



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



Кафедра биологии растений и химии

ГИДРОХИМИЯ

Теоретический раздел

Лекция

Гидрохимия рек, озер и искусственных водоемов.

Организация гидрохимических исследований



ЛЕКЦИЯ № 8

Гидрохимия рек, озер и искусственных водоемов. Организация гидрохимических исследований.

План:

1. Гидрологический режим и гидрологические процессы
2. Гидрохимия рек.
3. Гидрохимия озер, прудов, водохранилищ.
4. Организация гидрохимических исследований.

1. Гидрологический режим и гидрологические процессы

Любой водный объект и его режим могут быть описаны с помощью некоторого набора гидрологических характеристик. Эти характеристики делятся на несколько групп. Приведем некоторые из них.

Характеристики водного режима: уровень воды (H , м в Балтийской системе высот), скорость течения (v , м/с), расход воды (Q , м³/с), сток воды за интервал времени Δt (W , м³, км³), уклон водной поверхности (I) и т. д. Большинство этих характеристик может быть отнесено не только к водотокам и водоемам, но и к особым водным объектам – ледникам, подземным водам.

Характеристики теплового режима: температура воды, снега, льда (T° , С), теплосодержание водного объекта или тепловой сток за интервал времени Δt (θ , Дж) и т.д.

Характеристики ледового режима: сроки наступления и окончания различных фаз ледового режима (замерзания, ледостава, таяния, вскрытия, очищения ото льда), толщина ледяного покрова, сплоченность льдов и т. д.

Характеристики режима наносов: содержание в воде взвешенных наносов или мутность воды (s , кг/м³), расход наносов (R , кг/с), распределение наносов по фракциям (крупности) и т. д.

Характеристики формы и размера водного объекта: его длина (L , м, км), ширина (B , м, км), глубина (h , м) и т. д.

Кроме того, к числу гидрологических обычно относят такие очень важные для описания любого водного объекта характеристики, как гидрохимические – минерализацию воды (M , мг/л) или ее соленость (S , ‰), содержание отдельных ионов солей, газов, загрязняющих веществ и др.; гидрофизические – плотность воды (ρ , кг/м³), вязкость воды и др.; гидробиологические – состав и численность водных организмов (экз./м²) и величину биомассы (г/м³, г/м²) и др.

Совокупность гидрологических характеристик данного водного объекта в данном месте и в данный момент времени определяет гидрологическое состояние водного объекта.



Гидрологическое состояние водного объекта подобно погоде применительно к состоянию атмосферы подвержено постоянным пространственно-временным изменениям. Оно всегда зависит от множества факторов и определяется характером процессов, происходящих в водном объекте, его связью с другими водными объектами, атмосферой, литосферой, влиянием хозяйственной деятельности человека и т. д. Однако вследствие сложности и многофакторности этих процессов и связей и недостаточного знания их природы мы часто вынуждены подходить к оценке гидрологического состояния водного объекта как явления, подверженного случайным изменениям, которые подчиняются вероятностным законам и поддаются статистическому анализу.

При длительных наблюдениях за любым водным объектом обнаруживаются некоторые закономерности в изменениях его гидрологического состояния, например, в течение года. Совокупность закономерно повторяющихся изменений гидрологического состояния водного объекта – это его гидрологический режим. Некоторым аналогом гидрологического режима применительно к атмосфере можно считать климат.

Сущность гидрологического режима водных объектов – это изменение гидрологических характеристик в пространстве и во времени. Под изменением гидрологических характеристик в пространстве понимают их изменение от места к месту (вдоль, поперек или по глубине реки, вдоль или по глубине моря или озера и т. д.), от одного водного объекта к другому.

Изменение гидрологических характеристик во времени (временная изменчивость) имеет несколько масштабов.

Выделяют изменчивость:

вековую (с интервалами времени или периодами, исчисляемыми веками);

многолетнюю (периоды колебаний – от нескольких до десятков лет);

внутригодовую, или сезонную (колебания в течение года);

кратковременную, имеющую период в несколько суток (например, колебания синоптического масштаба с периодом 3–10 дней), сутки (суточная или внутрисуточная изменчивость), минуты и секунды.

Главные причины вековой и многолетней изменчивости гидрологических характеристик – долгопериодные колебания климата, а также воздействие хозяйственной деятельности человека. Основные причины внутригодовых (сезонных) изменений – смена сезонов года, колебаний синоптического масштаба – процессы в атмосфере (перемещение циклонов, антициклонов и атмосферных фронтов), изменчивости суточного масштаба – вращение Земли вокруг оси и сопутствующие ему смена дня и ночи и приливы. Природа колебаний самого малого временного масштаба (минуты, секунды) – волны на поверхности воды, макро- и микротурбулентность в водных потоках.



Гидрологический режим водного объекта – хотя и закономерное, но все же лишь внешнее проявление некоторых более сложных внутренних процессов, свойственных водному объекту, или обусловленных его взаимодействием с другими водными объектами, атмосферой, литосферой. Наблюдая за уровнем или расходом воды в реке, например, и выясняя закономерности их изменения, т. е. изучая их режим, мы пока оставляем в стороне причины этих изменений. Для того чтобы их вскрыть, необходимо изучить уже некоторые как внутренние, так и внешние процессы, воздействующие на режим водного объекта. Поэтому гидрологи изучают не только гидрологический режим водных объектов, но и гидрологические процессы, под которыми понимается совокупность физических, химических и биологических процессов, определяющих закономерности формирования гидрологического состояния и режима водного объекта.

Чтобы познать гидрологические процессы в любом водном объекте, необходимо изучить:

во-первых, явления, происходящие в водной толще рассматриваемого объекта (перемешивание, формирование температурной и плотностной стратификации, образование внутриводного льда, продуцирование кислорода благодаря жизнедеятельности зеленых растений и т. д.);

во-вторых, процессы на твердых границах объекта – его дна и берегах (взаимодействие водного потока и грунтов, размыв или аккумуляция наносов и т. д.);

в-третьих, явления, происходящие на водной поверхности объекта – границе раздела вода – воздух (тепло- и газообмен с атмосферой, испарение и конденсация, образование или таяние ледяного покрова, возникновение волн и течений под действием ветра и т. д.);

в-четвертых, взаимосвязь водного объекта с его водосбором (условия формирования стока воды, наносов, растворенных веществ, теплоты и т. д.).

2. Гидрохимия рек

По данным М. И. Львовича (1986 г.), из общего объема гидросферы, составляющего примерно 1,5 млрд. км², на долю поверхностных пресных вод приходится около 360 000 км³ (0,25 %). Единовременный объем русловых речных вод составляет около 1200 км³ (менее 0,0001 %), который благодаря круговороту ежегодно воспроизводит в 33 раза большее количество воды, в результате чего общий речной сток с суши в океан равен 38 830 км³ (или 44 230 км³ с учетом стока с полярных ледников и притока подземных вод непосредственно в океан). Главной особенностью речных вод является исключительно высокая (после атмосферной влаги) активность водообмена. Русловые речные воды сменяются в среднем каждые 11 дней, что определяет их быструю возобновляемость (для сравнения: активность водооб-



мена океана и подземных грунтовых вод составляет соответственно 3000 и 5000 лет).

К основным особенностям рек, от которых зависят химический состав речной воды и ее гидрохимический режим, О. А. Алекин относит: 1) быструю смену воды в русле, в результате чего она взаимодействует с породами ограниченное время и испаряется незначительно; 2) формирование состава воды в самых поверхностных слоях земной коры; 3) сильную зависимость водного режима рек от климатических и погодных условий; 4) хорошее взаимодействие воды с атмосферой; 5) интенсивное воздействие на воду растительных и животных организмов. По указанным причинам речные воды отличаются малой минерализацией, быстрой изменчивостью состава под воздействием гидрометеорологических условий и постоянным присутствием в воде газов атмосферного происхождения.

В естественных условиях (при отсутствии в водосборном бассейне сильно растворимых минералов, болот, торфяников, различных антропогенных воздействий) речные воды являются пресными и служат одним из основных источников питьевого водоснабжения населения.

Приведенные выше особенности гидрохимического режима речных вод характеризуют условия их преобразования непосредственно в русле. Однако фактически формирование состава вод рек зависит не только от процессов, протекающих в самой реке, но в значительной мере и от процессов, совершающихся на водосборной площади, например, от специфических условий формирования поступающих в реку поверхностных или грунтовых вод. Поэтому рассмотрение гидрохимии речных вод начнем с описания процессов, которые формируют состав поверхностных вод на водосборе.

К особенностям химического состава воды рек относятся:

1. Проточность и связанная с этим быстрая смена воды, в результате чего она непродолжительное время воздействует на породы;
2. Воды рек при своем формировании соприкасаются преимущественно с хорошо перемытыми породами, которые содержат мало растворимых солей;
3. Питание реки происходит главным образом за счет атмосферных осадков, и поэтому химический состав воды находится в большой зависимости от гидрометеорологических условий.

Все это является причиной того, что воды рек содержат обычно мало растворимых солей.

По величине минерализации (мг/л) воды рек делят на следующие 4 степени: 1) малой минерализации (до 200); 2) средней минерализации (200–500); 3) повышенной минерализации (500–1000); 4) высокоминерализованные (свыше 1000). Большинство рек имеет малую и среднюю величину минерализации.

Химический состав воды рек качественно более или менее однообразен и представлен в основном ионами: Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} . Однако соотношение



этих ионов весьма различно. Следует отметить, что химический состав рек, как в отношении общей минерализации воды, так и по соотношению ионов по сравнению с другими водоемами в высшей степени динамичен. Его легкая изменчивость во времени зависит от характера питания реки, которое за счет воздействия атмосферных осадков и сравнительно небольшой массы воды не является постоянным в течение года.

Различают 2 основных вида питания рек – поверхностное и грунтовое. Оба эти источника питания существенно различаются по составу вносимой в реку воды. Почвенный сток, так же как и другие виды поверхностного питания, мало обогащает воду рек солями. Величина минерализации в значительной степени зависит от того, какой период предшествовал выпадению осадков – засушливый или дождливый. В противоположность поверхностному стоку подземные воды, питающие реку, значительно более минерализованы. Доля участия того или иного вида питания реки неодинакова в течение года, и это обстоятельство определяет сезонный характер химического состава воды реки и его непрерывное изменение во времени.

В период паводков, происходящих как за счет талых вод, так и за счет дождей, минерализация воды является минимальной, а в междупаводковый период она достигает наибольшего уровня. Много зависит и от величины реки. Так, в Волге, имеющей обширный водосбор, при выпадении осадков в летний период состав воды изменяется незначительно; в малых реках он менее стабилен.

В течение года меняется не только общее содержание ионов в воде, но и их соотношение. Для большинства рек средних широт характерно преобладание в течение всего года HCO_3^- и Ca^{2+} , но в зимний период и межень наблюдается повышение относительного содержания ионов SO_4^{2-} и Cl^- по сравнению с HCO_3^- и Mg^{2+} по сравнению с Ca^{2+} . Это является следствием увеличения подземного притока в общем питании реки.

Своеобразен гидрохимический режим рек, вытекающих из больших и глубоких озер. За счет регулирующего действия большой водной массы их химический состав остается практически постоянным в течение года и несколько уступает по минерализации большому впадению в озеро притоков. Колебания содержания некоторых гидрохимических ингредиентов в реке (растворенные газы и pH) происходят не только благодаря изменению характера питания, но и под влиянием некоторых других условий, из которых особое значение имеют температура, интенсивность солнечной радиации и биохимические процессы.

Состав воды реки неоднороден на всем протяжении, что связано с впадением притоков, характером питания реки, процессами, совершающимися в русле, взаимодействием реки с породами, составляющими ее ложе, испарениями и осадками. Это явление особенно характерно для рек, имеющих большую длину и протекающих по районам, различающимся по географическим условиям и геологическому строению почв.



3. Гидрохимия озер, прудов, водохранилищ

Главная особенность водоемов – способность в большей или меньшей степени накапливать вещества. По своему положению в рельефе суши и в системе материкового стока водоемы являются аккумуляторами минеральных и органических веществ, циркулирующих в пределах водосбора. Все изменения, происходящие на водосборе, отражаются на процессах накопления веществ в воде этих природных объектов. Рассмотрим особенности формирования химического состава воды озер.

Основным фактором, определяющим минерализацию и химический состав воды озера, является степень его проточности. По этому признаку озера делятся на три типа: 1) проточные – в них осуществляется приток и отток воды поверхностным и подземным путями; 2) бессточные – в них имеет место только приток, а отток или отсутствует, или играет очень малую роль в водном балансе; 3) промежуточный тип (временно сточные) – отток происходит лишь в отдельные сезоны года (например, весной), в остальное время озера являются бессточными.

Озера первого типа характерны для зоны избыточного увлажнения. Поскольку эти озера имеют сток, средняя минерализация их вод невелика и близка к средней минерализации их притоков.

Озера второго типа формируются в засушливых климатических условиях. Длительное пребывание воды в озере при наличии сильного испарения способствует повышению ее минерализации, что в свою очередь влечет за собой ряд процессов, изменяющих состав воды. Ведущая роль при этом принадлежит минералообразованию. В результате выпадения солей (минералов) состав воды озера радикально меняется.

Озера третьего типа, как и предыдущие, распространены в зоне недостаточного увлажнения. В озере с периодическим стоком часть солей, вносимых притоком, выносятся. Непрерывного накопления солей в таком озере не происходит, так как с повышением минерализации воды озера растет и минерализация стока из него; в результате в системе приток – озеро – сток устанавливается некоторое равновесие, определяющее минерализацию воды озера, которая выше минерализации воды притоков.

Важной характеристикой озер первого и второго типов является степень их проточности, которая может быть выражена отношением объема водной массы (Q) к притоку воды (K). При больших значениях Q / V состав воды озера меняется незначительно по сравнению с изменением состава воды притоков. Если же это отношение невелико, колебания ионного состава озерных вод могут быть заметными. Такие особенности свойственны малым озерам, имеющим большую проточность. Минерализация воды озер, в отличие от воды рек, меняется в очень широких пределах. Встречаются озера с весьма пресной водой, имеющей минерализацию несколько



десятков миллиграммов на литр, и озера, вода которых по насыщению солями представляет собой крепкий рассол с минерализацией до 300–350‰ (соляные озера).

Проточные озера являются пресными, временно сточные – солоноватыми и бессточные – соляными. Соляные озера распространены обычно в засушливом климате, но, как исключение, встречаются и в районах достаточного увлажнения, где их появление обусловлено присутствием в недрах залежей соли. О. А. Алекин делит озера по минерализации воды на пресные (до 1 ‰), солоноватые (до 25‰), соляные (свыше 25‰).

Озера имеют неодинаковую минерализацию, что во многом определяется наличием или отсутствием стока. Как правило, химический состав воды озер, имеющих сток, тесно связан с составом воды притоков и подземных вод, питающих озеро. Так же, как и в реках, преобладающими ионами здесь являются HCO_3^- , Ca^{2+} , Mg^{2+} и в меньшей степени – SO_4^{2-} , Cl^- , Na^+ , K^+ . Абсолютное содержание биогенных элементов в воде озер невелико и практически мало влияет на величину общей минерализации. Однако в ряде случаев химический состав воды озер может значительно отличаться от состава речной воды. Обусловлено это особенностью озера как водоема. Для химического состава воды и всего гидрохимического режима озера существенное значение имеют его размеры – площадь, глубина и объем. В больших озерах, аккумулирующих маломинерализованные паводковые воды, чаще всего минерализация бывает меньше, чем в небольших. Они слабее подвержены и сезонным колебаниям ионного состава, в то время как в малых озерах, особенно при большой проточности, ионный режим в значительной мере напоминает режим, свойственный рекам. Кроме того, от размера озера зависит прогреваемость воды, что, в свою очередь, определяет интенсивность биологических процессов. В малых, хорошо прогреваемых озерах с умеренной минерализацией и достаточным количеством питательных солей создаются оптимальные условия для развития живых организмов, и их гидрохимический режим в сильной степени связан с протекающими в них биологическими процессами (биологическим фактором), тогда как в больших озерах и озерах с высоким содержанием солей основными факторами являются физические и физико-химические процессы.

Большое влияние на химический состав воды оказывает величина стока. Он создается в том случае, если озеро находится в зоне избыточного увлажнения и объем притока в озеро превышает испарение с его поверхности. Минерализация воды при этом обычно составляет не более 200–300 мг/л. При превышении испарения над притоком, что наблюдается в условиях недостаточного увлажнения, сток отсутствует и в озере происходит аккумуляция солей, вносимых притоками. Величина минерализации воды будет зависеть от интенсивности испарения, соотношения объема притока и размера озера, состава воды притока.

Промежуточное положение занимают озера со стоком в отдельные сезоны года, обычно во время половодья. Соли в таких озерах не накапливаются, так как с по-



вышением минерализации воды озера растет и минерализация стока из него и устанавливается некоторое равновесие. Таким образом, озера, в зависимости от наличия у них стока, подразделяются на имеющие сток пресные, бессточные соленые и озера с периодическим стоком, характеризующиеся средними величинами минерализации.

Озера – это регуляторы стока рек, т.к. снабжают их водой в период межени. Поэтому реки со значительной озерностью бассейна отличаются полноводностью и небольшими колебаниями уровня воды в течение года. Проточные озера имеют постоянный благоприятный режим для развития живых организмов. Озера являются источниками питьевой и промышленной воды, местами рыбного промысла воды, курортными центрами. Роль озер важна и в энергетическом хозяйстве республики. В качестве сельскохозяйственного удобрения используются озерные сапропели, которые, кроме того, содержат разнообразные редкие элементы, используемые в промышленности. Озерные пески и глины широко применяются в строительстве. Общее число озерных водоемов в Беларуси превышает 10 тыс., однако распространены они по ее территории крайне неравномерно. Наиболее богат озерами север республики – Белорусское Поозерье, где они приурочены к области распространения последнего оледенения. В административном отношении к Поозерью относятся Витебская, северная часть Минской и северо-западная часть Гродненской областей. В центральной части Беларуси также много озер, однако все они небольшие. Это зарастающие остаточные водоемы, речные старицы, в отдельных случаях карстовые провалы или озера карстово-суффозионного происхождения. Здесь расположены наиболее крупные водохранилища – Осиповичское и Заславское. Белорусское Полесье богато остаточными озерными водоемами, окруженными обширными торфяно-болотными массивами и речными старицами. В административном плане – это Брестская и Гомельская области. Почти 75% всех озер составляют водоемы с площадью зеркала не более 0,1 км², лишь около 25% приходится на долю озер с площадью более 1 км².

Источник: <http://rad.org.by/articles/voda/vodoemy-belarusi.html> ©rad.org.by

Химический состав воды в отдельных частях и на разных глубинах озера неодинаков. Причинами этого могут быть, с одной стороны, различие между составом воды впадающих притоков, а с другой стороны, физические, химические и биологические процессы, происходящие в водной массе самого озера. В больших и глубоких озерах подобная неоднородность выражена менее четко. Еще большая неоднородность в химическом составе воды, особенно в содержании газов, проявляется на разных глубинах. Это связано с температурой, а следовательно, и растворимостью газов, а также с интенсивностью процессов, обуславливающих появление и потребление кислорода и окиси углерода.

Существуют и комплексные классификации озер, основанные и на морфометрических данных, и на связях озер с другими озерами, и с бассейнами, что, несомнен-



но, сказывается и на биологии озер. Таковой явилась классификация М. М. Кожова (1950) озер Восточной Сибири. Выглядит она таким образом.

- Группа 1. Озера-пруды с глубиной 1–2 м.

Подгруппа 1. Озера-пруды со слабым и непостоянным или лишь слегка фильтрующим стоком. Характерны недостаток кислорода зимой, сплошное зарастание водными растениями летом. Летом очень обилен зообентос. Наиболее часто из рыб обильны караси.

Подгруппа 2. Озера-пруды проточные. Хорошо выражен круглогодичный поверхностный сток. Также сильно зарастают водными растениями, бентос и планктон обильны. Это привлекает рыб (плотву, окуней и других) из соседних озер. Зимой они откочевывают в реки, так как эти озера промерзают, и газовый режим ухудшается. Постоянными жителями таких озер остаются караси.

- Группа 2. Мелководные озера с выраженной пелагической зоной (средняя глубина до 5 м)

Подгруппа 1. Слобопроточные озера. Слабый поверхностный или подземный сток. Дефицит кислорода. Фитобентос довольно обилен. Много бокоплавов, из рыб обычны карась, плотва, окунь.

Подгруппа 2. Проточные озера. Хорошо выражен круглогодичный поверхностный сток, замороз не бывает. Зообентос обилен, представляя хорошую кормовую базу для рыб (сорога, окунь, щука).

- Группа 3. Озера средней глубины (10–15 м).

Подгруппа 1. Слабопроточные озера. Глубокие, но имеющие только подземный или слабый поверхностный сток. Фитобентос беден. В придонных слоях наблюдается дефицит кислорода. Литоральный зообентос богат численно, но беден видами. Из рыб встречаются сорога, окунь, щука, карась.

Подгруппа 2. Озера проточные. Сток хорошо выражен. Бентос беден, предоставляет пищу таким рыбам как сорога, окунь, язь, сорога, ряпушка, сиг.

- Группа 4. Глубокие озера (средняя глубина более 15 м). Как правило, сильнопроточные озера. Фитобентос, зообентос, планктон бедны. Преобладающие рыбы – ленок, таймень, налим, сиг, хариус. Ионный состав воды озер характеризуется неоднородностью как по акватории, так и по глубине. Степень этой неоднородности определяется, по О. А. Алекину, следующими основными условиями.

1. Соотношением между объемом озера и водоносностью притоков. В большом озере, объем которого во много раз превышает объем притоков, вода в основной своей массе достаточно перемешана и неоднородность состава может быть заметна лишь в приустьевых участках. Например, в Ладожском озере неоднородность состава заметна лишь в южной части озера, где впадают реки Волхов и Сясь, состав воды которых отличается от состава озерной воды.

2. Различием в минерализации воды. Например, при штилевой погоде пресная вода р. Джергалан, впадающей в восточную часть оз. Иссык-Куль, вследствие



большой разности между значениями минерализации своей воды и воды озера (5,8 ‰) растекается по поверхности Джергаланского залива, создавая резкую неоднородность в составе воды вблизи поверхности (в слое 1–2 м), а также контраст по сравнению с составом водной массы озера.

3. Различием значений температуры озерных вод и вод притоков. Примером может служить послонное распределение воды в оз. Байкал в месте впадения в него р. Селенги.

4. Формой озера. Вытянутая форма озера и наличие обособленных плесов способствуют неоднородности в составе воды. В качестве примера можно привести солоноватое оз. Балхаш.

Неодинаковый характер биохимических процессов в течение года на разных глубинах озера создает вертикальную гидрохимическую зональность, или стратификацию. Наиболее отчетливо она устанавливается в малых озерах. В крупных из-за сильного перемешивания воды, меньшего прогревания и сравнительно небольшой заселенности организмами биологические реакции протекают менее интенсивно. Гидрохимическая стратификация может наблюдаться для ионов HCO_3^- и CO_3^{2-} .

Летом в верхнем слое воды озера в процессе фотосинтеза потребляется большое количество CO_2 . Уменьшение концентрации CO_2 создаст щелочную реакцию и сдвиг карбонатного равновесия в сторону образования ионов CO_3^{2-} за счет уменьшения концентрации ионов HCO_3^- . В придонных частях озера идет микробиологическое разложение органических остатков с выделением CO_2 , что приводит к понижению pH и сдвигу карбонатного равновесия в сторону образования HCO_3^- . Нередко наблюдается четкая стратификация озерной воды по содержанию ионов железа. Железо вносится в озеро речными водами в двухвалентной форме (Fe^{2+}). У поверхности озера оно окисляется до трехвалентного (Fe^{3+}) и оседает на дно в виде гидроксида. Здесь в условиях восстановительной среды и высокого содержания CO_2 и HCO_3^- , Fe^{3+} вновь переходит в Fe^{2+} и растворяется в воде. В результате у поверхности озера концентрация железа уменьшается почти до нуля, тогда как в придонных слоях она может достигать 30–40 мг/л.

Вертикальная дифференциация озерной воды отмечается по содержанию азотистых соединений (NH_4^+ , NO_2^- , NO_3^-). Вносимые в озеро азотистые соединения в форме ионов NO_3^- потребляются обитающим в верхнем слое фитопланктоном. Растения усваивают также азот воздуха, который идет на построение белкового вещества самих организмов. После отмирания организмов их остатки опускаются на дно, где в условиях анаэробной среды подвергаются разложению с образованием NH_4^+ и частично NO_2^- . Таким образом, в летний период концентрация азотистых соединений в поверхностном слое воды приближается к нулю, а в нижних слоях иногда составляет десятки миллиграммов на 1 л.

Сформировавшаяся в летнее время гидрохимическая стратификация зимой полностью исчезает. Зимой под ледяным покровом фотосинтез практически прекраща-



ется, что коренным образом изменяет газовый режим озерной воды. Прекращается и поступление кислорода из атмосферы. Вследствие расходования кислорода на дыхание и другие окислительные процессы подо льдом создаются восстановительные условия. Концентрация CO_2 , наоборот, с глубиной непрерывно увеличивается. Вследствие высокой минерализации белка и других органических соединений в озерной воде накапливаются H_2S , CH_4 , NH_4^+ , что еще более усиливает восстановительный характер среды. Отсутствие кислорода и наличие вредных для живых организмов веществ (H_2S , CH_4 и др.) нередко приводят к гибели рыб под ледяным покровом. Наиболее четко выражена вертикальная стратификация по температуре и химическому составу в небольших озерах с грунтовым питанием.

Биогенные и органические вещества создаются как в самом озере (автохтонные), так и привносятся в него притоками (аллохтонные). Количество и состав органических и биогенных веществ, растворенных в озерной воде, зависят от ряда факторов. К ним относятся физико-географические условия водосборного бассейна озера, ионный состав воды озера и биологическая продуктивность, морфологические характеристики озера (глубина, объем), ионный состав воды притоков, а также состав органических и биогенных веществ, вносимых притоками.

По-другому протекают процессы в озерах, расположенных в лесной и лесостепной зоне. Притоки этих озер богаты биогенными и минеральными веществами и бедны гумусом. При умеренной глубине и хорошем прогревании воды в этих озерах создаются благоприятные условия для развития планктона. В таких озерах интенсивно протекают процессы создания и разрушения органического вещества, и поэтому их воды обогащены различными растворимыми соединениями органического происхождения.

Естественным процессом эволюции водных объектов является их евтрофирование, которое характеризуется повышением биологической продуктивности в результате накопления в воде биогенных элементов. Однако под воздействием хозяйственной деятельности этот естественный процесс приобретает специфические черты, становится антропогенным. Резко возрастают скорость и интенсивность повышения продуктивности экосистем. Так, если в естественных условиях процесс евтрофирования какого-либо озера протекает за 1000 лет и более, то в результате антропогенного воздействия это может произойти в сто и даже тысячу раз быстрее (И. С. Коплан-Дикс, В. Л. Алексеев). Такой крупный водоем, как оз. Эри, перешло из олиготрофного в евтрофное состояния всего за 20-25 лет. Развитие процесса евтрофирования приводит ко многим неблагоприятным последствиям с точки зрения водопользования и водопотребления (развитие „цветения” и ухудшение качества воды, появление анаэробных зон, нарушение структуры биоценозов и исчезновение многих видов гидробионтов, в том числе ценных промысловых рыб). По мнению Л. Л. Россоломо, среди множества элементов, влияющих на процесс евтрофирования



(азот, кислород, углерод, водород, сера, кальций, калий, хлор, железо, марганец, кремний и др.), для водоемов умеренной зоны решающую роль играет фосфор.

Если отношение содержания общего азота N к содержанию общего фосфора P меньше 10, то первичная продукция фитопланктона лимитируется азотом, при $N/P > 17$ – фосфором, при $N/P = 10-17$ – азотом и фосфором одновременно. Отношение общего азота к общему фосфору в водоеме указывает на степень евтрофирования его водной экосистемы. Для сильно гумифицированных внутренних водоемов отношение N/P равно 100 и более; для самых чистых олиготрофных и мезотрофных озер 30–40; для евтрофных водоемов, находящихся под очевидным антропогенным воздействием, 15–25; для гипертрофных водоемов 12–18 (в отдельных случаях 3–5). В грунтовой стоке N/P равно 200 и более; в стоке с лесных территорий 150–200; в ручьях, дренирующих распаханые территории, 7–8; в сточных водах животноводческих хозяйств и городов 3–8 (О. А. Алекин).

4. Организация гидрохимических исследований

Вода стоит особняком в истории нашей планеты. Нет природного тела, которое могло бы с ней сравниться по влиянию на ход основных, самых грандиозных, геологических процессов. Не только земная поверхность, но и глубокие – в масштабе биосферы – части планеты определяются, в самых существенных своих проявлениях, ее существованием и ее свойствами

Во всем мире признается стратегическая роль водных ресурсов в сохранении природной среды и в социально-экономическом развитии любой страны. На сегодняшний день актуален вопрос качества природных вод, поскольку их загрязнение приводит к дефициту воды даже в регионах, в достаточной мере обеспеченных водными ресурсами. Территория Республики Беларусь служит водоразделом для бассейнов Балтийского и Чёрного морей. Примерно 55% речного стока приходится на реки бассейна Чёрного моря и 45% - Балтийского. На территории Республики Беларусь насчитывается более 10,8 тысяч озер, 88% из которых имеют площадь зеркала до 10 га, и почти 21 тысяча рек. Озер площадью более 100 га всего 2,2%. Относительно больших озёр с площадью зеркала более 20 км² – девять: Нарочь, Освейское, Червоное, Лукомское, Дривяты, Нецердо, Выгонощанское, Снуды и Свирь. В озёрах сосредоточено около 9 км³ воды. Средняя густота речной сети составляет в Беларуси 0,44 км/км². В Беларуси создано 125 водохранилищ, осуществляющих сезонное регулирование и имеющих объем свыше 1 млн. м³ каждое. Полный объем водохранилищ – более 3 км³, их суммарная площадь – 797 км². По месту расположения преобладают водохранилища руслового типа. На севере широко представлены водохранилища, созданные в результате подпора плотинами уровня воды в озёрах. Всего насчитывается 16 озёрных водохранилищ, или 14% от общего числа водохранилищ. Большое распространение получило строительство прудов различного



назначения объёмом более 600 млн.м³. Вся территория Беларуси покрыта сетью каналов, общее количество которых приближается к 2000, а общая длина превышает 17 тыс. км. Подавляющее большинство каналов относится к элементам мелиоративных систем и водоподводящим, наибольшим из которых является канал Вилейско-Минской водной системы (62 км). Некоторые из них создавались для организации межбассейнового судоходства, но из каналов такого типа в настоящее время действует только Днепровско-Бугский, а Огинский, Августовский и Березинский сохранились, но утратили своё первоначальное назначение. Широкое использование ресурсов поверхностных вод в различных отраслях промышленности и сельского хозяйства, развитие хозяйственно-бытового водоснабжения, воздействие глобальных потоков загрязняющих веществ обусловили многообразие антропогенных нагрузок на водные объекты. Всё это обусловило необходимость изучения, оценки и прогноза качества поверхностных вод - одного из важнейших стратегических ресурсов республики. Указанные задачи решает система мониторинга поверхностных вод на основе ряда законодательных и нормативных актов.

Источник: <http://rad.org.by/monitoring/aqua> ©rad.org.by

Осуществление наблюдений

Благодаря планомерному расширению сети мониторинга на территории республики плотность сети сегодня составляет 1,4 пункта наблюдений на 1 тыс. км² страны. Среди основных речных бассейнов Беларуси в наибольшей степени охвачены наблюдениями водные объекты бассейна р. Западной Двины (2,4 стационарных пункта на 1 тыс. км²), в наименьшей – бассейна р. Припяти (0,9 стационарных пунктов на 1 тыс. км²).

По итогам реализации мероприятий Государственной программы развития Национальной системы мониторинга окружающей среды (НСМОС) в Республике Беларусь на 2006-2010 гг. в государственный реестр пунктов наблюдений НСМОС включено 46 водоёмов (76 пунктов наблюдений) и 17 фоновых участков водотоков, т.е. участков, подверженных минимальной антропогенной нагрузке и репрезентативных с точки зрения формирования природного качества вод. Наибольшее количество водоёмов открыто в пределах бассейна р. Западной Двины (28 озёр), наименьшее – в бассейне р. Западного Буга – 2 водохранилища.

Гидрохимические наблюдения: отбор и испытание проб воды – ГУ «Республиканский центр аналитического контроля в области охраны окружающей среды»; сбор, обработка, хранение и анализ гидрохимической информации – ГУ «Республиканский центр по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения и мониторингу окружающей среды». Гидробиологические наблюдения: отбор и испытание проб воды – ГУ «Республиканский центр по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения и мониторингу окружающей среды» сбор, обработка, хранение и анализ гидробиологической информации –



ГУ «Республиканский центр по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения и мониторингу окружающей среды» Гидрологические наблюдения: ГУ «Республиканский центр по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения и мониторингу окружающей среды» Периодичность проведения наблюдений: по гидрохимическим показателям на больших водотоках и на участках водотоков в районе расположения источников загрязнения – один раз в месяц ежегодно; при отсутствии источников загрязнения – семь раз в год в периоды основных гидрологических фаз поверхностного водного объекта ежегодно; на фоновых участках водотоков – ежемесячно с цикличностью 1 раз в 2 года; на водоемах – ежеквартально с цикличностью 1 раз в 2 года; по гидробиологическим показателям (на всех поверхностных водных объектах, кроме трансграничных участков рек и р. Свислочь) – в вегетационный период с цикличностью 1 раз в 2 года; на трансграничных участках рек и р. Свислочь – в вегетационный ежегодно. Наблюдения по гидрохимическим показателям осуществляются по следующим группам: элементы основного солевого состава; показатели физических свойств и газового состава; органические вещества; биогенные вещества (соединения азота, фосфора); металлы (железо, медь, цинк, никель, хром, марганец, кадмий, свинец); ртуть, мышьяк на трансграничных участках водотоков. Наблюдения по гидробиологическим показателям осуществляются по основным сообществам пресноводных экосистем: фитопланктоном, зоопланктоном и хлорофиллом-*a* – в водоемах, фитоперифитомом и макрозообентосом – в водотоках. Для оценки качества воды и состояния водных экосистем используются: – показатели экологической безопасности в области охраны вод; – показатели качества воды и предельно допустимые концентрации химических веществ в воде поверхностных водных объектов (ПДК). Источник: <http://rad.org.by/articles/voda/rezultaty-monitoringa.html> ©rad.org.by

Критерии оценки качества воды и состояния водных экосистем

По гидрохимическим показателям: – нормативы качества воды поверхностных водных объектов (показатели качества воды поверхностных водных объектов, используемых для размножения, нагула, зимовки, миграции видов рыб отрядов лососеобразных и осетрообразных; предельно допустимые концентрации химических и иных веществ в воде поверхностных водных объектов), установленные постановлением Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь от 30 марта 2015 г. № 13; – экологические показатели, широко применяемые в странах Восточной Европы, Кавказа и Центральной Азии, позволяющие сопоставить оценку состояния поверхностных вод Республики Беларусь и других стран: БПК₅ и концентрация аммонийного азота, концентрации фосфатов и нитратов – в реках, общее содержание фосфора и азота – в озерах.

По гидробиологическим показателям: •метод сапробиологического анализа (по планктонным сообществам и водорослям обрастания); •биотический индекс и ин-



декс Гуднайта-Уитлея (по донным сообществам); •индекс Шеннона (все сообщества).

Оценка качества поверхностных вод по гидробиологическим показателям производится с помощью методов биоиндикации, основанных на изучении структуры гидробиоценозов и их отдельных компонентов.

30 апреля 2014 года был принят новый Водный кодекс Республики Беларусь, устанавливающий новый подход к оценке экологического состояния поверхностных водных объектов (их частей). Для его реализации разработан ряд технических нормативных правовых актов, позволяющих оценить гидробиологический и гидрохимический статус поверхностных водных объектов, в соответствии с которыми производится оценка гидробиологического и гидрохимического статусов речных и озерных экосистем. Определение статусов речной экосистемы осуществляется для участка реки в пункте наблюдений, озерной экосистемы – для всего озера в целом.

В результате определения статуса экосистеме присваивается один из пяти статусов: – отличный; – хороший; – удовлетворительный; – плохой; – очень плохой.

Для графического отображения статуса используется следующая цветовая гамма: отличный статус – голубой цвет; хороший статус – зеленый цвет; удовлетворительный статус – желтый цвет; плохой статус – оранжевый цвет; очень плохой статус – красный цвет.

Результаты наблюдений за состоянием поверхностных вод <http://rad.org.by/function/water-data>

Источник: <http://rad.org.by/articles/voda/rezultaty-monitoringa.html> ©rad.org.by

Все пункты режимных наблюдений подразделены на четыре категории в зависимости от народнохозяйственного значения водного объекта, качества воды, размера и объема водоема или водотока. Пункты наблюдений могут состоять из одного или нескольких створов. Под створом пункта наблюдений за состоянием поверхностных вод понимается условное поперечное сечение водоема или водотока, в котором осуществляются работы для получения данных о составе и свойствах воды. Количество створов и их расположение зависят от типа водного объекта и характеристики источника загрязнения.

Пробы в створах отбираются по вертикалям с одного или нескольких горизонтов. Под вертикалью понимается условная отвесная линия от поверхности до дна водного объекта. Количество вертикалей определяется рядом факторов: шириной зоны загрязненности водного объекта (первая вертикаль располагается на расстоянии не далее 500 м от берега или от источника загрязнения, последняя – непосредственно за границей зоны загрязнения).

Кроме обязательной программы, имеется три сокращенные программы, каждая из которых включает ряд показателей: программа 1 – визуальные наблюдения, рас-



ход воды (или уровень), растворенный кислород, удельная электрическая проводимость; программа 2 – визуальные наблюдения, расход воды (или уровень), температура, электрическая проводимость, ХПК, БПК₅, взвешенные вещества, растворенный кислород, два–три основных загрязняющих вещества, характерных для этого пункта; программа 3 – визуальные наблюдения, расход воды (или уровень), температура, растворенный кислород, pH, ХПК, БПК₅, взвешенные вещества, все загрязняющие вещества, характерные для данного пункта. Определение в воде пестицидов осуществляется по индивидуальной программе. Наблюдения за содержанием пестицидов проводят с учетом особенностей их поступления, миграции и трансформации в водной среде: в районе применения пестицидов; в районе населенных пунктов, в которых имеются предприятия, производящие пестициды; на участках водотоков и водоемов с повторяющимися случаями нарушения норм качества воды, выявленными по результатам режимных наблюдений и обследований; в районе пересечения границы; в пунктах, определенных в качестве опорных для наблюдений за содержанием хлорорганических пестицидов в воде водоемов и водотоков; в пунктах, совпадающих с пунктами для специальных наблюдений (для расчета выноса растворенных веществ в моря и океаны, для оценки влияния мелиорации и т. п.).

Перечень определяемых в пунктах пестицидов устанавливают с учетом: списка приоритетных пестицидов, концентрации которых рекомендуется определять в воде водоемов и водотоков; объемов и масштабов применения пестицидов на территории района расположения пункта и выше по течению реки; основных сельскохозяйственных культур, возделываемых на территории района; сведений о предприятиях, производящих пестициды; концентрации пестицидов и частоты их обнаружения в воде в районе наблюдений. В отдельных пунктах наблюдений осуществляется определение хлорорганических пестицидов в донных отложениях. Высокая токсичность пестицидов по отношению к гидробионтам, их широкая распространенность и биохимическая устойчивость, сорбция на взвешенных веществах, аккумуляция донными отложениями, водными растениями и животными обусловили выбор именно этих веществ на первом этапе наблюдений. Начинается внедрение определения в донных отложениях нефтепродуктов, планируется внедрение определений полициклических ароматических углеводородов и металлов. Отбор проб в большинстве водотоков осуществляется семь раз в год: во время половодья – на подъеме, пике и спаде, во время летней межени – при наименьшем расходе и при прохождении дождевого паводка, осенью перед ледоставом и во время зимней межени. Количество проб воды, отбираемых для анализа по обязательной программе, может изменяться в зависимости от особенностей водного режима отдельных водотоков: на водотоках с длительным половодьем (более месяца) и с паводочным режимом в течение всего года количество проб не менее восьми в год, на водотоках с устойчивой летней меженью – пять–шесть в год, на временных водотоках – три–четыре в год.



На водоемах наблюдения по обязательной программе проводятся при следующих гидрологических ситуациях: зимой, при наиболее низком уровне и наибольшей толщине ледяного покрова; в начале весеннего наполнения водоема; в период максимального наполнения (при наибольшем уровне); при наиболее низком уровне в летне-осенний период. Периодичность проведения наблюдений за содержанием в поверхностных водах пестицидов устанавливают с учетом категории пункта наблюдений и персистентности определяемого пестицида; сроки проведения наблюдений устанавливают с учетом гидрологической ситуации на водоеме или водотоке и сроков обработки сельскохозяйственных угодий.

Периодичность проведения наблюдений за содержанием пестицидов в донных отложениях – не менее двух раз в год. Срок отбора проб устанавливают с учетом гидрологической ситуации на водоеме и водотоке и периода максимального поступления пестицидов в донные отложения, зависящего от времени обработки сельскохозяйственных угодий пестицидами в бассейне. Кроме загрязняющих веществ, наличие которых в речной воде определено во время рекогносцировочных съемок, исследование самоочищающей способности водных объектов ведется по таким показателям загрязненности воды, как химическое потребление кислорода (ХПК) и биохимическое потребление кислорода за 5 сут (ВПК5). Обязательным является также определение температуры, pH, содержания растворенного в воде кислорода. Все эти показатели характеризуют условия и ход протекания процессов самоочищения.

Наблюдения за процессами самоочищения воды рек проводятся несколько раз в год в характерные фазы гидрологического и гидробиологического режимов водного объекта. Необходимо проводить съемки в период весеннего половодья, когда условия для самоочищения являются, наиболее благоприятными, и во время зимней и летней межени при наиболее неблагоприятных условиях. Особенно важным является период межени. Продолжительность наблюдений определяется степенью надежности материалов, характеризующих самоочищающую способность водотоков в годы с различной степенью водности (много-, маловодные, средние).

Изучение распространения загрязняющих веществ в озерах и водохранилищах, а также направления и скорости процессов самоочищения отдельных участков водоемов должно быть проведено в характерные гидрологические ситуации и в наиболее критические по гидрохимическим показателям периоды. Наблюдениями должны быть охвачены периоды максимальных и минимальных уровней воды. При минимальных уровнях съемки проводятся в период ледостава и в свободный от ледостава период. В свободном от льда водоеме такие съемки проводятся при различных ситуациях: продолжительная штилевая погода, ветер преобладающего направления, период интенсивного наполнения и сброски водохранилища и т. п.



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