



Учреждение образования
«Белорусская государственная
орденов Октябрьской Революции
и Трудового Красного Знамени
сельскохозяйственная академия»



Кафедра биологии растений и химии

ГИДРОХИМИЯ

Теоретический раздел

Лекция

Источники загрязнения водоемов и их классификация



ЛЕКЦИЯ № 9

Источники загрязнения водоемов и их классификация

Главным источником поступления в природные воды токсичных веществ является промышленность, отрасли которой могут быть ранжированы по количеству сбрасываемых сточных вод и степени их загрязнения в следующий ряд: целлюлозно-бумажная > химическая > цветная металлургия > > черная металлургия > угольная > машиностроение > нефтедобывающая > нефтехимическая > электроэнергетика. Объем и состав промышленных стоков зависят от мощности каждого предприятия, технологии производства и степени очистки сточных вод. Несмотря на то что на строительство очистных сооружений расходуются огромные средства, сточные воды ряда предприятий еще содержат некоторое количество тяжелых металлов, детергентов, нефтепродуктов и других ингредиентов. Эти вещества отсутствуют в незагрязненных природных водах или содержатся в них в гораздо меньших концентрациях.

Большой вред водоемам и рекам приносят сточные воды с сельскохозяйственных территорий, особенно коллекторные и дренажные воды орошаемых площадей. Сток с сельскохозяйственных территорий может быть поверхностным и почвенным. Эти же территории нередко загрязняют грунтовые воды и верховодку. С коллекторными и дренажными водами в водные объекты поступают минеральные и органические вещества, а также пестициды.

Состав минеральных солей, вымываемых из почв, зависит от степени и характера засоленности почв, условий полива, состояния коллекторно-дренажной сети и других условий. Наибольшее количество солей поступает в водные объекты с орошаемых массивов засушливых зон. В связи с широким использованием различных (азотных, минеральных, калийных) удобрений значительная доля общего состава минеральных компонентов, выносимых с сельскохозяйственным стоком, приходится на азот и фосфор. Условия выноса пестицидов определяются устойчивостью препаратов в природной среде и факторов, указанных выше. Наиболее устойчивыми являются хлорорганические пестициды (ДДТ, хлордан, гексахлорциклогексан и др.), которые могут сохраняться в почве до 15 лет. По степени персистентности они относятся к очень стойким. Значительно менее устойчивыми являются фосфорорганические соединения (хлорофос, карбофос и др.), которые полностью исчезают из почвы в течение 15-60 сут.

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. Первоначально эти отходы напрямую использовались в качестве удобрений, затем появились первые земляные уборные. Часть отходов при этом неизбежно попадала в



источники питьевой воды. Именно поэтому большие города уже в древности стали строить водопроводы из достаточно удаленных от мест скопления людей источников.

С появлением ватерклозетов вторично возникла идея простого решения проблемы – разведения отходов и удаления их от места сброса. Объемы, а затем и состав подлежащих очистке сточных вод существенно изменились. 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, используемых 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. (БПК₅, BOD₅ – Biochemical Oxygen Demand). Ее определяют по разнице содержания в воде кислорода при отборе пробы и после пяти суток инкубации без доступа кислорода. БПК₅, отражая содержание легкоокисляемой органики в воде, является универсальным показателем, используя который можно сопоставить степень загрязнения от разных источников.

Последствия загрязнения бытовыми сточными водами. Легкоокисляемое органическое вещество, в избытке содержащееся в коммунально-бытовых стоках, становится питательной средой для развития множества микроорганизмов, в том числе и патогенных. В нормальной почве содержится большое количество микроорганизмов, способных вызывать тяжелые инфекционные заболевания. 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 почвенные 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 амёб (как это было, например, с амёбами, вызвавшими вспышку менингоэнцефалита с летальным исходом среди флоридских подростков), других паразитов, проводящих в воде значительную часть своего жизненного цикла. В условиях избытка питания могут развиваться 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 не прямое неприятное для человека последствие этого вида загрязнений. При разложении органического вещества (и химическом, и микробиологическом), как мы уже упоминали выше, 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 БПК₅ (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 греч. сапрос – 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, *Desulfovibrio desulphuricans* восстанавливает сульфаты до сероводорода, что способствует образованию черного сернистого железа. Благодаря этому ил черный, с запахом сероводорода. Очень много сапрофитной микрофлоры, нитчатых бактерий, серных бактерий, простейших – инфузорий, бесцветных жгутиковых, олигохет-тубицид.

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, БПК₅ составляет десятки миллиграммов в литре. Сапрофитные бактерии исчисляются десятками и сотнями тысяч в 1 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. Много тубицидов и личинок хирономид.

В β -мезосапробной зоне практически нет нестойких органических веществ, они почти полностью минерализовались. Сапрофитов – тысячи клеток в 1 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, солнечныхников, 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, голяна, форель.

В водоемах замедленного водообмена картина зависит от размеров водоема и режима сброса сточных вод. 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.

Загрязнение водной среды углеводородами

В настоящее время поверхность Мирового океана на огромных площадях оказалась покрытой углеводородной пленкой.

Причинами этого считают:

сброс отходов нефтеперегонных заводов (например, только один завод средней мощности дает $400 \text{ т} \cdot \text{сут.}^{-1}$ отходов);

сброс балласта и промывка танков нефтевозов после транспортировки (количество нефти, попадающей при этом в воду, в среднем, составляет 1% перевозимого груза, т.е. $1-2 \text{ Мт} \cdot \text{год}^{-1}$);

большое число аварий с нефтеналивными судами (только за период с 1967 по 1974 г. произошла 161 авария (Эрхард, 1984), с 1960 по 1970 г. – около 500 (Рамад, 1981)).

Мировая общественность обратила внимание на проблему в конце шестидесятых годов в связи с катастрофой танкера «Тори Каньон», который 18 марта 1967 г. по пути в Милфорд сел на мель к северо-востоку от островов Силли. В Северное море вылилось около 123 тыс. т нефти, было загрязнено 180 км побережий Англии и Франции. В течение последующих полутора десятилетий произошел целый ряд



привлекших внимание общественности аварий танкеров, повлекших катастрофическое загрязнение морской поверхности и побережий.

Примерно половина всей добытой нефти транспортируется морем. Только в 1989 г. из Персидского залива было вывезено 504 Мт нефти, из которых 117 Мт обогнуло мыс Горн. 340 Мт нефти было привезено морем в Европу и 315 Мт – на восточное побережье США (Clark et al., 1997). В настоящее время по морю ежегодно транспортируется более 1 млрд т нефти. Часть этой нефти (от 0,1 до 0,5 %) выбрасывается в океан более или менее легально: речь идет не о непредвиденном, а в некотором смысле сознательном загрязнении в результате практики сброса промысловых и балластных вод в открытое море. После разгрузки нефтяные танки промываются морской водой, а потом заполняются ею как балластом, что придает судну большую устойчивость. Эта вода, загрязненная нефтью, впоследствии сбрасывается в зонах открытого моря, специально оговоренных международными соглашениями. Например, только за год в Средиземном море легально сбрасывается около 300 000 т груза нефтеналивных судов.

Кроме того, внимание общественности привлекли и аварии морских буровых установок. Но необходимо учитывать и то, что нефть – природное вещество и попадает в морскую воду не только в результате техногенной активности, но и с естественными выходами (по разным оценкам от 20 кт до 2 Мт·год⁻¹). Расчеты антропогенного поступления нефти и нефтепродуктов, по разным источникам, существенно различаются, варьируя в пределах от 3 до 6 Мт·год⁻¹. В любом случае это превосходит естественное поступление нефти в 1,5–30 раз. 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. Следует отметить и более высокую, как правило, токсичность этих легких нефтепродуктов по сравнению с тяжелыми фракциями, которые ближе к естественным нефтям.

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, биodeградация, включающая микробное разрушение и ассимиляцию. 1 т нефти, растекаясь по поверхности океана пленкой



толщиной в $1/16$ мкм, занимает площадь $10\text{--}12\text{ км}^2$, а 5 т, сброшенных при промывке танков, образуют на поверхности воды покрытие 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.

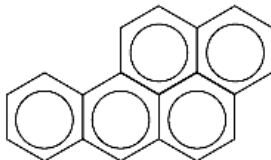
Мазут, дизельное топливо, керосин (сырая нефть значительно легче подвергается биологической и другой деструкции), покрывая пленкой воду, ухудшают газо- и теплообмен океана и атмосферы, поглощают значительную часть биологически активной компоненты солнечного спектра.

Консервативные токсиканты в водных экосистемах

Мы увидели, что вещества природного происхождения, образовавшиеся в результате естественных процессов в прошлом (компоненты нефти) и образующиеся в настоящее время (бенз(а)пирен), вызывают достаточно тяжелые негативные последствия для окружающей среды и, соответственно, человека, когда благодаря хозяйственной деятельности последнего оказываются не тогда, не там и не в тех количествах, как следовало бы.

Среди веществ, поступающих в природные воды, консервативны, т. е. практически не трансформируются биотой, три класса веществ: тяжелые металлы, пестициды и синтетические поверхностно-активные вещества (СПАВ), входящие в состав синтетических моющих средств (СМС), или детергентов. Первые – в силу своей химической природы, вторые (в большей) и третьи (в меньшей степени) – в силу чуждости их строения биосфере. Не перерабатываясь организмами, эти вещества, тем не менее, способны накапливаться в их тканях и аккумулироваться в пищевых цепях.

В настоящее время загрязнение полициклическими ароматическими углеводородами (ПАУ) носит глобальный характер. Их присутствие обнаружено во всех элементах природной среды (воздух, почва, вода, биота) 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. БП трансформируется под действием кислорода. Продукты трансформации БП являются конечными канцерогенами. Доля БП в общем количестве наблюдаемых ПАУ невелика (1–20 %). Его делают значимым: активная циркуляция в биосфере, высокая молекулярная устойчивость и значительная проканцерогенная активность.

С 1977 г. БП на международном уровне считается индикаторным соединением, по содержанию которого оценивается степень загрязненности среды канцерогенными ПАУ.

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.

Среди загрязняющих веществ по токсикологическим оценкам «стресс-индексов» тяжелые металлы занимают второе место, уступая только пестицидам. Естественно, что наибольшее загрязнение металлами приходится на моря и те части океана, где антропогенная активность высока. Более других загрязнены воды Персидского и Аденского заливов Индийского океана, экваториальная часть Тихого океана, воды течения Гольфстрим в Атлантике, Северное и Средиземное моря. Токсичность тяжелых металлов для планктона определяется тем, что планктонные организмы (особенно фильтраторы) концентрируют металлы, которые ввиду своей неразложимости сохраняются в живых тканях неограниченное время, способствуют гибели планктонтов, а с отмершим планктоном оседают в донных отложениях. Кроме того, что они аккумулируются организмами, они концентрируются в пищевых цепях, что во многом, но не во всем определяет разную токсичность металлов для разных групп гидробионтов.

Синтетические органические вещества



С середины XX в. во всем мире значительно увеличилось производство синтетических органических соединений. Если в 1950 г. в мире производилось 7 Мт, в 1970 – 63 Мт, то в 1985 – уже 250 Мт (Израэль, 1989).

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

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

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

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

хлорированные продукты диенового синтеза (альдрины, дильдрин).

Большая часть этих соединений до сих пор используется разными странами как пестициды: гексахлорбензолы (ГХБ), гексахлорциклогексаны (ГХЦГ), особенно г-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, используемых 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. В Британии, например, сжигание мусора ответственно за 60–85% общего загрязнения среды ПХБ (Ryder, 1999). «Зеленые» часто с торжеством указывают на тот факт, что при анализе тканей египетских мумий в них не обнаружено диоксинов и других ПХБ. Это совершенно естественно, поскольку ПХБ – продукт современной цивилизации, во многом основанной на материалах, содержащих ПХБ. Из всех произведенных ПХБ примерно третья часть находится в окружающей среде, из них, около 2 % аккумулировано биотой. Львиная доля ПХБ в окружающей среде сосредоточена в пресноводных и прибрежных донных отложениях и в водах открытого океана.



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.

Среднее потребление детергентов на одного жителя планеты составляет 2,5 г·сут⁻¹. При нормах водоотведения в пределах 125–350 л на человека в сутки среднее расчетное содержание поверхностно-активных веществ в бытовых сточных водах колеблется в пределах 7,1–20 мг·л⁻¹.

Кроме описанных выше ионных детергентов, производятся и неионные детергенты. Примером их может служить полиоксиэтилен (Эткинс, 1991): $\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_{11}-\text{O}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{OH}$.

Их используют, как правило, для эмульгации нефтяных загрязнений больших масштабов.

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. Это вызывает жаберные кровотечения и удушье у рыб и беспозвоночных животных. Для теплокровных они усиливают токсическое и канцерогенное влияние других загрязняющих веществ. Как было сказано выше, поверхностно-активные вещества бытового назначения – анионные детергенты. Обычно они менее токсичны, чем неионные. Последние особенно трудно ассимилируются природной средой и крайне отрицательно влияют на состояние водных экосистем.

Рассмотренные материалы свидетельствуют об опасности внесения в гидросферу, несвойственных для нее веществ. Для любого органического вещества, производимого биосферой (даже для бенз(а)пирена и нефтепродуктов) в природе существуют ферменты, способные это вещество разложить до минеральных компонентов. Синтетические же вещества, попав в биосферу, практически не разлагаются ею, и, накапливаясь в пищевых цепях, как и тяжелые металлы, способны представить опасность для здоровья и жизни человека.

Отрицательные результаты антропогенного влияния на природные воды не являются неизбежным следствием технического прогресса. Они обусловлены в основном ошибками в технической и экологической политике, неверным представлением о том, что водные объекты могут служить приемниками загрязняющих веществ. Задача гидрохимии в настоящее время состоит не только в обеспечении



Учреждение образования
«Белорусская государственная
орденов Октябрьской Революции
и Трудового Красного Знамени
сельскохозяйственная академия»



надежного контроля качества природных вод и выявления источников загрязнения. Гидрохимия должна стать надежным фундаментом, на котором будет разработана стратегия управления качеством природных вод и созданы эффективные методы ликвидации вредных последствий антропогенного воздействия на окружающую среду.

Систематические гидрохимические наблюдения необходимы и при ведении рыбного хозяйства на озерах и водохранилищах, при искусственном разведении рыб на рыбоводных заводах, а также при проведении акклиматизационных работ. Значительна роль гидрохимических исследований и в охране окружающей среды. Загрязнение сточными водами в процессе промышленного производства, минеральными и органическими удобрениями в результате сельскохозяйственного производства, а также коммунально-бытовыми стоками ведет к эвтрофикации водоемов и гибели других водных экосистем с непроточной водой (озер, прудов), а иногда к заболачиванию местности. Гидрохимические показатели позволяют также характеризовать и контролировать экологическую ситуацию открытых водоемов.



ЛИТЕРАТУРА

Основная:

1. Алекин, О. А. Основы гидрохимии: учеб. пособие / О. А. Алекин. – Л.: Гидрометеиздат, 1970. – 296 с.
2. Никаноров А.М. Гидрохимия: Учебник. А. М. Никаноров. – СПб: Гидрометеиздат, 2001. – 444 с.
3. Общая химия. Биофизическая химия. Химия биогенных элементов: уч. для вузов/ Ю.А. Ершов и др. 6-е изд., стер. М.: Высш. шк., 2007. – 560 с.
4. Привезенцев Ю. А. Практикум по прудовому рыбоводству.- М.: Высшая школа, 1982. – 258 с.

Дополнительная:

5. Баранов И. В. Основы биопродукционной гидрохимии. - М.: Легкая и пищевая промышленность, 1982. - 277 с.
6. Власов Б.П. Антропогенная трансформация озер Беларуси. Минск, 2004. . – 78 с.
7. Зенин А. А., Белоусова И. В. Гидрохимический словарь/ Под ред. А.М. Никанорова. – Л.: Гидрометеиздат, 1988. – 240 с.
8. Логинов В.Ф., Волчек А.А. Водный баланс речных водосборов Беларуси. Минск: Тонпик, 2006. . – 146 с.
9. Логинов В.Ф. Управление гидрометеорологическими данными. Минск: БГУ, 2002. . – 38 с.
10. Прожорина Т.И. Практикум по курсу "Гидрохимия". Ч.1: Учебно-методическое пособие. - Воронеж: ИПЦ ВГУ, 2007. - 27 с.
11. Прожорина Т.И. Экологическая гидрохимия: Методические указания к лабораторному практикуму. Часть 2. - Воронеж: Изд-во ВГУ, 2007. - 20 с.
12. Слесарев В. И. Химия: основы химии живого: учебник для вузов / В. И. Слесарев. – СПб: Химиздат, 2001. – 784 с.
13. Федоров А.А. и др. Методы химического анализа объектов природной среды/ А.А. Федоров, Г.З. Казиев, Г.Д.Казаков. – М.: КолосС, 2008. – 118 с.
14. www.waterandecology.ru

Справочники:

15. Лидин Р.А., Молочко В.А., Андреева Л.Л. Химические свойства неорганических веществ/ Под ред. Р , Лидина. – М.: КолосС, 2008. – 480 с.
16. Лурье Ю. Ю. Справочник по аналитической химии/ Ю. Ю. Лурье. – М.:Химия, 1971. – 454 с.
17. Справочник по гидрохимии / Под ред. А.М. Никанорова. – Л.: Гидрометеиздат, 1989. – 392 с.
18. Химия. Лабораторный практикум: учеб. пособие/А. Р. Цыганов, О. В. Поддубная, И. В. Ковалева, Т. В. Булак.–Минск: ИВЦ Минфина, 2015. – 320 с.
19. Цыганов, А. Р. Сборник задач и упражнений по химии: Учеб. пособие / А. Р. Цыганов, О. В. Поддубная. – Минск: ИВЦ Минфина, 2013. – 236 с.

Автор:

Поддубная Ольга Владимировна