств ртути в организм высших животных, включая человека, приводит к тяжёлым нарушениям в центральной нервной системе.

Мышьяк содержится во многих естественных почвах в концентрации примерно 10 млн$^{-1}$, однако его содержание может увеличиваться до 500 млн$^{-1}$. Повышение концентрации до 121 млн$^{-1}$ найдено в почвах фруктовых садов и огородов как следствие применения арсената свинца. Диапазон колебаний природных концентраций – в данном случае от 10 до 500 млн$^{-1}$ – указывает на трудности измерений (естественный фон обычно неизвестен) и оценки незначительного повышения исходной концентрации за счёт деятельности человека.

Ртуть в обычных почвах содержится в количестве от 90 до 250 г/га. Используемые в сельскохозяйственном производстве средства протравливания зерна могут ежегодно добавлять к этому количеству до 5 г ртути на 1 га почвы. Примерно такое же количество попадает в почву с дождём. Дополнительные загрязнения возможны при внесении удобрений и компостов.

Взаимодействие почвы с минеральными и органическими удобрениями определяется свойствами почвенного коллоида и величиной окислительно-восстановительного потенциала и рассмотрено выше. Поведение в почве пестицидов (ксенобиотиков) до настоящего времени полностью не изучено ни для одного вещества. Образование неэкстрагируемых или связанных остатков ксенобиотиков в почве определяет её качество на длительный период времени. В соответствии с современным уровнем знаний возможны следующие виды связи в неэкстрагируемых остатках, находящихся в почве:

включение в слоистую структуру глинистых минералов;

нековалентное включение в пустоты гуминовых макромолекул; то же при участии водородных связей, ван-дер-ваальсовых сил, взаимодействий с переносом заряда;

ковалентные связи с мономерами и встраивание в гуминовую макромолекулу.

Ковалентные связи особенно важны для веществ с реакционно-способными группами, подобными мономерам гуминовых веществ, в частности для фенолов и ароматических аминов. Эти реакции протекают абиотически и приводят к образованию гидролизуемых связей азометинового или аминного типа. Образовавшиеся связанные остатки снова освобождаются в результате гидролиза, однако, это приводит к встраиванию аминной группы в гетероциклическую кольцевую систему феноксазинового или феназинового типа, не поддающуюся гидролизу.

Влияние загрязняющих веществ на материалы, растительность, атмосферу, метеорологические условия в глобальном масштабе

Влияние на растительность

Пыль оседает на поверхности листьев растений и может образовывать корку,

которая закрывает поры и препятствует газообмену, нормальному протеканию процесса фотосинтеза. Гигроскопичная пыль высасывает из листьев воду и приводит к усыханию листьев. Отложения пыли отражают солнечный свет в видимой части спектра, что также нарушает протекание фотосинтеза. А поглощение ИК-излучения вызывает перегрев листьев и снижение активности ферментов.

Кислотные оксиды, оксид серы и оксиды азота, действуют на растительность непосредственно и косвенно в виде кислотных осадков и через почву. При растворении кислотных оксидов в цитоплазме клеток образуются кислоты: сернистая, азотная. Они повреждают биологические мембраны, взаимодействуя с ненасыщенными жирными кислотами, входящими в состав фосфолипидов. В процессе окисления образуются гидроперекиси ненасыщенных кислот и активные радикалы, повреждающие мембраны хлоропластов и обесцвечивающие хлорофилл. При подкислении цитоплазмы из хлорофилла вымываются ионы магния. При значительном разрушении мембран появляются некрозы листьев. Оксиды азота вызывают пожелтение листьев и игл, причиной этого является разрушение хлорофилла и каротиноидов. В клетках может образоваться азотистая кислота, обладающая мутагенным эффектом. Она способна вызывать дезаминирование азотистых оснований нуклеиновых кислот.

Озон также изменяет структуру клеточных мембран. В результате отмирания клеток, на поверхности листа образуются полости, полностью отражающие солнечный свет. В клетках нарушается обмен веществ вследствие образования активных пероксидного и гидроксильного радикалов, которые окисляют жирные кислоты и обесцвечивают ферменты фотосинтеза. Гидроксильные радикалы взаимодействую с глянцевым слоем кожицы листьев, в результате чего на нем появляются трещины и он становится хрупким и доступным для инфицирования.

ПАН становится физиологически активным при освещении. Он распадается, образуя оксид азота и активные радикалы, которые разрушают пигменты фотосинтеза и другие вещества в клетке.

Воздействие на материалы

Пыль и аэрозоли образуют отложения на гладких поверхностях металлов и силикатных материалов и способствуют удержанию влаги. Во влажной пленке растворяются кислотные газы, которые приводят к образованию кислот: сернистой, серной, азотной, соляной. Кислоты вызывают коррозию металлов и силикатов. К ним относятся машины и их детали, технические изделия, строения, произведения искусства.

Строения с известковой кладкой разрушаются под действием дождей, содержащих растворенный углекислый газ. Эти процессы протекают при pH = 8,6-6,2. При подкислении осадков кислотами процесс коррозии ускоряется. Под действием серной кислоты известняк превращается в гипс, который вымывается водой. Гипс занимает больший объем, чем известняк. Это вызывает механическое напряжение, и материал разрушается изнутри. Из стекла, бетона, других строительных материалов под влиянием атмосферных осадков с низким значением pH выщелачиваются не только карбонаты, но и силикаты. Кислотные осадки могут разрушать оконные стекла. Особенно чувствительно старинное стекло, содержащее больше катионов щелочных металлов.

На поверхности железных изделий образуется корка гигроскопичного сульфата железа(II), который в результате окисления образует основной сульфат железа(III), входящий в состав ржавчины. Особенно восприимчивы к действию кислот места на стыке разных металлов, так как в этом случае образуются местные гальванические элементы. На поверхности бронзовых изделий откладывается корка, состоящая из основных карбонатов и сульфатов меди – патина. Она удерживает влагу и растворенную в ней кислоту, которая разъедает металл. Бронзовая поверхность теряет первоначальную форму и выравнивается.

От воздействия кислотных осадков разрушаются и многие органические материалы: кожа, ткани, бумага, красители, резина. Между волокнами тканей и бумаги накапливается вода, в которой растворяются кислоты. Кислоты постепенно гидролизуют макромолекулы

целлюлозы и белков. В результате материалы становятся хрупкими. Оксид серы, как восстановитель, обесцвечивает красители и вызывает выцветание тканей.

Озон способен вызывать разрушение двойных связей макромолекул. Полимерные материалы, резина, растрескиваются под воздействием озона. Наиболее чувствительны автопокрышки щетки стеклоочистителей. Многие пигменты и краски также разрушаются под действием озона.

Воздействие на атмосферу

Воздействие на видимость. Видимость – это возможность рассмотреть предметы на большом расстоянии. Ухудшение видимости обусловлено присутствием примесей, которые поглощают и рассеивают свет. Видимость важна при регулировке движения автотранспорта, авиаперевозках, строительных работах. К уменьшению видимости приводят оксиды азота и серы, ЛОС, сажа, пыль, аэрозоли. Сульфатные аэрозоли вместе с пылью, сажей и копотью ответственны за светорассеяние. Оксиды азота поглощают свет в синей части спектра и вызывают «пожелтение» предметов, искажают их реальные очертания и снижают видимость.

Воздействие на климат

Оксид углерода(IV) – CO_2, метан и пары воды "ответственны" за тепловой режим Земли. Вода, как известно, является регулятором теплового режима Земли. У двуоксида углерода и метана другая роль. Парциальное давление паров воды в атмосфере значительно изменяется в разных районах Земли и в разное время. В отличии от паров воды, CO_2 равномерно распредёлен в атмосфере.

Двуоксид углерода и метан прозрачны для видимого света и пропускают солнечный свет к поверхности планеты, но они малопрозрачны для длинноволновой области спектра и слабо пропускают тепловое излучение Земли в космос. Поэтому значительное повышение CO_2 в атмосфере в результате колоссальных количеств топлива, которые сжигаются в настоящее время в мире, приводят к так называемому "парниковому" эффекту. Высокие концентрации диоксида углерода возникают при сжигании топлива. «Парниковый» эффект может привести к глобальному потеплению, в результате которого происходит смещение климатических поясов, таяние полярных льдов, подъем уровня мирового океана и затопление больших территорий.

В круговороте двуоксида углерода участвуют и другие вещества, обладающие как синергическим, так и антагонистическим действием. К синергическим факторам относят действие таких газов, как оксиды серы, азота, озон, метан, ФХУ. Эти газы, поглощающие ИК-излучение, вносят около 50 % в общий вклад парниковых газов.

Антагонистическим действием обладают сульфатные аэрозоли. Они рассеивают солнечное излучение обратно в космическое пространство, что приводит к охлаждению атмосферы. Являясь центрами конденсации капель, они способствуют формированию облаков, что особенно важно над поверхностью океана. Облака обладают высокой отражающей способностью (альбедо), что уменьшает поступление солнечного излучения, а также играет важную роль в регуляции климата.

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ К ЛАБОРАТОРНЫМ ЗАНЯТИЯМ

Определение pH, кислотности и щелочности воды

Цель. Изучить буферные свойства воды, обусловленные щелочностью и кислотностью.

Вопросы для изучения:

1. Щелочность природной воды. Ионы, создающие щелочность. Щелочность свободная и общая. Интервалы pH для определения свободной, связанной щелочности. Нулевая щелочность.
2. Кислотность природной воды. Ионы, создающие кислотность. Кислотность свободная и общая. Интервалы pH для определения свободной, связанной кислотности. Нулевая кислотность.

3. Способы определения щелочности и кислотности воды. Титранты. Индикаторы.

Одной из важнейших особенностей большинства природных вод является способность нейтрализовать ионы водорода. Эта способность воды называется щелочностью. К числу процессов, приводящих к повышению щелочности природных вод, относятся:

- гидролиз природных солей, образованных сильными основаниями и слабыми кислотами. Все главные катионы, находящиеся в воде (K^+, Na^+, Ca^{2+}) соответствуют сильным основаниям. Их соли с анионами слабых кислот гидролизуются с образованием гидроксид-ионов:

$$2CaCO_3 + 2H_2O \leftrightarrow Ca(HCO_3)_2 + Ca(OH)_2$$
$$CO_3^{2-} + H_2O \leftrightarrow HCO_3^- + OH^-$$

- процессы фотосинтеза в освещенных водоемах. Организмы, для существования которых необходима щелочная среда (pH > 8) для получения углерода в виде CO_2 должны расщеплять другие компоненты карбонатной системы:

$$HCO_3^- \rightarrow CO_2(раств) + OH^-(раств)$$

В результате pH природных вод может увеличиваться до 8,5 ÷ 10,5.

Щелочность определяется экспериментально при титрировании пробы воды сильной кислотой, например, HCl, в присутствии фенолфталеина, а затем метилоранжа. Основными компонентами, ответственными за связывание ионов водорода, являются анионы HCO_3^-, CO_3^{2-} и OH^-. Основными химическими реакциями связывания H^+ являются:

$$HCO_3^- + H^+ \leftrightarrow H_2CO_3$$
$$CO_3^{2-} + H^+ \leftrightarrow HCO_3^-$$
$$OH^- + H^+ \leftrightarrow H_2O.$$

Таким образом, щелочность воды можно определить как сумму концентраций анионов: Σ ([HCO_3^-] + [CO_3^{2-}] + [OH^-]) моль/л

Щелочная реакция воды определяется в два этапа. На первом этапе определяется щелочность воды в присутствии фенолфталеина, pH перехода которого равен 8,3. На этом этапе отфильтровываются все гидроксид-ионы и карбонат-ионы. Количество кислоты, израсходованной на данном этапе титрования, соответствует карбонатной щелочности воды. Второй этап титрования пробы воды проводится в присутствии метилоранжа, pH перехода которого равен 4,5. На этом этапе титрования связываются практически все гидрокарбонат-ионы. Следовательно, суммарный объём кислоты, израсходованной до значения pH пробы воды, равного 4,5, эквивалентен содержанию ионов OH^-, CO_3^{2-} и HCO_3^- и представляет общую щелочность воды. Воду называют "водой с нулевой щелочностью" если её pH ещё до титрования ниже 4,5.

Величина щелочности природных вод имеет большое значение с точки зрения фотосинтеза, протекающего в водоёмах. При синтезе из минеральных форм углерода органических в растворе повышается pH. Количество образовавшихся органических соединений зависит от содержания CO_2, HCO_3^- в воде и от щелочности воды. Иногда в природных водоёмах в связи с бурным протеканием процессов фотосинтеза и недостаточного поступления углекислого газа pH поднимается до 10 и выше. Высокие значения pH, как и низкие, отрицательно сказываются на развитии водных экологических систем.

В поддержании постоянного значения pH природных вод важную роль играют компоненты кислотности и щелочности, принцип действия которых определяется наличием двух взаимосвязанных равновесных систем: диссоциации и гидролиза.

Наиболее распространёнными в природе являются карбонатные буферные системы, которые создают, в основном, буферность в пресных водоёмах:

а) $CO_2 + H_2O \leftrightarrow H_2CO_3 \leftrightarrow H^+ + HCO_3^-$

б) $2CaCO_3 + 2H_2O \leftrightarrow Ca(HCO_3)_2 + Ca(OH)_2$

$$CO_3^{2-} + H_2O \leftrightarrow HCO_3^- + OH^-$$

Определение содержания кислорода в воде

Цель. Определить концентрацию растворенного кислорода в воде и соответствие содержания кислорода санитарным нормам.

Вопросы для изучения:

1. Содержание кислорода в природных водоемах. Влияние кислорода на протекание биохимических процессов в водоеме.
2. Связь количества растворенного кислорода со степенью загрязнения водоема. Биологическое потребление кислорода.
3. Требования СанПин к содержанию кислорода в питьевой воде и природных водоемах.
4. Экспериментальное определение содержания кислорода в воде. Принцип метода. Химизм процесса. Требования к отбору и фиксированию проб.

Концентрация растворенного кислорода в воде водоемов санитарного водопользования в пробе, отобранной до 12 ч дня, должна быть не менее 4 мг/л в любой период года.

Количество растворенного кислорода в воде имеет большое значение для оценки санитарного состояния водоемов, и его снижение указывает на резкое изменение биологических процессов в водоеме, а также на загрязнение водоемов веществами, биохимически интенсивно окисляющимися. Концентрация растворенного кислорода в воде зависит от природных факторов – атмосферного давления, температуры воды, содержания в ней растворенных солей.

Метод основан на способности гидроксида марганца(II) окисляться в щелочной среде до гидроксида марганца(IV), количественно связывая при этом кислород. В кислой среде гидроксид марганца(IV) вновь переходит в двухвалентное состояние, окисляя при этом эквивалентное связанному кислороду количество йода. Выделившийся йод оттитровывают тиосульфатом натрия. Предел обнаружения растворенного кислорода 0.05 мг/л.

При взятии пробы на кислород соблюдают все меры предосторожности против попадания в пробу атмосферного воздуха. Пробу берут в калиброванную склянку на 100-200 мл с притертой пробкой. Склянку с грузом и закрытой пробкой опускают на требуемую глубину, открывают пробку шнуром, привязанным к пробке, и держат на глубине до прекращения выхода пузырьков воздуха. Вынутая склянка должна быть наполнена до краев. Кислород фиксируют на месте тотчас же после отбора пробы.

«Физико-химические процессы в атмосфере»

Цель. Изучить факторы переноса и пути превращения примесей в атмосфере; источники и стоки загрязняющих веществ.

Вопросы для изучения:

1. Атмосфера, ее характеристика, состав, строение, устойчивость. Температурный профиль атмосферы. Атмосферная циркуляция.
2. Источники загрязнений в атмосфере. Геохимические, биологические и антропогенные источники.
3. Характеристика газообразных и пылевых загрязнителей. Факторы, определяющие их распространение и время пребывания в атмосфере.
4. Физико-химическая характеристика основных газообразных загрязнителей: оксиды углерода и оксиды серы. Основные источники поступления и извлечение.
5. Физико-химическая характеристика основных газообразных загрязнителей: оксиды азота и озон. Основные источники поступления и извлечение.
6. Окислительные процессы в атмосфере. Важнейшие окислители. Окисление соединений серы, азота, органических соединений.
7. Фотохимические процессы в стратосфере. Озон. Цикл Чепмена. Озоновый слой, причины его деградации.
8. Фотохимические процессы в тропосфере. Свободные радикалы и их роль в

процессах превращения микропримесей в атмосфере.

9. Смог Лондонского типа, химический состав, условия образования. Фотохимический смог.

10. Дисперсные системы в атмосфере. Классификация аэрозолей по размерам и источникам образования.

11. Дисперсные системы в атмосфере. Критерии устойчивости.

12. Образование облаков и осадков в атмосфере.

13. Понятие кислотных дождей. Источники загрязнений и загрязнители, приводящие к образованию кислотных дождей.

14. Атмосферные процессы, лежащие в основе образования кислотных дождей.

15. Проблема кислотных дождей и методы очистки атмосферы от газообразных загрязнителей.

Буферные системы. Буферные свойства почв

Цель. Изучить свойства буферных смесей, определить буферную емкость почвенной вытяжки.

Вопросы для изучения:

1. Буферные системы, состав буферных смесей. Их роль в связывании катионов водорода и гидроксо-групп. Свойства буферных систем.
2. Уравнение Гендерсона-Хассельбаха.
3. Буферное действие и буферная емкость.
4. Буферные системы в окружающей среде. Исследование буферных свойств почвенной вытяжки.

Буферные системы или смеси представляют собой смесь слабой кислоты со щелочной ее солью, или слабого основания с его солью сильной кислоты. Буферные растворы сохраняют постоянство концентрации водородных ионов в определенных для каждого раствора пределах при добавлении к ним небольших количеств кислот или щелочей, а также при разбавлении этих растворов. Таким образом, буферные смеси обладают следующими свойствами:

1. Концентрация ионов водорода буферной смеси не зависит от разбавления.

2. Добавление к буферным смесям небольших количеств сильных кислот и оснований очень мало изменяет концентрацию в них ионов водорода (в пределах буферной емкости).

Предел, в котором проявляется буферное действие, называется *буферной емкостью* и обозначается буквой **В**. Количественное значение буферной емкости определяется количеством грамм-эквивалентов сильной кислоты или основания, которое необходимо добавить к 1 литру буферного раствора, чтобы изменить значение pH на единицу. Для многих процессов постоянная величина pH имеет большое значение. Так, pH плазмы крови человека имеет строго постоянную величину – 7,40 ± 0,05. Кислотно-основное равновесие в крови обеспечивается фосфатной, гидрокарбонатной и белковой буферными системами. Растения могут произрастать только при значениях pH почвенного раствора, лежащих в определенном интервале, характерном для данного вида. Поэтому важной характеристикой почв является их буферная емкость (буферность), о чем в некоторой степени можно судить по буферности почвенных вытяжек. В водных почвенных вытяжках содержатся карбонаты, фосфаты и, частично, белки (растворимая часть почв), наличие которых определяет буферные свойства водных почвенных вытяжек.

Определение органических веществ почвы

Цель. Определить содержание в почве водорастворимых органических веществ.

Вопросы для изучения:

1. Органическое вещество почвы, состав, функции.

2. Состав и строение гумуса и его компонентов: гуминовых кислот и фульвокислот.

3. Определение водорастворимых органических веществ в почвенной вытяжке методом перманганатной окисляемости.

Органические вещества, поступающие в почву с мёртвыми тканями организмов,

включают: лигнин (углеводы, целлюлозу, гемицеллюлозу), белковые вещества (протеины), жиры (липиды), а также конечные продукты обмена веществ растений: воски, смолы, дубильные вещества. Органические останки в почве минерализуются с образованием более простых (воды, углекислого газа, аммиака и др.) или более сложных соединений, например, гумуса. Вещества гумуса (гуминовые вещества) по способности к растворению и выпадению в осадок можно разделить на три группы: гуминовые кислоты, растворимые в разбавленных щелочах и обратимо осаждаемые кислотами; фульвокислоты, растворимые в разбавленных щелочах и остающиеся в растворе после подкисления; гумин, нерастворимый в щелочах и кислотах и образующий комплексы с неорганической фракцией почвы.

Почвенные воды и водные вытяжки из почв содержат водно-растворимые органические вещества, количество которых характеризует «подвижность» гумуса. О количестве органических веществ судят по количеству окислителя, необходимому для их окисления, т. е. по «окисляемости» таких растворов. В зависимости от используемого окислителя различают «перманганатную» и «бихроматную» окисляемость (они не одинаковы). Оба вида окисляемости определяются косвенными методами – титрованием избытка окислителя, не вошедшего в реакцию с органическими веществами.

«Физико-химические процессы в гидросфере»

Цель. Изучить факторы переноса и пути превращения примесей в гидросфере; источники и стоки загрязняющих веществ.

Вопросы для изучения:

1. Характеристика гидросферы. Классификация природных вод. Минерализация.
2. Формирование состава природных вод. Основные анионы и катионы. Влияние pH. Органические вещества в природных водах.
3. Механизм химического выветривания. Виды выветривания: растворение, окисление, гидролиз.
4. Химический состав морей и океанов. Взаимодействие атмосферы и океана. Поведение химических элементов в морях и океанах.
5. Критерии загрязненности природных водоемов. Кислотность и щелочность. Содержание кислорода в воде.
6. Олиготрофное и эвтрофное состояние водоемов. Содержание биогенных элементов. Эвтрофикация.
7. Загрязнение водоемов органическими веществами и нефтепродуктами. Процессы превращения и распада загрязнителей.
8. Загрязнение водоемов неорганическими веществами, тяжелыми металлами, поверхностно-активными веществами. Влияние окислительно-восстановительных условий и процессов комплексообразования на превращения и распад загрязнителей.
9. Методы очистки сточных вод: механическая, химическая, биологическая.
10. Очистка питьевой воды. Обеззараживание воды методами хлорирования и озонирования. Преимущества и недостатки этих методов.

Определение устойчивости растений к сернистому газу и аммиаку

Цель. Выяснить сравнительную устойчивость древесных пород к сернистому газу и аммиаку и определить наиболее чувствительные биоиндикаторы.

Вопросы для изучения:

1. Пути поступления сернистого газа и аммиака в атмосферу.
2. Воздействие газообразных загрязнителей атмосферы на растительность: влияние на газообмен, активность ферментов, фотосинтез, защитные свойства.
3. Определение древесных пород, устойчивых к действию загрязнителей и наиболее чувствительных – биоиндикаторов.

Сернистый газ – самый распространенный загрязнитель воздуха. Он выделяется всеми энергетическими установками при сжигании топлива. Сернистый газ может также выделяться предприятиями металлургической промышленности, а также химическими

производствами. Он образуется при разложении содержащих серу аминокислот.

На высших животных оксид SO_2 действует прежде всего как раздражитель слизистой оболочки дыхательных путей. Токсичен этот газ и для растений. Растворяясь во влаге, находящейся на листьях, оксид серы(IV) образует раствор сернистой кислоты, которая, в свою очередь, способна окисляться до серной кислоты:

$SO_2 + H_2O = H_2SO_3$

$2H_2SO_3 + O_2 = 2H_2SO_4$

Сернистый газ является одним из компонентов кислотных дождей, приводящих к гибели растений.

Воздействие сернистого газа на растения приводит к резкому снижению фотосинтеза, повреждению листового аппарата, что выражается в появлении хлорозов, некрозов, резком подавлении роста.

Аммиак в небольших количествах присутствует в выбросах многих предприятий. В природной обстановке – это продукт распада органических веществ: он выделяется из почвы. Особенно большое количество аммиака образуется при распаде продуктов жизнедеятельности животных в больших животноводческих комплексах. Все такие комплексы должны иметь защитную зеленую полосу из древесных растений, устойчивых к аммиаку.

«Физико-химические процессы в почве»

Цель. Изучить факторы переноса и пути превращения химических веществ в почве; источники и стоки загрязняющих веществ.

Вопросы для изучения:

1. Почва. Строение и структура почв. Минеральный состав почв. Процессы выветривания и почвообразование.
2. Органическое вещество почв. Гуминовые кислоты и фульвокислоты, их состав, строение, функции.
3. Буферные свойства почв. Кислотно-основная, окислительно-восстановительная буферность почв. Буферная емкость.
4. Поглотительная способность почвы. Коллоиды почвы. Виды поглотительной способности почвы.
5. Ионообменная способность почвы. Строение и свойства почвенного поглощающего комплекса. Емкость катионного и анионного обмена.
6. Химические процессы в почвах. Гидролиз почвенных соединений. Процессы комплексообразования.
7. Окислительно-восстановительный режим почвы. Границы окислительно-восстановительной устойчивости. Влияние окислительно-восстановительного потенциала на трансформацию почвенных соединений.
8. Химическое загрязнение почв. Основные загрязнители и источники загрязнений. Загрязнение тяжелыми металлами, влияние pH.
9. Загрязнение почвы пестицидами. Связывание пестицидов почвой и их превращение.
10. Самоочищение почв. Физическое, химическое, биологическое самоочищение. Время самоочищения

Решение задач

Цель. Научиться расчетным путем определять количественные характеристики содержания и поведения химических веществ в компонентах окружающей среды.

Примеры решения задач

Задача 1.

Какую массу гидрокарбоната кальция можно добавить к 5 литрам воды, содержащей 182,25 мг Mg^{2+}, чтобы жёсткость воды не превышала допустимой величины?

Решение

Допустимая по ГОСТ величина общей жёсткости воды – 7. Жёсткость по магнию составляет:

$$\frac{182{,}25\text{мг}\left(Mg^{2+}\right)}{5\text{л}\cdot 12{,}15\text{мг}\cdot\text{дм}^3}=3\text{мг}/\text{дм}^3.$$

Следовательно, жёсткость по кальцию не должна превышать 4. Единица жёсткости по кальцию составляет 20,04 мг/дм^3. Отсюда, можно добавить к данному объёму воды:

$$20{,}04\,\text{мг}\cdot\text{дм}^3\cdot 4{,}5\,\text{дм}^3=400{,}8\,\text{мг ионов Ca.}$$

Ca^{2+} – $Ca(HCO_3)_2$

40,08 г/моль – 162,08 г/моль

400,8 мг – m мг

$$m\left(CaHCO_3\right)=\frac{400{,}8\,\text{мг}\cdot 162{,}08\,\text{г}/\text{моль}}{40{,}08\,\text{г}/\text{моль}}\approx$$

$$\approx\frac{0{,}4\,\text{г}\cdot 162\,\text{г}/\text{моль}}{40\,\text{г}/\text{моль}}=1{,}62\,\text{г}.$$

Задача 2.

Рассчитайте уменьшение концентрации ионов свинца в сточных водах после Na-катионирования, если концентрация ионов натрия возросла на 69 мг/дм^3.

Решение

Для удаления ионов Pb^{2+} из сточной воды последнюю подвергают Na – катионированию:

$$2nNa_n^{+}R^{n-}+nPb^{2+}\rightarrow Pb_n^{2+}R_2^{n-}+2nNa^{+}$$

$$v\left(Na^{+}\right)=\frac{69\,\text{мг}}{23\,\text{г}/\text{моль}}=\frac{0{,}069\,\text{г}}{23\,\text{г}/\text{моль}}=0{,}003\,\text{моль}.$$

Из уравнения реакции следует:

n моль Pb^{2}+ – 2n моль Na^{+}

n моль – 0,003 моль

$$v\left(Pb^{2+}\right)=\frac{0{,}003\,\text{моль}}{3}=0{,}0015\,\text{моль};$$

Следовательно, уменьшение концентрации ионов свинца составляет 0,31 г/дм3.

Задача 3.

Энергия диссоциации связи углерод – бром составляет 210 кДж/моль. Какова длина волны фотона, способного вызвать диссоциацию связи углерод – бром?

Решение

Рассчитаем энергию одной молекулы:

$$E=\frac{210\cdot 10^3\,\text{Дж}}{6{,}02\cdot 10^{23}}=35\cdot 10^{-20}\,\text{Дж}/\text{молекулы}.$$

Рассчитаем длину волны фотона:

$$\lambda=\frac{h\cdot c}{E}=\frac{6{,}63\cdot 10^{-34}\cdot 3\cdot 10^{8}}{35\cdot 10^{-20}}=6{,}59\cdot 10^{-7}=659\,\text{нм}.$$

Задача 4.

Вычислить парциальное давление CO_2 в сухом воздухе при полном давлении воздуха, равном 735 мм. рт. ст.

Решение

Мольная доля CO_2 в сухом воздухе равна $3{,}3\cdot 10^{-4}$. Это означает, что CO_2 вносит в полное давление воздуха вклад, равный $3{,}34\cdot 10^{-4}$ доли. Следовательно,

760 мм. рт. ст. – 101,3 кПа

735 мм. рт. ст. – 97,97 кПа

Парциальное давление CO_2 составляет:

$$97{,}97\,кПа\cdot 3{,}34\cdot 10^{-4}=3{,}23\cdot 10^{-2}\,кПа.$$

Задача 5

Какое давление необходимо оказать на морскую воду для её опреснения по методу обратного осмоса? Считать основной солью морской воды NaCl. Солёность морской воды составляет 35 г/кг воды.

Решение

Метод обратного осмоса заключается в том, что на морскую воду подают давление, превышающее её осмотическое давление, вследствие чего молекулы воды перемещаются через полупроницаемую мембрану в часть системы для сбора пресной воды.

Осмотическое давление растворов рассчитывается по закону Вант-Гоффа.

$$P_{осм} = i \cdot R \cdot T \cdot C_B \; кПа,$$

где i – изотонический коэффициент раствора, для морской воды i = 1,8;

R – универсальная газовая постоянная, равная 8,31 ;

T – абсолютная температура, Кельвина;

Св – молярная концентрация раствора.

Отсюда:

$$P_{осм} = 1{,}81 \cdot 8{,}31 \frac{кДж}{моль \cdot К} \cdot 293 К \cdot \frac{35\,г}{1 дм^3 \cdot 58\,г/моль} = 2644{,}73 Па$$

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

Для подготовки бакалавров по направлению «Техносферная безопасность» необходимы химические знания о поведении веществ в окружающей среде. Они способствуют формированию диалектического мышления, выработке научного взгляда на природу, успешному усвоению профессиональных дисциплин. Знание химических закономерностей, реакционной способности веществ, условий протекания химических процессов необходимы при решении практических вопросов, связанных с безопасностью производства и рабочего места. Будущему бакалавру важно не только знать строение и свойства химических соединений, используемых в различных производствах, но и уметь прогнозировать их поведение в окружающей среде и воздействие на живые организмы. Поэтому изучение дисциплины направлено на формирование профессиональных качеств бакалавра. Для успешного усвоения материала студент должен кроме аудиторной работы заниматься самостоятельно. Самостоятельная работа является активной учебной деятельностью, направленной на качественное решение задач самообучения, самовоспитания и саморазвития. Самостоятельная работа студентов выполняется без непосредственного участия преподавателя, но по его заданию и в специально отведённое для этого время.

Самостоятельная работа студентов включает самостоятельную проработку теоретического материала, работу с литературой, подготовку к лекциям, практическим и лабораторным занятиям, составление конспектов, оформление отчетов по лабораторным занятиям, самостоятельное исследование теоретического материала, подготовку к зачету.

Для эффективного усвоения теоретический материал разделен на три крупных блока, вопросы каждого из которых выносятся на коллоквиум. Подготовку по каждому блоку вопросов необходимо начинать по мере рассмотрения материала на лекциях. После прочтения каждой лекции студенту необходимо тщательно проработать тему. Это способствует закреплению материала и подготовке к восприятию следующей темы. Кроме того, лекционный материал дополняется вопросами, выносимыми на лабораторные занятия. Обобщение вопросов каждого блока происходит при их обсуждении на коллоквиуме. Студент, успешно готовившийся в течение семестра к коллоквиумам и защитивший все лабораторные работы, не испытывает трудностей при подготовке к зачету. Для наиболее успешного процесса обучение существуют также дополнительные формы организации учебного процесса, такие как индивидуальные занятия и консультации. Цель дополнительных форм – восполнение пробелов в знаниях, выработки умений и навыков, удовлетворение повышенного интереса к предмету.