



МАЛЫМ РЕКАМ – НАШУ ЗАБОТУ

Практическое пособие для школьных экологических клубов

МАЛЫМ РЕКАМ — НАШУ ЗАБОТУ

Практическое пособие для школьных экологических клубов

Репозиторий Баргу

УДК 087.5:502.51

ББК 26.22

М20

Коллектив авторов: В. Н. Зуев, А. Н. Пахоменко, Н. И. Поречина,
О. А. Мороз, Е. М. Дмитриева

Под общей редакцией В. Н. Зуева

Рецензенты: канд. биол. наук С. К. Рындевич;
канд. пед. наук И. Н. Шаруха.

М20 Малым рекам – нашу заботу : практич. пособие для школьных экологиче-
ских клубов / В. Н. Зуев (и др.) ; под общ ред. В. Н. Зуева. — Минск :
Медисонт, 2014. — 120 с. : ил.
ISBN 978-985-7085-40-8.

Пособие включает материал, необходимый для организации деятельности школьных экологических клубов и экологических постов. Рассматриваются способы морфологического и экологического исследования водотоков и водоемов. Представлены способы биоиндикации, а также рекомендации по сотрудничеству с органами власти.

Рекомендуются учителям школ, педагогам учреждений внешкольного образования, всем интересующимся вопросами охраны вод.

УДК 087.5:502.51

ББК 26.22

ISBN 978-985-7085-40-8

© Оформление. ООО «Медисонт», 2014

Оглавление

Введение. Наши реки — жизни истоки	4
Краеведческое исследование водных объектов бассейна реки Дисна	7
Водные объекты Беларуси и их состояние	9
Морфологическое описание водных объектов	23
Биоиндикация состояния водных объектов	45
Оценка качества воды с помощью физико-химических методов	67
Информационная работа с населением	97
Приложение 1. Основные правила техники безопасности при изучении водных объектов	100
Приложение 2. Примерная программа школьного экологического клуба	101
Приложение 3. Экологический паспорт реки	108
Приложение 4. Паспорт пункта наблюдения за состоянием поверхностных вод	111
Приложение 5. Характеристика пункта наблюдения	112
Приложение 6. Характеристика источников загрязнения, оказывающих влияние на качество воды в пункте наблюдения	113
Приложение 7. Форма отчета для экологических постов и школьных экологических клубов	114
Список использованных источников	115

Введение.

Наши реки — жизни истоки

Каждая река имеет свое прошлое, почитается народом, живущим на ее берегах, за ту пользу, которую она приносит людям и стране; она имеет свой характер и присущие только ей черты. Река течет, подобно человеческой жизни: в младенчестве вытекает из маленького родничка, сначала совсем не заметная, а затем пополняемая другими ручьями и маленькими речками; со временем она будто бы учится и приобретает опыт, вырастает, набирает силы, становится зрелой и начинает приносить пользу, вращая мельницы, из города в город или из страны в страну перевозит на себе тяжелые грузовые суда. То бурная и пенная, словно в гневе, то снова тихая и спокойная. То глубокая и серьезная, как задумчивый путник, то опять неглубокая и весело журчащая катится по камушкам. Много раз она прикасается к своему очаровательному берегу, кокетливо заигрывая и ласкаясь, обнимая его, как женщина обнимает дорогого сердцу мужчину, в пленительных объятиях и сладостных поцелуях ищет любви и счастья. И в конце своего пути становится широкой, серьезной и рассудительной и, подобно старости, владает в воды еще большей реки, которые ее и поглощают. Здесь и теряются ее следы, а ее вода, увлеченная великой силой, теряется в морских глубинах, как исчезают следы человеческой жизни в вечном пространстве. Человек возрождается в своих детях, внуках и последующих поколениях, река же обновляется из своего источника и плывет по своему руслу в течение многих тысяч лет.

**Фрагмент первой главы книги
К. Тышкевича «Вилия и ее берега»
Перевод с польского**

Беларусь — особая страна. Места у нас красивые неброской, спокойной красотой, которая не один раз вдохновляла поэтов. Природа щедро постаралась дать людям самое ценное, что есть у нее: богатый кислородом воздух, леса и луга, но самое главное — реки, озера, родники и болота.

Реки и озера испокон веков служили источником питьевой воды, вкусной и полезной рыбы. По ним ходили торговые и военные суда. Их крутые берега и бурные воды служили естественной защитой от неприятеля. Именно здесь, на берегах рек, наши предки строили свои города, замки и крепости.

«...Азеры — вочы зямлі» — так белорусы ласково говорят о своих водных богатствах. И на самом деле, реки и озера, родники и колодцы, пруды и водохранилища, ну и, конечно, болота — все это является гордостью нашего народа. Поэтому романтики и поэты называют Беларусь синеокой.

Такое богатство издавна привлекало сюда людей. Именно по берегам рек шло расселение славянских племен: строились временные поселения, затем они приобретали постоянный характер — так появлялись сначала небольшие деревушки, а затем и города.

Древние люди селились по берегам рек и речушек или выбирали большие озера. И это естественно — рядом с водой всегда есть пища (рыба, моллюски, раки, водные птицы и звери), да и сама чистая питьевая вода человеку просто необходима, и чистейшие родники, которые питали реки и озера, давали и людям свою кристальную, а часто и целебную воду. Чем чище была река или озеро, тем больше в них водилось рыбы. Чем чище была вода в роднике, тем здоровей были взрослые и дети в племени.

Реки всегда разделяли и соединяли народы. Так, по рекам проходили границы владений, и реки служили средством сообщения между племенами, торговыми и военными путями. Наиболее важным был известный с VI в. великий водный торговый путь из Скандинавии в Византию, который в летописях называется «Из варяг в греки».

Вплоть до наших дней на высоких берегах рек и озер сохранились остатки древних славянских поселений, да и современные крупные города стоят каждый на своей реке: Минск — на Свислочи и ее притоках, Полоцк и Витебск — на Западной Двине, Гродно — на Немане... Так перечислять можно долго.

Но человек использует реки и по-другому. На берегах рек расположены поля и фермы, заводы и фабрики. В водные артерии попадают очищенные и неочищенные сточные воды. Реки питаются родниковой водой, которая может поступать из загрязненных нитратами подземных водных горизонтов. Озера и водохранилища цветут и превращаются в болота. Величественные, когда-то судоходные реки пересыхают, превращаются в ручейки, а местные жители начинают, издеваясь, называть их речками-вожючками, не понимая того, что до такого состояния их довели они сами.

Часто «умирание» реки приводит и к постепенному упадку и вымиранию населенного пункта, который стоит на ее берегах.

Обычно, когда говорят о загрязнении рек, сразу вспоминают о крупных городах с их заводами и огромными канализационными коллекторами. Конечно, вклад крупных городов в загрязнение окружающей среды, и в частности рек, неоспорим. Однако нельзя недооценивать и малые населенные пункты, на территории которых прямо на берегах рек расположены животноводческие комплексы и фермы, множество мелких предприятий пищевой промышленности, склады удобрений и ядохимикатов. К сожалению, в районных центрах и деревнях местными жителями таким нарушениям придается небольшое значение — часто их попросту не замечают. А бани, туалеты и огороды на берегах — это и вовсе считается в порядке вещей. А ведь это и есть так называемые «горячие точки», убивающие реки и озера не меньше, чем крупные источники загрязнений.

Государственные службы экологического мониторинга и контролирующие организации охватывают в основном крупные реки. Таким образом, «горячие точки» на малых реках продолжают существовать. Их выявление — вот задача,

которую по мере своих возможностей могут решать школьные и другие общественные экологические инициативы, ставящие своей целью наблюдение за водными объектами, их защиту и сохранение.

Чаще всего природоохранная работа в малых населенных пунктах концентрируется вокруг активистов-краеведов. Большинство из них работают в школах и преподают природоведение, биологию, химию, географию или историю. Вокруг этих интересных людей всегда есть небольшие группы интересующихся школьников. Наша книга — именно для этих людей с горящим сердцем, пытливым умом, цепким взглядом и умелыми руками. Именно эти люди и могут стать настоящими Хранителями своих рек и озер.

Для охраны водных объектов очень важно понимание процессов, которые в них происходят, а также знание методов контроля экологического благополучия. Об этом написано много умных книг, язык которых зачастую сложен и непонятен. Мы же — авторский коллектив этой книги — ставим перед собой достаточно сложную задачу: сделать наше пособие понятным для любого читателя. Получилось у нас или нет — решать Вам, наши читатели.

Для белорусских рек и озер характерны разные типы загрязнения. Мы остановимся, в первую очередь, на тех процессах, которые можно встретить повсеместно. Так, например, процессы загрязнения нефтепродуктами, тяжелыми металлами и другими очень опасными веществами имеют очень серьезные последствия для водных экосистем. Но это загрязнение происходит точноно, то есть в тех местах, где есть концентрированные источники этих веществ. А избыточное поступление соединений азота и фосфора в подземные воды, в реки, а затем и в озера и водохранилища существует практически на всех сельских территориях — везде, где деятельность человека слишком близко подступает к водным объектам — поверхностным и подземным. Проявляется это по-разному. Это и цветение озер, и превращение их в безжизненные лужи, и зарастание рек, и заморы рыбы, и загрязнение нитратами колодезной воды. В слабoproточных озерах и водохранилищах эти процессы наиболее заметны. Такое загрязнение водоемов называется эвтрофикация. С ним борются во многих цивилизованных странах мира, в том числе и в Беларуси. Излишние азот и фосфор наши реки с водой переносят дальше, в Балтийское и Черное моря. Поэтому наш белорусский вклад в экологическое состояние морей тоже имеет достаточно большое значение.

И именно школьные исследовательские группы могут помочь бороться с процессами эвтрофикации наших белорусских водных объектов и уменьшить их для морей. Важно объединить усилия разных программ наблюдения за реками и выявлять источники загрязнения воды, создавать условия для того, чтобы они прекращали свое существование, для того, чтобы новые источники не появлялись, для того, чтобы водные объекты были лучше защищены от загрязнения.

Коллектив авторов

Краеведческое исследование водных объектов бассейна реки Дисна

На территории Глубокского, Поставского и Шарковщинского районов главной водной артерией является река Дисна и ее притоки. Река Дисна — второй по величине площади водосбора и водности приток Западной Двины. Она берет свое начало из озера Дисна, восточнее деревни Ужделай Игналинского района Литвы. Впадает она в р. Западную Двину с левого берега у г. Дисна.

Длина реки 178 км, общая площадь водосбора 8180 км², из которых в пределах республики — 6640 кв. км, общее падение русла реки составляет 39,8 м. Основными притоками являются: правые — Бервета (длина 34 км), Голбица (длина 63 км), Березовна (длина 42 км), Мнюта (длина 41 км), Аута (длина 47 км); левые — р. Дрисвята (длина 44 км), р. Янна (длина 48 км), р. Мащица (длина 27 км). Водосбор Дисны расположен в пределах сильно заболоченной Дисненской низменности, лишь верхняя часть его занимает среднехолмистую северо-восточную оконечность Литовско-Белорусской гряды. Средняя высота водосбора 155 м, средний уклон составляет 6,1‰. Линия водораздела имеет сравнительно плавные очертания, проходит по Свенцяным грядам и северо-восточным отрогам Литовско-Белорусской гряды, отделяя водосборы смежных рек Вилии, Березины и Ушачи. Длина водораздельной линии 535 км, коэффициент ее развития 1,67.

В пределах водосбора лес представлен смешанными породами с преобладанием хвойных. Он располагается отдельными массивами, в основном в среднем течении реки, в водосборах притоков Дрисвяты, Янки, Голбицы и в бассейне р. Шоши, наибольший из которых — лесной массив Городец. Лесистость составляет 15%. Широко распространены небольшие озера, их около 600. Озерность составляет около 3% площади водосбора. К наибольшим озерам относятся Дрисвяты, Дисна, Мядель, Богинское, Ричи, Шо, Опиварда, Оболе, Прутас и др. На водосборе Дисны проводились мелиоративные работы, в результате которых, по состоянию на 2006 г. 23,5% площади бассейна осушено. Протяженность открытой осушительной сети составляет 6990 км.

Русло реки Дисна извилистое, неразветвленное, до устья р. Берветы его ширина составляет 20–30 м, в средней части — до 40–60 м, в низовьях — более 100 м. Берега в верховьях рек крутые, высокие, на остальном протяжении — низкие, частично заболоченные. Дно реки ровное, песчаное, густо зарастающее водной растительностью. Режим реки изучался с 1925 г. на пяти постах, из которых только один пост у г. п. Шарковщина действует в настоящее время.

Исследуемый участок бассейна р. Дисна расположен на территории Глубокского, Поставского и Шарковщинского районов, на западной окраине Полоцкой



Рис. 1. Мельница на реке Мнюта в д. Городец

(Дисненской) низменности, являющейся озерно-ледниковой низменной равниной со средними абсолютными высотами 120–150 м.

По юго-западу Глубокского района проходит водораздел между бассейнами Балтийского и Черного морей. Примерно 95% стока района приходится на балтийский бассейн, 5% — черноморский. Реки в нашем районе только рождаются, они не успевают набрать свою силу.

Малые реки зарождаются в озерах и болотах на склонах Браславских и Свенцянских гряд и несут свои воды в реку Дисна, чистота которой зависит от экологического благополучия малых рек.

Малые реки не всегда были малыми. В прошлом они имели хозяйственное значение. Например, в материалах переписи населения 1895 г. только на территории Глубокского района на берегах реки Березовка сплавом леса занимались жители шести деревень. На малых реках района, Ауте — в деревне Черневичи, Мнюте (рис. 1) — в Шепелево и Плиссе, Вороновке — в Юзофово, работали водяные мельницы, на которых не только шел размол зерна, но и вырабатывалась электроэнергия.

Малая река — это часть «кровеносной системы» природы на планете Земля. Малым рекам принадлежит исключительно важная роль в биосфере и географической оболочке. Малые реки в силу своей природной уязвимости в первую очередь реагируют на хозяйственную деятельность человека — на вырубку лесов, распашку, осушение, орошение; они обладают более низкой способностью к самоочищению, быстрее загрязняются.

У малых рек — свои вполне серьезные проблемы: вырубаются леса в речных долинах, отсутствуют очистные сооружения на множестве мелких ферм, застроены прибрежные зоны, беспощадно распашаны поймы, перегорожены «глухими» плотинами русла. Все это ведет к укорачиванию, обмелению и даже к исчезновению многих сотен малых водотоков. Не надо забывать о том, что именно эти малые реки питают более крупные, известные всем.

Водные объекты Беларуси и их состояние

Вся территория нашей страны покрыта озерами и пронизана речной сетью, как будто кровеносными сосудами (рис. 2). В Беларуси насчитывается более 20 тыс. рек, общая длина рек и ручьев составляет около 90 тыс. км.

К крупным рекам, имеющим длину более 500 км, относятся Березина, Неман, Сож, Припять, Западная Двина и Днепр; 42 реки имеют длину от 101 до 500 км (общая длина 7,2 тыс. км).

Обычно, говоря о реках Беларуси, мы в первую очередь представляем себе достаточно крупные, например Днепр, Неман... На самом деле именно малые реки составляют основу речной сети Беларуси. Только рек длиной от 10 до 100 км насчитывается 1441, а их суммарная длина составляет 31 тыс. км.

Первое представление о реках Беларуси можно составить, взглянув на карту Беларуси и обратив внимание на направление течения наших рек. Одни крупные реки текут на север, к Балтийскому морю, другие — на юг, туда, где раскинуто свое воды Черное море. И несмотря на то, что наша страна не имеет прямого выхода к морю, ее территория относится одновременно к бассейнам двух морей — Черного и Балтийского. Черноморско-Балтийский водораздел делит Беларусь на две почти равные части. Около 58% территории Беларуси относится к бассейну Черного моря. Сюда входят водосборы Днепра, Березины, Сожа и Припяти. К бассейну Балтийского моря относятся водосборы Западной Двины, Немана и Западного Буга, что составляет 42% от всей территории Беларуси.

Большинство из крупных рек, текущих по Беларуси, начинаются за ее пределами. Лишь немногие из них берут начало на просторах Беларуси. Однако наша страна славится обилием болот, озер и родников, дающих жизнь множеству малых рек и ручьев, без которых крупные реки не смогли бы стать такими могучими и налиться своей силой. Большинство наших рек своей длиной не превышают и 100 км.

Принадлежность рек к разным бассейнам и равнинность водоразделов с давних времен способствовали строительству судоходных каналов. Крупнейшими среди них являются Днепровско-Бугский, Августовский, Огинский, Микашевичский каналы, Березинская и Вилейско-Минская водные системы.

Самым крупным и важным по хозяйственному значению является Днепровско-Бугский канал. Он соединяет реку Пина (приток Припяти, Черноморский бассейн) и реку Мухавец (приток Буга, Балтийский бассейн). Протяженность канала 196 км, включая канализованные участки рек Пина и Мухавец. Строительство канала велось еще в XVIII–XIX вв.

Речные системы Немана и Вислы соединяет Августовский канал, часть которого расположена в Польше, а часть — в Гродненской области. Его общая протяжен-



Рис. 2. Гидрографическая сеть Беларуси

ность 102 км, из них на территории современной Беларуси — 22 км. Августовский канал — это система озер, прудов, канализированных рек и протоков. Он был построен в начале XIX в. для перевозки грузов. Но сейчас, после строительства железных и автомобильных дорог, он уже потерял свое транспортное значение, однако его привлекательность по заслугам оценена туристами.

Еще одна важнейшая система каналов — Вилейско-Минская водная система. Она перебрасывает воду из Вилии (бассейн Балтийского моря) в Свислочь (бассейн Черного моря). Эта система была спроектирована для водоснабжения столицы Беларуси — Минска. Этот крупнейший город нашей страны расположен на водоразделе между бассейнами Черного и Балтийского морей в верхнем течении реки Свислочь, которая не смогла бы обеспечить Минск питьевой водой и водой для технических нужд. Для решения этой проблемы и была создана Вилейско-Минская водная система. Она начала строиться в 1968 г. и к 15 января 1976 г. была готова.

В Вилейско-Минскую водную систему входит Вилейское водохранилище — главное в системе и самое крупное в Беларуси. Канал из Вилейского водохранилища, по которому забирается вода в Заславское водохранилище, имеет протяженность 62,5 км. На трассе канала расположены пять насосных станций, которые по четырем трубопроводам поднимают вилейскую воду на водораздел и

перекачивают ее в Заславское водохранилище. Этот канал пересекает реки и ручьи, холмы и долины, и все это лишь для того, чтобы напоить жителей Минска чистой водой. За один год он может перебрасывать до 480 млн м³ воды.

Заславское водохранилище, или Минское море, принимает из канала вилейскую воду. Водоохранилище было создано еще в 1956 г., но при строительстве Вилейско-Минской водной системы оно получило свое второе рождение. Была проведена очистка его дна, приведены в порядок пляжи, заново благоустроена прилегающая территория. Площадь Заславского водохранилища 31 км², длина 10 км, наибольшая ширина 4,5 км, а наибольшая глубина 8 м. Объем воды в водохранилище 108 млн км³.

Водоохранилища Криница и Дрозды расположены ниже Заславского, уже на реке Свислочь. За водохранилищем Дрозды начинается Комсомольское озеро, которое находится уже в черте города Минска.

По каскаду водохранилищ на Свислочи вилейская вода поступает в Минск. Здесь часть ее используется на нужды города, а оставшаяся далее течет по Свислочи в Березину.

Таким образом, в результате ввода Вилейско-Минской водной системы улучшилось водоснабжение промышленности Минска, но при этом Вилия потеряла часть своей воды и стала менее полноводной.

Озера неравномерно расположены по территории Беларуси. Северная часть страны богата «голубыми жемчужинами» и именно этим привлекает туристов. Здесь лежит земля, издревле называемая Поозерье.

А на юге страны расположена по-своему интересная земля — Полесье. Это край лугов, дремучих лесов и непроходимых болот.

На территории Беларуси насчитывается более 10 тыс. озер, общая площадь которых составляет 1,6 тыс. км². Все озера отличаются по площади, глубине и происхождению.

Среди озер, как и среди рек, преобладают малые, площадь которых не превышает 0,25 км². Кроме того, есть 470 озер, средних по своей площади (более 0,5 км²). К крупным озерам с площадью более 20 км² можно отнести только 10 белорусских озер. Среди них и наше самое крупное озеро — Нарочь, площадь которого составляет 79,6 км².

Многие наши озера расположены близко друг к другу, связаны протоками и образуют озерные группы. Наиболее известными среди них являются: Браславская группа, включающая более 30 озер общей площадью 113 км²; Нарочанская группа из четырех озер площадью около 100 км²; Ушачская группа из 60 озер площадью около 75 км². Все они расположены на территории белорусского Поозерья. Здесь большинство крупных озер имеют ледниковое происхождение, таких около 1900.

Белорусское Полесье — второй озерный район республики. Здесь местность низинная и болотистая, встречаются озера-старицы и карстовые озера.

Старичные озера представляют собой небольшие участки древних русел рек, которые отделились от современных рек. Они имеют обычно удлиненную, неред-

ко серповидную форму. Некоторые из озер этой группы интенсивно зарастают. Наибольшее количество таких озер расположено в поймах рек Днепр и Припять. В бассейне Днепра встречаются болотные озера, расположенные среди торфяных массивов.

Изредна на территории Беларуси встречаются *карстовые озера*. Они характерны для тех территорий, где под землей залегают осадочные породы, например мел или известняк, которые могут легко растворяться в воде. Такие озера имеют воронкообразную форму и большую глубину. Встречаются такие озера в основном на Полесье.

Преимущественно там же можно увидеть так называемые остаточные озера. Они сохранились со времен более высокой водности, когда большую часть пространства Полесья занимало огромное озеро. С тех пор вода ушла, а в некоторых низких местах остались озера меньшего размера. К озерам этого типа относятся Червоное, Выгонощанское, Споровское и др.

Кроме природных водоемов, на территории Беларуси много искусственных — водохранилищ и прудов. Они создаются для разных хозяйственных целей: водообеспечения промышленных предприятий и населения питьевой водой, орошения полей, благоустройства территории, рыбоводства, отдыха местных жителей, получения гидроэлектроэнергии. Водоохранилища и пруды отличаются между собой по объему воды. Объем водохранилищ превышает 1 млн м³, а пруды содержат менее 1 млн м³ воды.

На территории республики расположено 153 водохранилища с общей площадью зеркала 822 км². Основные искусственные водоемы находятся в районе Белорусского Полесья и принадлежат бассейнам рек Припять (55) и Днепр (47). Крупнейшие водохранилища: Вилейское (площадь 63,8 км²) на реке Вилия, Заславское (26,9 км²) на реке Свислочь, Краснослободское (23,6 км²) на реке Морочь, Солигорское (23,1 км²) на реке Случь, Любанское (22,5 км²) на реке Ореса, Чигиринское (21,2 км²) на реке Друть и др.

Прудов на территории Беларуси создано примерно в 10 раз больше, чем водохранилищ. Сейчас их насчитывается свыше 1500. Используются пруды преимущественно для местного водообеспечения сельских населенных пунктов и предприятий, регулирования водного режима мелиорационных систем и выращивания рыбы.

Озера и пруды являются главными «накопителями проблем» малых и крупных рек. Именно сюда стекают по рекам загрязнители и именно здесь загрязнения накапливаются, а проблемы проявляются наиболее ярко. Например, «цветение» воды наиболее характерно в Беларуси для озер и прудов, хотя причиной тому является поступление соединений биогенных элементов в эти экосистемы вместе с потоком воды малых и крупных рек. Дело в том, что периметр (длина береговой линии) озера или пруда очень мал по сравнению с береговой линией всех рек с их притоками, которые впадают в этот водоем. Соответственно, рени имеют больше возможностей, пробегая через сельскохозяйственные и урбанизированные территории, собрать оттуда биогены. С другой стороны, пруд, сделанный

на реке или ручье, выступает естественным очистным сооружением, где оседает большое количество загрязняющих веществ.

Кроме крупных водных объектов, о которых уже написано много, есть еще и родники. Традиционно родниковая вода считается самой чистой. Нет ничего более приятного, чем утолить жажду родниковой водой, да и приготовленные на ней чай, кофе имеют совершенно другой вкус. Однако наши белорусские криницы часто спрятаны в глухих лесах и найти их непросто. А те родники, которые встречаются в населенных пунктах, уже не могут похвастаться чистотой своей воды.

Родники являются типичным компонентом белорусской природы. Обычно они дают начало небольшим родниковым ручьям с холодной прозрачной водой, а иногда и целым рекам. Большинство их можно встретить на берегах рек и озер, а также у подножья холмов. Они нужны для поддержания хрупкого природного баланса. Часто в родниках обитают уникальные для Беларуси виды водных животных, обычно встречающиеся в холодных водоемах севера и горных районов Центральной и Южной Европы. Вокруг родников часто можно встретить редкие виды растений, в том числе включенные в Красную книгу Беларуси.

В Беларуси родники издавна являются местными источниками чистой питьевой воды. Часто такая вода используется в религиозных и языческих обрядах, а также применяется в лечебных целях. С криницами связаны многие народные легенды и поверья.

Родники относятся к поверхностным водным объектам, обладающим особыми свойствами, и имеют для природы Беларуси важное значение. Поэтому защита родников так же важна, как и охрана рек и озер. Однако начиная с середины прошлого века количество родников в Беларуси в силу различных причин (мелиоративные мероприятия, вырубка лесов, строительные и дорожные работы и др.) довольно резко и повсеместно снижается. Кроме того, человеческое стремление «облагородить» каждый найденный родник также приводит к тому, что эти уникальные природные объекты теряют свою ценность для природы и не приобретают нормального статуса источника питьевой воды.

Все родники можно разделить на нисходящие и восходящие. В Беларуси последний тип встречается редко, например «Голубая криница», расположенная в Славгородском районе. Это самый большой родник в Беларуси. Он выносит на поверхность земли до 5 тыс. т воды в сутки. Эта вода поднимается с глубины почти 200 м и формирует на поверхности озеро, поверхность которого в солнечный день удивляет своим бирюзовым цветом.

Питание нисходящих источников, к которым относится преобладающее количество родников в нашей стране, происходит за счет поступления воды с верхних водоносных горизонтов, расположенных в толще холмов. Такие родники могут быть сезонными и/или ритмично действующими. Количество воды в них зависит от количества выпадающих атмосферных осадков на данной местности и мощности водоносных горизонтов. Качество воды зависит от того, насколько хорошо защищены водоносные горизонты. В некоторых случаях загрязнения, например нитраты, легко проникают в воду таких родников. Поэтому вокруг них

нужно особенно тщательно соблюдать требования санитарных норм и строго поддерживать зоны санитарной охраны.

Самым крупным родником (криницей) такого типа является родник Болцик (до 1,5 тыс. т в сутки), расположенный в Национальном парке «Нарочанский». Диаметр его ключей (грифонов) достигает в диаметре более 1 м.

Родники являются самыми малыми водоемами и поэтому особенно уязвимы к действию различных неблагоприятных факторов. Одним из последствий этого является резкое снижение числа родников, которое вызывается несколькими главными причинами:

- 1) механическое уничтожение родников в результате гидромелиоративных работ, жилищного, промышленного и дорожного строительства, вырубки лесов, распашки земель и иных причин, приводящих к разрушению водопорных горизонтов верхних водоносных слоев;
- 2) пересыхание родников и ухудшение качества их воды как следствие снижения уровня подземных вод. Для некоторых родников отмечается повышенное содержание нитритов и нитратов. Наибольшему загрязнению подвержены родники, расположенные в населенных пунктах;
- 3) непрофессиональное обустройство родников. В большинстве случаев такое «благоустройство» сводится к установке вертикальных бетонных труб или колодезных колец или сооружению массивных железобетонных конструкций на месте выхода родника. Такие сооружения приводят в большинстве случаев к повреждению водоносных слоев. Снижение водообмена внутри кольца приводит к застояванию воды, заилению и в конечном итоге к полному исчезновению родника.

Родники — это «родители» и «кормильцы» ручьев и рек. Однако не стоит забывать и то, что часто криница, призванная пополнять воды реки и разбавлять загрязненный речной поток своей кристально чистой водой, сама, питаясь из загрязненных подземных горизонтов, становится источником загрязнения. Так, речная вода содержит нитрат-ион на уровне от 0 до 3 мг/л, тогда как некоторые родниковые ручьи имеют концентрацию нитрат-иона 250–500 мг/л. Таким образом, сохраняя родники и защищая их от загрязнения, мы делаем первый шаг к чистоте и полноводности наших рек и озер.

Наши малые реки и озера, несмотря на свои размеры, имеют «взрослые» проблемы, с которыми часто не могут справиться самостоятельно. Считается, что эти проблемы связаны с нашим образом жизни и с тем, какую деятельность ведет человек на всем их водосборе. Многое зависит от нашей культуры и технологий обращения с веществами, содержащими соединения биогенных элементов, например от того, какими стиральными порошками мы пользуемся, или от того, какие удобрения мы используем и как их применяем.

В табл. 1 представлены общие последствия воздействия хозяйственной деятельности человека на естественные водотоки.

Таблица 1. Хозяйственное воздействие на долинные ландшафты (по Е. Ю. Колбовскому, 2004)

Блок воздействий	Подсистема речного русла	Подсистема долины
Торфоразработка и мелиорация: <ul style="list-style-type: none"> • снижение доли грунтового питания; • создание искусственных русел 	<ul style="list-style-type: none"> • нарушение баланса твердого и жидкого стока • перегрузка русел насосами • укорачивание истоков 	<ul style="list-style-type: none"> • уничтожение гидрографических узлов • сведение растительного покрова • сволакивание верхнего горизонта почв
Животноводство (перевыпас): <ul style="list-style-type: none"> • разрушение берегов; • суффозия и оползни; • сброс неочищенных стоков; • повышение трофности речных вод 	<ul style="list-style-type: none"> • эрозионно-аккумулятивные осцилляции; • сползание и обрушивание в русло земляных масс • занос и заиление богатых и плесов • рост перекатов • обмеление рек • дефицит растворенного кислорода • эвтрофикация рек 	<ul style="list-style-type: none"> • разрыв связи с грунтовыми водами по плесам • ослабление дренажа участков пойм • заболачивание и закочкаривание днища долины • обеднение видового состава пойменных лугов • пастбищная дигрессия
Водное хозяйство: <ul style="list-style-type: none"> • устройство глухих плотин; • образование водоемов замедленного водообмена 	<ul style="list-style-type: none"> • торможение паводковых волн • нарушение естественного промывного режима и заиление русел рек 	<ul style="list-style-type: none"> • подтопление и заболачивание пойм
Лесозаготовка и лесосплав: <ul style="list-style-type: none"> • уничтожение русловых форм; • анаэробное разложение топляка 	<ul style="list-style-type: none"> • угнетение биоты русловых комплексов • уничтожение рыбного стада 	<ul style="list-style-type: none"> • захламливание террас и пойм отходами
Кормопроизводство: <ul style="list-style-type: none"> • заброс сенокосных угодий 	<ul style="list-style-type: none"> • захламливание русел 	<ul style="list-style-type: none"> • закустаривание пойм
Полеводство: <ul style="list-style-type: none"> • распашка пойм и террас; • химическая и механическая денудация 	<ul style="list-style-type: none"> • перегрузка русел наносами • загрязнение рек удобрениями 	<ul style="list-style-type: none"> • уничтожение естественного рельефа пойм • плоскостная и релейная эрозия

Блок воздействий	Подсистема речного русла	Подсистема долины
Урбанизация и рекреация: <ul style="list-style-type: none"> • бытовые и ливневые стоки; • свалка мусора и грязного снега; • распространение искусственных покрытий 	<ul style="list-style-type: none"> • загрязнение вод нефтепродуктами, фенолами, тяжелыми металлами • накопление донных органических илов; • формирование паводковых пиков 	<ul style="list-style-type: none"> • деградация долинного ландшафта • усиленный смыв; • загрязнение русел; • перегрузка пойм и террас строениями
Энергетика (нижний бьеф): <ul style="list-style-type: none"> • полуски регулирования; • устранение весеннего подпора; • возрастание уклона половодной волны 	<ul style="list-style-type: none"> • резкие колебания уровня грунтовых вод • угнетение биоты русел • развитие глубинной эрозии на нижних отрезках течений • перестройка продольного профиля 	<ul style="list-style-type: none"> • развитие суффозионных полупирков и оползней выплывания • разрушение коренных и пойменных берегов • формирование нового пойменного уровня • осуходоливание пойм
Энергетика (верхний бьеф): <ul style="list-style-type: none"> • подпор низовий рек 	<ul style="list-style-type: none"> • замедление водообмена на устьевых отрезках рек • перестройка продольного профиля (заиление) 	<ul style="list-style-type: none"> • затопление пойм • заболачивание надпойменных террас

Все проблемы взаимосвязаны. Строительство мелиоративных каналов призвано улучшить гидрологические, почвенные и агроклиматические условия. Это нужно для повышения эффективности использования земельных и водных ресурсов, для получения высоких и устойчивых урожаев сельскохозяйственных культур. И если эффективность использования земельных ресурсов при этом возрастает, то для водных ресурсов во многих случаях усугубляются экологические проблемы. Строительство мелиоративных каналов, которые несут «высачивающуюся» из почвы верховодку — дренажные воды — от переувлажненных полей к рекам, позволяет увеличивать на водосборе береговую линию речной сети, которая соприкасается с сельскохозяйственными угодьями, а следовательно, собирает с полей избыточные пестициды и удобрения. Попадание пестицидов в воду вызывает уничтожение живых организмов, обитающих в каналах и реках. А просачивание вод, содержащих удобрения, приводит к увеличению стока в озера соединений биогенных элементов. И если для рек, ручьев и озер обычно есть водоохранные зоны, на которых существуют ограничения для ведения сельскохозяйственных работ, то на берегах каналов традиционно располагаются поля и луга, на которых выпасают скот. Чем больше удобрений вносится на такие угодья и чем гуще сеть каналов, ручьев и малых рек их опутывает, тем сильнее поступление биогенных элементов в природные воды и тем сильнее проявление проблемы эвтрофицированности водоемов.

Биогенные элементы азот и фосфор существуют в природе в доступных для растений формах. И это во многом определяет плодородие почв, нормальное функционирование водных сообществ. Эти элементы «путешествуют» в своих естественных круговоротах. Проблемы начинаются тогда, когда в водных объектах или на поверхности почвы появляются соединения этих элементов в избытке, то есть в таком количестве, когда природный объект не успевает их включить в круговорот или когда какое-то звено круговорота по каким-то причинам не успевает провести через свою стадию избыточные вещества. В водоемах такая проблема называется **эвтрофикацией**.

Все озера ученые делят на несколько групп. Это подразделение основано на ряде признаков, но главное при этом то, как быстро биогенные вещества поступают в водоем. Так, различают *олигатрофные озера* — водоемы с холодной прозрачной водой, в которых велико биоразнообразие, но при этом малое количество особей каждого вида. Жизнь в таких озерах кипит и у поверхности, и на дне. В них поступает малое количество биогенных элементов. Но зато кислорода достаточно во всей толще воды. Такие озера можно считать экологически благополучными.

Другие озера называют *эвтрофными*. Здесь вода прогревается у поверхности хорошо, тогда как придонные ее слои холодные. В таких озерах наблюдаются вспышки «цветения» водорослей — увеличение скорости образования растительной биомассы. В придонном слое таких озер можно найти зоны с пониженной концентрацией кислорода, а в некоторых местах на дне разложение донных отложений идет в бескислородных условиях, при этом выделяется токсичный газ с запахом тухлых яиц — сероводород. Поэтому некоторые зоны дна таких озер представляют собой практически безжизненную пустыню.

Также различают и другие виды озер и водохранилищ по их трофическому статусу, но для нас сейчас это неважно, так как большинство водоемов Беларуси можно назвать эвтрофными. И с этой проблемой нужно бороться, снижая поступление соединений биогенных элементов в природные воды.

Эвтрофикация — это переход олиготрофного водоема в эвтрофный — повышение трофического статуса озера или водохранилища. Без вмешательства человека — это нормальный природный процесс. Так происходит старение озер. Но естественный процесс старения может занять сотни лет, а антропогенная эвтрофикация заставляет озеро стареть, а иногда и умирать очень быстро — часто всего за пару десятков лет.

Повышение содержания биогенных элементов в верхних слоях воды вызывает бурное развитие плавающих в воде водорослей — фитопланктона, а также растений, обитающих на небольшой глубине. В связи с этим интенсивно развивается и зоопланктон, питающийся фитопланктоном.

В результате такого развития организмов в верхнем слое воды его прозрачность резко снижается. Солнечные лучи уже не могут проникать на большую глубину, и это ведет к постепенной гибели донных растений от недостатка света. После отмирания донных водных растений наступает черед гибели прочих организмов, которым эти растения создают места обитания, или тех, кто питается этими растениями.

Летом во время цветения водорослей верхний слой воды мало прозрачен и поглощает значительное количество солнечной энергии. Из-за этого он хорошо прогревается, тогда как нижний слой воды имеет низкую температуру. За счет разности плотностей холодной и теплой воды происходит расслоение всей толщи воды — возникает так называемый термоклин. Это зона соприкосновения двух слоев воды: теплой и холодной. Можно сказать, что теплая вода плавает на поверхности холодной воды, словно разлитое подсолнечное масло. Говоря проще, термоклин — это резкое изменение температуры воды с увеличением глубины. В некоторых случаях температура может понижаться больше чем на 10 градусов всего за полметра глубины. Как правило, термоклины возникают в водоемах со спокойной водой, таких как карьеры, пруды и озера. И наоборот, в тех водоемах, где часты ветры, поднимающие большую волну, термоклин формируется реже.

В тех же водоемах, где летний термоклин сформирован, происходит и еще одно явление. Верхняя более теплая и более богатая кислородом вода не смешивается с более глубокой и бедной кислородом. Таким образом, верхний слой воды препятствует насыщению кислородом нижнего слоя.

С наступлением более холодной погоды имеет место противоположный эффект. Нехватка солнечного тепла вынуждает разогретый поверхностный слой воды отдавать тепловую энергию обратно окружающему воздуху. Эта вода становится более холодной, а значит и более плотной. Она погружается на уровень, находящийся непосредственно под ней. При этом происходит и поступление кислорода в более глубокие слои. Но такие явления обычно происходят только весной и осенью. А летом для донных живых организмов эвтрофного озера наступают тяжелые времена.

В верхнем слое эвтрофного озера тоже не все так благополучно. Водоросли, сильно размножившиеся здесь, имеют огромную суммарную поверхность тела и биомассу. В ночные часы кислород они не выделяют, а лишь поглощают в процессе дыхания. В результате этого в предутренние часы теплых дней кислород в верхних горизонтах воды оказывается практически исчерпанным и наблюдается гибель обитающих в этих горизонтах и требовательных к содержанию кислорода организмов (происходит так называемый «летний замор»).

Кроме того, существует и еще один интересный эффект, связанный с развитием водорослей. При большом поступлении в водоем соединений фосфора обычно за одно лето происходит две вспышки их цветения. Первая вспышка цветения связана с тем, что биогенных элементов много и их хватает всем группам водорослей. После того как биогенные элементы все «съедены», водоросли отмирают и опускаются на дно, где происходит разложение их останков. При этом азот и фосфор опять возвращаются в воду в виде своих соединений. Некоторые микроорганизмы в среде, обедненной кислородом, могут переводить нитраты в молекулярный азот, забирая себе кислород. А азот при этом улетает в атмосферу. Этот процесс называется денитрификацией. А вот фосфор остается в воде.

Для начала второй вспышки цветения водорослей нужно опять наличие и азота, и фосфора. Но азота в воде теперь очень мало, а фосфора достаточно. Такое положение дел не устраивает большинство водорослей. Поэтому во второй вспышке принимают участие в основном сине-зеленые водоросли, которые умеют поглощать нужный им азот прямо из воздуха. При этом кроме неприглядного вида и экологических проблем вода в водоеме становится еще и токсичной для многих живых организмов, в том числе и для рыбы, и для людей.

Опускание на дно мертвых клеток водорослей и зоопланктона приводит к тому, что на глубине накапливается значительное количество органических останков. Здесь, в придонном слое, происходит их разложение. Для этого процесса нужен кислород, однако его на глубине и так почти нет, потому что донные растения угнетены или исчезли совсем. Те мизерные остатки кислорода, которые попадают сюда за счет перемешивания, интенсивно поглощаются бактериями для разложения органических останков. Недостаток кислорода еще больше усугубляет экологическую катастрофу в придонном слое — ведет к гибели требовательной к кислороду донной и придонной фауны. Лишь немногие виды могут здесь выживать, да и то при условии отсутствия сероводорода, который может образовываться в донном грунте, лишенном кислорода. Здесь идет анаэробный распад отмерших организмов с образованием таких сильных ядов, как фенолы и сероводород, и столь мощного «парникового газа» (по своему эффекту в этом плане превосходящего углекислый газ в 120 раз), как метан.

В результате всех этих процессов эвтрофикация уничтожает большую часть видов животных и растений водоема, практически полностью разрушая или очень сильно трансформируя его экосистемы, и сильно ухудшает санитарно-гигиенические качества его воды, вплоть до ее полной непригодности для купания и питьевого водоснабжения.

К возникновению термоклина и появлению других проблем, часто усугубляющих эвтрофикацию, приводит и связанный с эрозией почвы вынос песка и гли-

нистых частиц с полей. Этот процесс также связан с понижением прозрачности воды и расслоением ее по температурному признаку.

Также вынос твердых частиц приводит к возникновению наносов и обмелению русла малых рек. В свою очередь зарегулированность стока малых рек приводит к тому, что во время паводков количество воды не бывает настолько большим, чтобы «чистить» русло реки от песчаных наносов и иловых отложений. Так реки мелеют и зарастают.

Содержание в воде частиц глин, мелкозернистого песка, ила, микроорганизмов или частиц торфа, иначе говоря взвеси, приводит к возрастанию рассеивания длинноволновых лучей света, и цвет воды приобретает коричневые оттенки. Вот почему так резко отличаются по прозрачности иногда даже близкорасположенные реки. Но если бы на этом все только и заканчивалось. Мутность вод может самым негативным образом сказываться и на жизни рыб. Научкой уже давно доказано, что увеличение мутности воды играет большую роль в жизнедеятельности рыб. Многие виды из нашей фауны способны выдерживать большую мутность, но непродолжительное время. При постоянном нахождении в неестественно мутных водах происходят изменения в способах и эффективности питания рыб, ограничивается их поле зрения. При интенсивном заиливании грунта рыбы лишаются присущей им кормовой базы — различных видов донных насекомых и их личинок, которые погибают от недостатка кислорода. Такие проблемы приводят к замедлению роста рыбы.

Взвесь, содержащаяся в воде, попадает в жабры рыб и затрудняет их дыхание. Даже при хорошей насыщенности воды кислородом рыбы с трудом могут его поглощать из воды за счет того, что жабры забиваются и повреждаются частичками песка. Для некоторых рыб заиливание рек мешает нересту или плохо влияет на выживаемость мальков за счет того, что большое количество ила «съедает» кислород из воды.

С антропогенной эвтрофикацией и эрозией почв по берегам рек помогают бороться водоохранные зоны, которые организовываются по всей береговой линии. Ширина водоохранной зоны может колебаться. Она зависит от многих факторов. Важно то, что в этой зоне нельзя применять удобрения и пестициды, нарушать целостность покрова многолетних трав, распахивать почву и выпасать скот. Это та зона, которая призвана защитить реки и озера от поступления в них соединений биогенных элементов, задержать унесенные водой частицы грунта, снизить влияние человеческой деятельности на территории водосборного бассейна на водные объекты. Защищая такие зоны от посягательств, можно очень помочь реке.

Еще одна проблема — загрязнение природных вод органическими веществами. Так же, как и биогенные элементы, органические вещества всегда присутствуют в природной воде водоемов. Их концентрации могут быть иногда очень малы, например в родниках или талых водах ледников. Но часто в нашей зоне в речной и озерной воде органических веществ достаточно много. Природными источниками органических веществ являются разрушающиеся останки организмов растительного и животного происхождения, как живших в воде, так и попавших в водоем с листья, по воздуху, с берегов и т. п. С этими вещества-

ми микроорганизмы легко справляются, запуская их в естественный круговорот углерода.

Органические вещества находятся в воде в растворенном, коллоидном и взвешенном состояниях. Все они непрерывно переходят из одного состояния в другое. Кроме того, органические вещества легко адсорбируются на твердых частицах и в тончайшей пленке воды, которая отделяет водную среду от воздушной. На интенсивность этих переходов влияют физические, химические и биологические факторы.

Состав и концентрации органических веществ в природных водах определяются совокупностью многих процессов, различающихся по своей природе и скорости. Так, на содержание органики влияют посмертные и приниженные выделения гидробионтов, поступления веществ с атмосферными осадками и с поверхностным стоком в результате взаимодействия атмосферных вод с почвами и растениями на поверхности водосбора, поступления из других водных объектов, из болот, торфяников, поступления со сточными водами.

Кроме природных, существуют также техногенные источники органических веществ: транспортные предприятия (нефтепродукты), целлюлозно-бумажные и лесоперерабатывающие комбинаты (лигнины), мясокombинаты (белковые соединения), сельскохозяйственные и фекальные стоки и т. д. И в этих случаях часто загрязнение становится настолько интенсивным, что природная способность водоемов самоочищаться не успевает бороться с загрязнениями.

Органические загрязнения попадают в водоем разными путями, главным образом со сточными водами и дождевыми поверхностными смывами с почвы.

В естественных условиях находящиеся в воде органические вещества разрушаются бактериями. При этом на окисление потребляется растворенный в воде кислород. Бактериями умеют питаться несколько групп животных, которые еще и не требовательны к содержанию в воде кислорода. Например, к таким животным относятся черви-трубочники, которые могут обитать даже в сточных канавах. Там, где в донном иле много трубочника, практически отсутствуют другие виды животных, которые могут существовать в воде с большей концентрацией растворенного кислорода.

Биохимическое окисление разных органических веществ происходит с разной скоростью. Некоторые из них относят к легкоокисляемым — «биологически мягким». Другие разрушаются медленно. Их относят к группе «биологически жестких» веществ. Есть и те вещества, которые занимают промежуточное положение.

В связи с развитием промышленности и использованием в быту огромного количества органических веществ, разных по своим свойствам и составу, в последнее время в природные воды поступает значительно большее количество средне- и трудноокисляемых веществ. К таким веществам относятся, например, нефтепродукты, химические вещества, входящие в состав стиральных порошков.

Нефтепродукты относятся к числу наиболее распространенных и опасных веществ, загрязняющих поверхностные воды. Большие количества нефтепродуктов поступают в поверхностные воды при перевозке нефти водным путем, со

сточными водами предприятий нефтедобывающей, нефтеперерабатывающей, химической, металлургической и других отраслей промышленности, с хозяйственно-бытовыми водами. Для наших малых рек большинство этих источников нефтепродуктов неактуальны. Однако расположение машинных дворов и мойка автомобилей на берегах рек — это также источники загрязнения.

При попадании в воду нефтепродукты могут перейти в разные формы. Они могут быть растворенными в воде, находиться в виде эмульсий (мельчайшие капельки нефти распределены в воде или наоборот, капельки воды распределены в нефти), они могут быть сорбированы на твердых частицах взвесей и донных отложений. Но чаще всего мы их замечаем в виде радужной или темной пленки на поверхности воды.

Обычно в момент соприкосновения с водой вся масса нефтепродуктов сосредоточена в пленке. По мере удаления от источника загрязнения происходит перераспределение нефтепродуктов в воде.

Нефтепродукты в воде — это проблема для всех. Их неблагоприятное воздействие сказывается различными способами на организм человека, животный мир, водную растительность, физическое, химическое и биологическое состояние водоема. Вещества, входящие в состав нефтепродуктов, оказывают токсическое и в некоторой степени наркотическое воздействие на организм, поражая сердечно-сосудистую и нервную системы. Некоторые из этих веществ обладают канцерогенными свойствами.

Нефтепродукты обволакивают оперение птиц, поверхность тела и органы других гидробионтов, вызывая заболевания и гибель. Для растений они тоже опасны, особенно в случае образования пленок. Это связано с тем, что они могут покрывать поверхность растений, препятствуя нормальному обмену веществ. Кроме того, покрывая тонкой пленкой поверхность воды, они ухудшают условия для проникновения кислорода в воду и поглощают часть солнечного излучения.

Те воды, куда попадает сброс сточных вод, или те, куда загрязненные органическими веществами сточные воды попадают с поверхностным стоком, например после мытья машин, как правило, обеднены кислородом и могут содержать микроорганизмы, опасные для человека.

Морфологическое описание водных объектов

Вода, занимая 71% поверхности Земли, является самым обильным и ценным ресурсом. Мировые запасы воды огромны — около 1389 млн км³. Если распределить их поровну, то на каждого жителя планеты пришлось бы по 280 млрд л. Однако 97% водных ресурсов приходится на долю океанов и морей, в которых вода слишком соленая. Оставшиеся 3% — пресные воды.

Из всей пресной воды человечество может использовать лишь 0,003%, так как она либо сильно загрязнена, либо залегает на больших глубинах и ее нельзя извлечь по приемлемым ценам, либо содержится в айсбергах, полярных льдах, в атмосфере и в почве.

Вода находится в постоянном круговороте. Этот естественный процесс рециркуляции происходит до тех пор, пока потребление воды не становится интенсивнее, чем восполняются ее запасы, и пока не изменяется качественный состав воды.

Поверхностные воды — пресные воды, стекающие с определенной территории в ручьи, озера, болота и водохранилища. Территория, с которой в главную реку и ее притоки стекают поверхностные воды, с которыми могут поступать наносы и загрязняющие вещества, называется водосбором, или водосборным бассейном.

Часть атмосферных осадков просачивается в землю и накапливается там в виде почвенной воды, заполняя поры почвы и грунта. В конечном счете большая часть почвенной влаги испаряется и возвращается в атмосферу.

Часть воды под влиянием силы тяжести перемещается вглубь и заполняет поры и трещины в слоях песка, гравия и песчаника. Зона, в которой водой заполнены все поры, называется зоной насыщения. Водопроницаемые, насыщенные водой отложения называются водоносными горизонтами, а находящаяся в них вода — **грунтовой водой**. Если темпы забора воды из водоносного горизонта превышают темпы ее накопления, грунтовые воды превращаются из медленно возобновимого в невозобновимый ресурс в пределах человеческой жизни.

Река — водный поток, текущий в естественном русле и питающийся за счет поверхностного и подземного стока с их бассейнов.

Известный русский ученый Л. И. Мечников (1924) писал: «основной причиной зарождения и развития цивилизации являются реки. Река во всякой стране является как бы выражением живого синтеза, всей совокупности физико-географических условий; те же условия увеличивают или уменьшают ее пластическую или разрушительную мощь».

Реки по характеру течения и географическому положению делятся на *равнинные* и *горные*. Равнинные реки отличаются от горных более медленным течением и широкими долинами.

По площади водосбора и расходу воды реки делятся на *большие, средние и малые*. Наиболее распространены в Беларуси малые реки с длиной русла более 10 км, которые протекают в неглубоких широких долинах с плавными склонами. Они имеют небольшие наклоны водной поверхности, небыстрое течение. В районах возвышенностей долины рек более выражены, течение у них быстрое. Многие реки Беларуси протекают по болотам или имеют значительные заболоченные пространства в составе своих водосборов.

Совокупность водотоков и водоемов в пределах какой-либо территории носит название **гидрографической сети**, в которую также включаются болота, каналы и родники. Современная гидрографическая сеть сформировалась в результате длительных и сложных процессов, происходивших на Земле на протяжении многих миллионов лет. Водоемы и водотоки, ставшие первососновой гидросферы, под влиянием геологических, климатических и других факторов изменяли свои размеры, исчезали в одних районах и появлялись в других, трансформировались, умирали и вновь рождались. Изменения в строении гидрографической сети происходят и в настоящее время вследствие замедленных тектонических движений земной коры, эволюции водоемов, а также водохозяйственной деятельности человека. Частью гидрографической сети является **руслевая сеть**, представляющая собой совокупность всех водотоков в пределах рассматриваемой территории.

Самое верхнее звено — **ложбины стока** — эрозионные образования, впоследствии занесенные толщей покровной породы. По ним происходит сток атмосферных осадков и плоскостной смыв частиц грунта.

Слияние ложбин приводит к образованию следующего звена русловой сети — **лощин**. Вследствие более сосредоточенного размыва они имеют более высокие и крутые склоны. На дне их образуются **овраги, рвы** и т. д.

Суходолы являются переходным звеном к речным долинам и имеют асимметричное поперечное сечение. У суходолов хорошо выражен береговой и донный размыв, вызывающий появление извилистости русла.

Слияние суходолов приводит к образованию **речных долин** — относительно узких, вытянутых в длину, обычно извилистых углублений в земной поверхности с наличием русла современного потока, имеющих общий уклон от верховьев к низовьям. Речные долины не пересекают друг друга, а, встречаясь, сливаются в одну общую систему. Речные долины обычно подразделяют на две группы: **беспойменные** и **пойменные**, заливаемые речными водами во время разливов рек.

Верхние звенья гидрографической сети — **ложбины, лощины** и **суходолы**, занимающие более 90% ее длины, являются областями формирования жидкого и твердого стоков постоянных и временных водотоков. А нижние звенья — различные типы речных долин — в основном являются путями транспорта жидкого и твердого стока.

Часть русловой сети, состоящая из отчетливо выраженных русел постоянных водотоков, называют **речной сетью**. Большая ее часть состоит из очень мелких и малых рек; больших и очень больших немного не только по числу, но и по длине.

Совокупность рек, сливающихся вместе и выносящих свои воды в виде общего потока, называют **речной системой**. Иначе говоря, речная система включает в себя главную реку и большое количество притоков, т. е. рек, впадающих в нее прямо или посредством других.

Притоки, непосредственно впадающие в главную реку, называются **притоками первого порядка**, их притоки — **притоками второго порядка** и т. д. Выделение главной реки должно основываться на ее многоводности, направлении, величине и характере долины, а также длине и площади бассейна.

Основным элементом речной долины (рис. 3) является **русло** — наиболее пониженная часть, по которой происходит сток воды в межпаводочные периоды.

Долина — вогнутая, линейно вытянутая форма рельефа, образованная деятельностью реки и имеющая уклон в направлении ее течения.

Исток реки — место, ниже которого появляется постоянное русло потока. Истоком реки могут быть родники, болото, озеро.

Устье — место впадения реки в другую реку, озеро, пруд, море.

Территория, с которой река получает водное питание, называется **водозбором**, или **водосборной площадью**.

Уровень волны в реке колеблется. Часть речной долины, которая затопливается в половодье или во время паводков, называется **поймой**. Пойма делится на *прирусловую*, *центральную* и *притеррасную* части. На прирусловой части поймы может быть хорошо выраженный прирусловый вал, образовавшийся в результате оседания твердых частиц во время половодья.

Русла рек редко бывают прямыми (рис. 4). Вода воздействует на горные породы берегов, размывает их, меняя свое русло и снося течением массы твердых веществ. Таким образом формируются **перекаты** — мелководные участки реки, часто имеющие вид вала, сложенного рыхлыми отложениями и пересекающими русло, и **плесы** — участки русла реки, более глубокие по сравнению с выше и ниже расположенными.

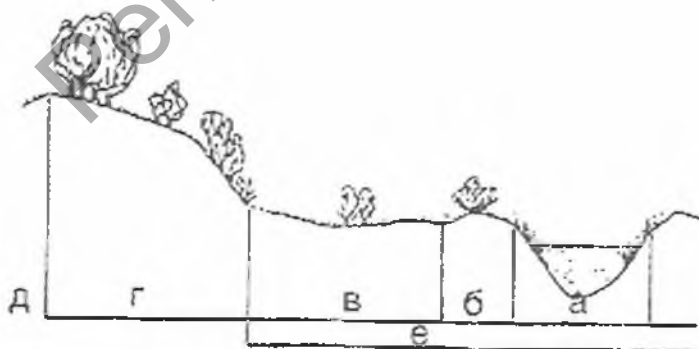


Рис. 3. Строение речной долины: а — русло, б — предрусловый вал, в — пойма, г — пойменная терраса, д — водораздел, е — речная долина

Элементами реки могут быть также рукава (протоки) и старицы. **Рукав** — ответвление русла реки. **Протока** — ответвление реки, отходящее далеко от основного русла. Ширина, глубина в протоке обычно меньше, чем в основном русле. В протоках часто сильно развита водная растительность. Нередки случаи, когда на малых реках протоки и основные русла практически не различаются между собой. **Старица** — полностью или частично отделившийся от реки участок ее прежнего русла.

Остров — часть поймы, ограниченная рукавами или протоками реки (образован эрозивной деятельностью потока), или осередок, закрепленный растительностью и устойчивый к размыву.

В различных условиях (в зависимости от структуры горных пород, образующих берег, скорости течения) река может формировать **затоны** — длинные непроточные заливы реки, образованные из старицы, протоки или отделенные от основного русла косой, отмели — мелкие участки реки, **пляжи** — широкие песчаные полосы в прирусловой части реки.

Одним из важнейших факторов, обеспечивающих состояние реки, является размыв речных берегов водными потоками.

Размывы берегов — природный процесс, свойственный любой реке. Скорость размыва колеблется от долей метра до десятков метров в год, изменчива от половодья к межени, от года к году в зависимости от стадии развития процесса, который возникает, активизируется, затухает, прекращается и вновь возобновляется.

Размывы берегов рек — отражение взаимодействия речного потока и русла реки и постоянных переформирований (деформаций) последнего. Одновременно с ними наблюдается накопление наносов у противоположных берегов. Р. С. Чалов (1986) отмечает, что интенсивность размыва зависит от угла подхода потока к берегу: чем он больше, тем больше скорость размыва.

Скорость размыва берегов зависит от их геологического строения и высоты уступа (чем выше, тем меньше интенсивность размыва): при увеличении высоты с единицы длины размываемого берега в русло поступает большее количество наносов, что снижает размывающую способность потока.

Неоднородность геологического строения берегов — причина не только неодинаковых темпов их отступления, но и возникновения выступающих в русло мысов. У пойменных берегов также мысы связаны с пещинами — выступами в основании береговых откосов, сложенными плотными глинами, они соответствуют ложбинам на пойме, в которых шло накопление ила. Чередование пещин с отрезками берега, сложенного песками (они соответствуют гривам на пойме), обуславливает фестончатую линию берега (чередование выступов и углублений), а в прибрежной зоне потока — возникновение водоворотов, в которых происходит усиление размыва берега.

Изменения условий размывов берегов рек, их активизация и увеличение протяженности зон происходят под влиянием хозяйственной деятельности. Регулирование стока рек водохранилищами сопровождается 2–3-кратной активизацией размывов берегов ниже плотин. Со временем этот процесс может затухать по мере формирования нового типа потока.



Рис. 4. Схема речного русла: а — коренное русло, б — правый берег, в — левый берег, г — пляж, д — затон, е — коса, ж — остров, з — старица

Активизация размывов берегов происходит под влиянием мостовых переходов и других сооружений в русле и на берегах. Пересечение пойм дорожными насыпями, намыв пойменных территорий, возведение дамб обвалования уменьшают разливы во время половодья вплоть до полной концентрации потока в пойменных берегах. В связи с тем что пропускная способность естественного русла с поймой меньше, чем расход половодья, происходят размывы его дна и берегов. Сами берегоукрепительные сооружения могут провоцировать размывы берегов на ниже расположенных участках реки: закрепляя берег и ликвидируя его размыв, они тем самым создают дефицит наносов, который компенсируется размывом берегов ниже по течению.

Особое место занимают урбанизированные участки рек. Здесь даже при слабых размывах возникает угроза разрушения береговых объектов, усугубляющаяся

несогласованностью воздействий на реку как самих инженерных объектов, так и мероприятий по защите берегов от размыва.

Ручьи — небольшой постоянный или временный водоток обычно шириной от нескольких дециметров до нескольких метров. Зачастую длина ручья составляет до 1 км, а глубина редко превышает 1,5 м, однако четкой границы между ручьем и малой рекой нет. Скорость ручьев, как правило, достаточно велика (несколько м/с). Ручьи образуются от стока дождевых, талых вод или при выходе на поверхность подземных вод. Ручьи чаще всего впадают в реки или озера.

Канал — искусственный наземный водоток с безнапорным движением. Каналы по назначению делятся на *энергетические* (гидросиловые), *мелиоративные* (оросительные, осушительные), *водопроводные* (обводнительные), *лесосплавные*, *судоходные*, *рыбоводные*. По химическому составу вода каналов идентична воде исходящего водоема (озера, водохранилища, пруда).

Озера — водоемы в естественных углублениях суши, не имеющие одностороннего уклона.

Каждое озеро состоит из трех взаимно связанных составных частей:

- 1) котловины — формы рельефа земной коры;
- 2) воды и растворенных в ней веществ — части гидросферы и
- 3) растительного и животного населения водоема — части живого вещества планеты.

На основании трофности озера Беларуси делятся на *мезотрофные*, *эутрофные* и *дистрофные*.

Водоохранилище — искусственный водоем, образованный водоподпорным сооружением на водотоке с целью сохранения воды и регулирования водного стока. Создаются в соответствии с потребностями различных отраслей промышленности, сельского хозяйства, ЖКХ, водного транспорта. Имеют полный объем воды более 1 млн м³ и площадь водной поверхности более 1 км². Химический состав воды в целом зависит от состава воды рек, наполняющих водохранилище.

Водоохранилища отличаются друг от друга параметрами (площадью зеркала, объемом, длиной, шириной, глубиной), конфигурацией, характером регулирования, назначением, характером и степенью воздействия на природу и хозяйство прилегающих районов, технико-экономическими показателями и т. п. Вместе с тем они имеют и общие черты: почти все водохранилища образуются путем подпора рек плотинами (лишь некоторая часть образована путем обвалования участков территории дамбами с самотечной или механической подачей воды извне); большинство водохранилищ предназначается для регулирования естественного стока рек в целях комплексного использования водных ресурсов; для всех водохранилищ (за исключением тех из них, в состав которых вошли крупные естественные озера) характерны возрастание глубины по направлению к плотине, весьма замедленные по сравнению с рекой водообмен и скорость течения воды, неустойчивость летней термической и газовой стратификации и некоторые другие особенности.

Создание водохранилищ и регулирование ими стока значительно преобразует естественный гидрологический режим реки, что влечет изменения и многих других природных процессов. Эти изменения проявляются по-разному в верхних (выше плотины) и нижних (ниже плотины) бьефах гидроузлов. В первую очередь это относится к режиму уровней воды.

По гидрохимическим и гидробиологическим особенностям водохранилища ближе к озерам, чем к рекам. Затопленные почвы, размыв берегов, торфяники, растительность пополняют воду водохранилищ азотом, фосфором, железом, органическими веществами. Вследствие обогащения воды органическими веществами увеличивается содержание углекислоты и уменьшается количество растворенного кислорода. Наблюдается тенденция к увеличению солености, связанная с режимом регулирования и с загрязнением сточными водами.

С созданием водохранилищ изменяется режим движения наносов. Характер и размеры этих изменений зависят от многих факторов: размеров, очертания в плане, величины сработки и степени проточности водохранилища, количества и крупности наносов, приносимых рекой, масштабов переработки берегов, режима течений и волнения.

Крупные водохранилища рассчитываются на заилиение в течение нескольких столетий, тем не менее в практике гидростроительства известны случаи очень быстрого их уничтожения наносами. Борьба с заилиением водохранилищ можно путем уменьшения эрозии и твердого стока в его бассейне и своевременного сброса наносов из водохранилищ через специальные грязеспуски.

Водоохранилища — очень сложные объекты. С одной стороны, водохранилища нужны: для обеспечения орошения и обводнения новых земельных массивов и повышения водообеспеченности поливных земель; для водоснабжения промышленных предприятий, населенных пунктов, ТЭЦ, АЭС; для организации зон отдыха и спорта вблизи городов и курортов⁴ для использования гидроэнергоресурсов⁴ для предотвращения наводнений. С другой стороны, создание водохранилищ осложняется нежелательными последствиями, вносимыми ими в природу и хозяйство территорий, на которых они создаются.

Во-первых, водохранилища являются одним из крупных «потребителей» земли. В настоящее время только у нас в стране под водохранилища изъято 0,5% площади сельскохозяйственных угодий. В зону затопления попадают и леса, и недра, и населенные пункты.

Во-вторых, со строительством плотин изменяется не только гидрологический режим реки, о чем мы уже говорили, но и весь комплекс природных условий на прилегающих к водохранилищам территориях (повышается уровень грунтовых вод, понижаются летние и повышаются зимние температуры воздуха, усиливается ветровая деятельность, повышается влажность воздуха, изменяется растительность и животный мир и т. д.).

Поэтому при проектировании и обосновании целесообразности создания водохранилищ необходимо в полной мере учитывать все положительные и отрицательные последствия для природы и хозяйства не только в период заполнения и в первые годы эксплуатации водохранилищ, но и в прогнозируемой перспек-

тиве. Последствия создания водохранилищ должны учитываться и в прилегающих районах, и на удаленных территориях.

Пруды — искусственные водоемы с площадью акватории до 1 км². Создаются с разнообразными целями водонакопления в долинах рек, на месте бывших нарьеров. По гидрологическим характеристикам схожи с водохранилищами.

Эти водоемы представляют собой наилучший объект для школьных экологических исследований. Они легкодоступны, на них сравнительно легко можно организовать натурные наблюдения без дорогостоящего оборудования и транспорта. Кроме того, режим существования этих малых антропогенных водоемов, химический состав их вод, условия существования водных растений и животных самым непосредственным образом связаны с деятельностью человека на водосборе и экологической обстановкой на его берегах.

Современное состояние прудов Беларуси, особенно располагающихся в черте населенных пунктов, крайне неудовлетворительно. Берега многих водоемов разрушены эрозийными процессами. Травянистый покров нарушается за счет многочисленных тропинок и дорожек, организованных помимо дорожек с твердым покрытием. Водоемы захламливаются строительным и бытовым мусором, наблюдается сильное цветение воды. По урезовым и прибрежным линиям прудов наблюдаются плавающие и затопленные посторонние предметы. Примыкающие участки береговой линии зарастают сорными травами, ко многим водоемам отсутствуют организованные спуски. Толщина донных отложений, состоящих из органического ила и ила, образованного за счет оседания на поверхности водоемов городской пыли, колеблется от нескольких сантиметров до полутора, двух, а иногда и более метров. Из-за неправильной эксплуатации водоемов нарушен их уровеньный режим. Зачастую территория, прилегающая к водоему, подтоплена вследствие завышенного уровня воды. Это происходит в результате засорения водосборного устройства бытовым мусором (пластиковыми пакетами, бутылками, ветками и др.). Некоторые пруды, наоборот, начинают пересыхать вследствие падения уровня грунтовых вод, а также за счет сокращения поверхностного стока, который перехватывается ливневой канализацией.

Родники являются одним из самых притягательных объектов природы. Сила этого притяжения имеет глубокие исторические корни. Вода в них всегда была чище воды любых других поверхностных источников. Человек с древних времен пользовался родниками. И продолжает пользоваться до настоящего времени.

С точки зрения гидрогеологии родники (ключи, источники) — это естественные выходы подземных вод на поверхности (рис. 5). Подземные воды чаще всего пробиваются на поверхность в холмистой местности, образуя родники на склонах. В равнинных областях они находят выход в зонах эрозии — по берегам рек и склонам оврагов.

Родники могут быть самостоятельными водными объектами. Нередко они дают начало ручьям и речкам. Например, с родников начинаются реки Кривуля, Старишовка в Каменецком, Лесная Левая и Ясельда в Пружанском, Сервечь в Барановичском районах. А реки Щара, Федоска в Ивацевичском, Вислица в Пинском, Сервечь, Молчадка, Деревянка в Барановичском, канал Жегулянский в Бере-



Рис. 5. Схема образования родника: а — место выхода

зовском, Лесная в Брестском, озера Гать и Басины, водохранилище Кутовщина в Барановичском, Страдечское в Брестском и многие другие подпитываются родниковой водой.

Согласно Водному Кодексу Республики Беларусь (статья 74), родник является малой рекой и его охрана осуществляется в порядке, установленном для малой реки.

Родники бывают трех типов — лимнокрены, реокрены, голокрены.

Лимнокрен — небольшой бассейн площадью до 6 м^2 с песчаным дном, с практически незаметным течением и прозрачной водой.

Реокрен — водоток небольшой протяженности, обычно характерный для возвышенностей. Такие родники имеют медленное течение и дают начало ручьям и рекам.

Голокрен — выход подземных вод на плоскую земную поверхность с глубиной бассейна не более 10–20 см. Вода такого родника мутноватая.

Родники могут питаться верховодкой, грунтовыми и артезианскими водами. В первых двух случаях образуются так называемые *нисходящие родники*, вытекающие из рыхлых отложений вниз по склону. В местах рассеянного выхода подземные воды увлажняют склон долины на всем протяжении водоносного пласта, нередко образуя заболоченные полосы с характерной влаголюбивой растительностью.

По особенностям режима все родники подразделяются на *постоянно*, *сезонно* и *ритмически действующие*. Наибольшим постоянством отличаются восходящие источники, питающиеся артезианскими водами. Резкие колебания дебита (вплоть до иссякания) характерны для источников, питающихся верховодкой. **Верховодка** — это неглубоко залегающие (до нескольких метров) подземные воды. Запас воды в верховодке очень мал, а качество ее низкое. Родники, питающиеся из верховодки, весьма распространены, их можно повсюду наблюдать весной на склонах местности, по берегам рек, при разработке траншей, котлованов и т. д. Летом они быстро иссякают. Для хозяйственно-питьевого водоснабжения такие родники непригодны.

В зависимости от глубины долины и количества чередующихся водоносных и водоупорных пластов родники могут выходить на разной высоте по склону мест-

ности. Такое расположение родников встречается по берегам крупных рек, в крупных оврагах, долинах рек.

Восходящие родники, которые образуются при выходе артезианских вод, истекающих на поверхность по трещинам в твердых породах, наиболее надежны в санитарном отношении. Они питаются из глубинных (100–500 м) хорошо защищенных водоносных пластов.

Химический состав воды родников разнообразен. Родники, представляющие собой выходы подземных вод, продвигавшихся на сравнительно небольшом расстоянии в труднорастворимых породах — кварцевых песках, в коре выветривания кристаллических пород, чаще всего дают ультрапресные воды с ничтожно малым плотным остатком, состоящим почти наполовину из кремнезема. Если на пути вод встречались органические отложения (торфяники и др.), то в них наблюдаются органические вещества. Родники, вытекающие из кислых изверженных пород (граниты и т. п.), отличаются наличием углекислого натрия, а родники, берущие начало в средних изверженных породах, — углекислого кальция и магния; из горных пород, богатых железом, вытекают родники, в которых присутствие железистых соединений чувствуется на вкус. Родники, берущие начало в известняках, обладают высокой жесткостью. Наличие в породах пирита, марказита или кристаллов серы обуславливает в родниковых водах присутствие сероводорода. Естественно, что наличие в горных породах легкорастворимых солей ведет к появлению соленых и рассольных родников.

Флора родников бедная и представлена, в основном, аиром обыкновенным, манником наплывающим и другими злаковыми. Степень зарастания родников от 0 до 1, однако отдельные равнинные родники имеют степень зарастания 3–4. Для родников характерно обитание ряда беспозвоночных, например жуков-плавунцов, водолюбов (Рындевич, 2004).

Причин истощения или исчезновения родников может быть немало: вырубка леса, нарушение почвенно-растительного покрова в зоне питания родника, пересечение водного пласта при строительстве, осушение местности, в результате которого понижается уровень подземных вод, и т. д. Истощение нередко сопровождается ухудшением качества воды, более того, родники могут стать даже источниками инфекционных заболеваний.

Восстановить и обогатить небольшие родники иногда удается и более простыми способами. Прежде всего посадкой деревьев и посевом трав вокруг родников и в зоне их питания, восстановлением ранее нарушенной поверхности земли, даже просто огораживанием забором или зеленой изгородью мест выхода. Сохранность и чистота родников во многом зависит и от их своевременного и грамотного инженерного обустройства — сооружения водозаборов (наптажей) и отводящих труб или лотков.

Изучение любого водного объекта необходимо планировать заранее. На подготовительном этапе важно определить цели и задачи исследования.

Целью исследований может быть получение информации, связанной с конкретной проблемой состояния водного объекта или его берегов, и последующее

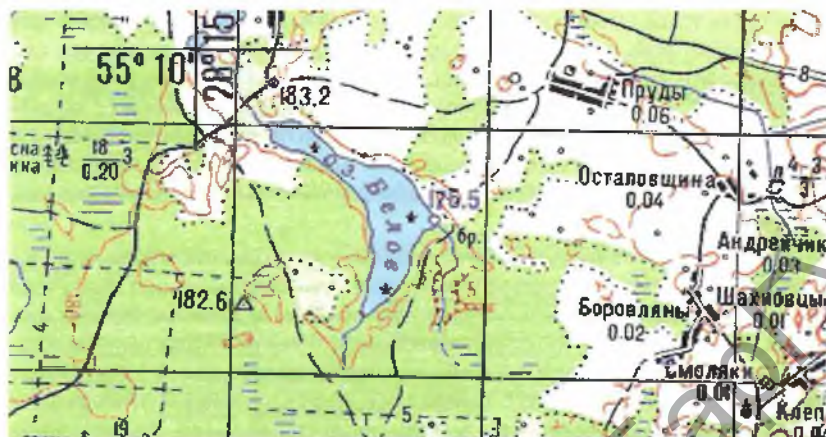


Рис. 6. Топографическая карта

представление этой информации для заинтересованных сторон (общественности, государственных органов), направленное на разработку и принятие мер по улучшению ситуации. Необходимо помнить также об образовательной и воспитательной функциях полевых исследований и активных действий по охране природы в развитии детей и подростков, а также взрослых. Практическое применение выводов и результатов, полученных во время исследований, поможет им осознать важность их работы и вовлечь их в экологически значимую деятельность и активную социальную жизнь.

Выбор водного объекта обычно связан с целями исследования, одними из главных аргументов в пользу выбора того или иного объекта являются его расположение, доступность и актуальность, важность исследования.

Для предварительного анализа ситуации очень важно и полезно собрать всю доступную информацию о предполагаемом объекте исследований. Прежде всего, вам понадобится карта исследуемой территории, например показанная на рис. 6.

Если нет топографической или географической карты, можно использовать карты-схемы землепользования или лесных угодий, на которые нанесены водные объекты. Масштабы карт-схем обычно бывают от 1:10 000 (в 1 см — 100 м) до 1:150 000 (в 1 см — 1,5 км), что делает их очень удобными для маршрутных обследований. Такие карты-схемы могут находиться в местных исполнительных комитетах, куда вам стоит обратиться за помощью.

Подобранные карты и схемы необходимо перекопировать на кальку и раскопировать. На каждой копии обязательно должны быть указаны:

- название объекта исследований;
- масштаб;
- направление север-юг;
- названия нанесенных на карту населенных пунктов, рек, водоемов.

Копии и надписи на них должны быть выполнены простым карандашом или шариковой ручкой, потому что надписи, выполненные гелевыми ручками или фломастерами, легко размываются дождем или случайно брызнувшей водой. Карандаш лучше, так как им удобнее писать в полевых условиях и он не размывается. Желательно, чтобы у каждого члена экспедиции был свой *полевой дневник*, в который (тоже карандашом или шариковой ручкой) записываются результаты наблюдений. Таким полевым дневником может быть небольшой блокнот.

Информация об исследуемых объектах собирается и по печатным изданиям. Полезно также просмотреть публикации местных газет за предыдущие годы — это поможет вам узнать историю исследуемого объекта, возможные события, повлиявшие на его состояние, позиции местных жителей и государственных органов. Информация об исследуемом объекте может содержаться не только в книгах и журналах, но и в отчетах о работе каких-либо организаций, занимающихся, например, природоохранной деятельностью (заповедники, национальные парки, службы охраны окружающей среды). Много важной информации можно получить из личных бесед с людьми, хорошо знающими ваши места. Соберите интересные исторические сведения, легенды, сказки, в которых упоминается ваш водный объект.

По выбранным параметрам определяют методы исследования и необходимое оборудование.

При разработке программы исследования важно помнить о возрасте группы исследователей, учитывать трудность или легкость доступа к объекту и другие факторы.

Необходимо продумать обеспечение безопасности всех видов работ. Каждый из участников группы должен узнать и запомнить основные правила поведения у воды до начала исследований. Во время проведения исследований необходимо иметь при себе медицинскую аптечку.

Начальный этап работ на водном объекте — рекогносцировочное обследование, позволяющее получить предварительную картину экологического состояния. На данном этапе проводится только визуальное обследование без использования каких-либо приборов и инструментов.

Визуальное обследование объекта осуществляется для получения первоначальной общей картины экологического состояния водного объекта, для выбора пунктов наблюдения.

При выборе маршрута необходимо заранее определить предполагаемые точки сбора информации. Обычно точки обследования располагаются на расстоянии 1–3 км друг от друга, при наличии сильного загрязнения — 0,4–0,7 км. В каждой точке обследования берут 3–4 пробы на расстоянии 2–3 м друг от друга.

Обследование объекта проводится в течение 2–4 дней. Наилучшее время для работы — первая и вторая декады июня, дополнительное обследование можно проводить в начале сентября. Полевой дневник оформляется на месте работы. В него включают следующую информацию.

1. Дата наблюдения.
2. Тип и название водного объекта, координаты зоны обследования.
3. Описание прилегающей территории, тип хозяйственного использования.
4. Оценка состояния прибрежно-водной растительности (нормальное, нарушенное, деградированное).
5. Наличие и обилие высшей водной растительности (используя табл. 2):

Таблица 2. Характеристика водной растительности

Балл	Характеристика обилия
0	Растительность редка, с незначительным покрытием
1	Проективное покрытие менее 5%
2	Проективное покрытие 6–25%
3	Проективное покрытие 26–50%
4	Проективное покрытие 51–75%
5	Проективное покрытие более 75%

6. Описание грунта на дне и берегу водного объекта (песчаный, илистый, глинистый).
7. Общая характеристика:
 - 7.1. Цвет воды.
 - 7.2. Запах (присутствие/отсутствие, если есть — идентифицировать, например «рыбный», «гнилостный», «болотный»).
 - 7.3. Наличие/отсутствие плавающих на поверхности воды скоплений водорослей, пены.
8. Наличие/отсутствие обрастаний на подводных предметах. Описание обрастаний: цвет, форма, обилие.
9. Оценка влияния деятельности людей на экологическое состояние водоема. Для этого можно использовать опрос местных жителей, специалистов промышленных и сельхозпредприятий. Необходимо зафиксировать наличие пленки нефтепродуктов, скопление мусора на берегу. Составление карты-схемы водного объекта в зоне обследования, на которую наносятся потенциально опасные участки, включающие промышленные предприятия, сельхозобъекты, склады, свалки мусора, места отдыха людей.
10. Оценка возможности охраны водоема на обследуемом участке.

Первичное обследование водоохранной полосы

При наблюдении за водным объектом важна оценка состояния водоохранной полосы — прилегающей к акваториям территории, на которой устанавливается специальный режим хозяйствования для предотвращения загрязнения, засорения и истощения вод, нарушения водных и прибрежных биологических комплексов.

При первичном обследовании водоохранной полосы рекомендуется провести следующие работы.

1. На карте-схеме водного объекта необходимо отметить ключевые участки.
2. Оценить экологическое состояние ключевых участков:
 - 2.1. Наличие мусора на водной поверхности (нормальное состояние — при отсутствии любого мусора, нарушенное — при наличии бытового мусора, деградированное — при наличии бытового и строительного мусора).
 - 2.2. Состояние береговой линии (нормальное — при отсутствии визуальных признаков нарушения береговой линии, нарушенное — если имеются разрушенные участки береговой линии, деградированное — если естественная береговая линия уничтожена).
 - 2.3. Состояние травяного покрова (нормальное — если отсутствуют визуальные нарушения, нарушенное — при наличии признаков вытаптывания, выгорания, деградированное — при развитии процессов эрозии).
 - 2.4. Состояние древесно-кустарниковой растительности (нормальное — при отсутствии визуальных нарушений, нарушенное — при наличии сломанных ветвей, деградированное — при выявлении гибели растительности, многочисленных стволовых повреждениях).
3. На карте-схеме обследуемой территории указать размещение потенциально опасных объектов, возможные пути поступления в реку загрязняющих веществ.

Определение морфологических характеристик реки (по Шкаликову, 2004)

Измерение длины реки

Длину реки рекомендуется измерять по крупномасштабным картам (1:10 000; 1:25 000; 1:50 000; 1:100 000).

Измерение длины реки производится циркулем или курвиметром. При определении циркулем устанавливают постоянный его раствор 1 или 2 мм и периодически

ски этот раствор проверяют. Предварительно на листе плотной бумаги прочерчивают тонкую линию длиной 30–50 мм и по этой линии несколько раз проходят циркулем, получая, соответственно, 30–50 отложений при регулировании микровинтом положения раствора в 1 мм.

Реку на карте разбивают на отдельные участки в соответствии с образцами извилистости. Степень извилистости каждого отрезка оценивают путем сравнения на глаз с образцами извилистости.

Измерение коэффициента извилистости реки ($K_{изв}$)

Коэффициент извилистости представляет собой отношение фактической длины реки или ее участка L , км, определяемой с учетом извилистости, к длине прямолинейной линии e , соединяющей исток и устье или начало и конец участка:

$$K_{изв} = \frac{L}{e}.$$

На отрезках значительной извилистости река имеет широкую пойму. В таких местах чаще бывают старицы. Это лучшие участки для изучения пойменных лугов. Необходимо иметь в виду, что в местах значительного меандрирования скорость течения воды уменьшается.

Определение уклона реки

С увеличением уклона реки увеличивается и скорость течения воды. На участках с небольшим уклоном при слабом течении возможно значительное распространение водной растительности, сильнее меандрирование реки.

Для определения уклона реки находят высотные отметки уровня воды в реке по отдельным ее участкам. Разность высотных отметок в начале H_1 и в конце участка H_2 называется падением реки ΔH . Отношение падения к длине участка L дает средний уклон реки i на данном участке:

$$i = \frac{H_1 - H_2}{L} = \frac{\Delta H}{L}.$$

Уклон обычно выражается в виде десятичной дроби, иногда в промилле (т. е. в тысячных долях) и в процентах. Для выражения уклона в промилле дробь умножают на 1000, в процентах — на 100.

Описание русла реки и русловых образований

Ширина реки (расстояние между урезами воды) определяется рулеткой, мерной лентой или визуально.

Ширину небольшой реки можно измерять при помощи метода шагов (рис. 7).

1. На противоположном берегу выберите какой-либо объект *A* (дерево, камень и т. п.).
2. Встаньте против него (точка *B*), отметьте камнем или палкой эту точку и идите вдоль берега перпендикулярно линии *AB*. Сделав определенное количество шагов (например, 30), отметьте рейкой точку *C*.
3. Пройдите еще такое же количество шагов в том же направлении и отметьте на берегу новую точку *D*.
4. Теперь, двигаясь перпендикулярно линии *BD*, найдите точку *E*, из которой предмет *A* и рейка в точке *C* будут видны на одной прямой. Расстояние *DE* и будет равно ширине реки (т. е. расстоянию *AB*).
5. Измерьте (в метрах) длину вашего шага и умножьте ее на количество шагов, уместающихся в отрезке *DE*. Так вы получите ширину реки в метрах.

Глубину (среднюю и наибольшую) следует указывать отдельно на перекатах и плесах. Измеряют глубину рейкой или лотом, описывают дно реки (подводную часть русла), определяют характер слагающих его грунтов (чаще это песок, ил), особенности рельефа (ровный, неровный, с ямами и др.).

Все измерения необходимо увязывать с отдельными ориентирами на берегу. Можно обобщить отдельные измерения, отмечая, например, пределы колебания глубины, высоты берега между отдельными населенными пунктами.

При обследовании русла следует отмечать:

- а) очертание русла в плане — его извилистость и разветвленность;
- б) русловые образования;
- в) проточные озера;
- г) скорость течения реки;
- д) подпор, распространение его по длине реки;
- е) засоренность, зарастаемость.

Извилистость реки (степень извилистости ее направления) и разветвленность русла (разделение его на рукава и протоки) определяют на карте с уточнением на конкретных участках реки.

По извилистости реки (их участки) подразделяются на *относительно прямолинейные* и *меандрирующие*. Прямолинейные реки (или их участки) почти не изменяют своего направления и имеют лишь плавные и большие излучины. Меандрирующие часто меняют направление. По характеру меандр (излучин) они могут быть *умеренно извилистыми* (меандры сравнительно редки и с достаточно плавными очертаниями), *извилистыми* (меандры встречаются часто, но не имеют обратного расположения по отношению к направлению реки), *сильно извилистыми* (меандры непрерывно следуют друг за другом и многие

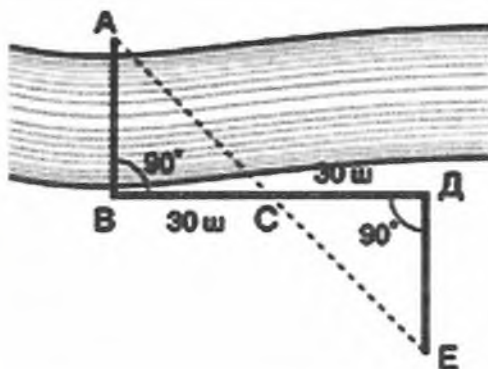


Рис. 7. Определение ширины реки методом шагов

из них с обратным направлением течения; перешейки между излучинами короткие, имеют староречья).

Для меандрирующих рек отмечают не только частоту излучин, их вид, но и размеры (длину, радиус, кривизну), протяженность перешейков между меандрами.

В отношении разветвленности выделяют русла:

- *неразветвленные* (острова отсутствуют или очень редки, размеры их незначительны по сравнению с шириной русла);
- *умеренно разветвленные* (острова довольно часты, но длина их не превышает 3–5-кратной ширины русла; основное русло резко выделяется от рукавов своей многоводностью; последние обычно короткие и не образуют сложной водной системы);
- *сильно разветвленные* (представляют сплошную систему рукавов и притоков самой разнообразной длины, ширины и глубины; некоторые из них имеют значительное протяжение и далеко отходят от основного русла; много островов и осередков, различных по очертанию).

Характеристика разветвленности русла, помимо общей ее оценки, должна включать данные об островах, рукавах, притоках, староречьях, заливах, их местоположении, размерах (длина, ширина), берегах. Для островов желательно дать сведения о рельефе поверхности, слагающих грунтах, растительности, затопляемости, а для остальных указанных образований — данные о глубинах, скоростях течения, грунтах дна, зарастаемости водной растительностью, засоренности.

Дно реки характеризуют изменяемостью его поверхности в поперечном и продольном направлениях. Определяют и слагающие его грунты.

Поверхность дна оценивается визуально: ровная — глубины плавно изменяются; неровная — глубины распространяются неравномерно; очень неровная — часты глубинные ямы, отмели, нагромождения камней, уступы и др. Случаи интенсивной деформации дна (сильные размывы или аккумуляции наносов),

происходящие обычно в половодья или при прохождении паводков, отмечают особо. Путем опроса местных жителей следует собрать сведения о том, какие участки реки наиболее подвержены этим процессам, по какой причине и как часто они бывают.

Наиболее распространенные грунты дна реки — илстые, илисто-песчаные, глинистые, песчаные, песчано-гравелистые, песчано-галечные, галечные, галечно-каменистые, каменные (камни диаметром до 0,2 м), крупно-каменистые или валунные (размеры отдельных камней более 1 м), скальные, торфянистые. Для илстых грунтов по возможности определяют мощность ила. Сведения о грунтах приводят с указанием: плес, пережат, порог.

Тип грунта следует определять по преобладающей фракции:

- валуны >100 мм
- галька 10–100 мм
- гравий 1–10 мм
- песок 0,05–1,00 мм
- пыль, глина <0,05 мм

Сложные наименования грунта, например, илисто-песчаный, песчано-галечный, применяют при неоднородном его характере.

При обследовании реки желательнее указывать наличие бродов и переправ.

При характеристике брода обязательно указывать:

- а) местонахождение брода — населенный пункт или другой ориентир, имеющийся на местности;
- б) длина — расстояние поперек реки (при прямом броде она равна ширине реки, при косом — больше ее);
- в) ширина — протяжение по реке мелководной полосы дна, в которой возможно продвижение вброд;
- г) наибольшая глубина — по поперечному, проходящему в наиболее мелководном месте через русло (в пределах ширины брода);
- д) наибольшая поверхностная скорость течения — на участке брода;
- е) характер и грунт дна;
- ж) подъезд и спуск — удобные (берега пологие или существуют дороги к броду), неудобные (берега довольно крутые или загромождены крупными валунами, дорог нет; возможен только подход к реке пешехода и др.).

Обязательно регистрируют все переправы, имеющиеся на реке, — мосты, паромы, лодочные переправы. Сведения о мостах включают: местонахождение, тип (конструкция), размеры (длина, ширина), грузоподъемность. При описании паромной переправы отмечают: местонахождение, тип парома (лодочный, баркасный, понтонный, паром на барже и др.), способ его передвижения (на тросе, на веслах, с помощью шестов, на буксире и др.). Лодочные переправы фиксируют только в тех случаях, когда они используются для регулярного сообщения через реку.

Наряду с мостами следует обследовать и другие сооружения на реке — понтоны, шлюзы, береговые укрепления, места спрямлений русла, сооружения для забора воды и т. д. Такие объекты не только должны быть осмотрены, но и путем опроса местных жителей и обслуживающего инженерно-технического персонала по ним следует собрать сведения о времени их сооружения, назначении, положительных или негативных последствиях, связанных с их устройством и работой. По возможности следует выявить технические данные сооружения.

При осмотре сооружения обязательно отмечают его местонахождение, важные особенности, включая эстетичность, а также используется (частично или полностью) или не используется оно по назначению.

Описание берегов реки

Берег реки — надводная часть русла от уреза воды (при низком уровне — меженном) до его бровки. При описании берега необходимо отмечать его ширину, высоту (превышение его бровки над уровнем воды), слагающие грунты, характер растительности. Необходимо иметь в виду, что бровки берега, т. е. линии сопряжения берега с дном долины (поймой) или гребнем берегового вала, не всегда хорошо выражены. В таких случаях высоту берега не указывают. Отмечают, что берег пологий, бровка его не выражена. Если бровки берегов хорошо выражены, то отмечают и ширину русла, т. е. расстояние между ними.

Описание берегов реки проводят параллельно с описанием русла и русловых образований. Характер берегов отмечают по отдельным, хорошо выраженным участкам (например, между населенными пунктами, устьями впадающих рек). Указывают крутизну берега, его высоту над руслом, приводят описание растительности.

По внешнему виду хорошо выраженные склоны могут быть:

- *нависшими* — подошва склона выражена отчетливо;
- *наклонными прямыми* — более или менее равна поверхности склона, пересекается с дном долины под различными углами, но подошва склона при этом ясно очерчена;
- *вогнутыми* — верхняя часть склона крутая, крутизна быстро убывает; подошва выражена нерезко;
- *выпуклыми* — верхняя часть склона сравнительно полого, ниже идет постепенное возрастание крутизны, подошва чаще выражена отчетливо;
- *сложными* — линии сложно изменяются в разных направлениях.

Подошвы крутых и обрывистых склонов иногда бывают закрыты нагромождениями осыпей, обвалов, искажающих их истинный профиль. По склонам могут наблюдаться также скопления материала, вынесенного впадающими в реку водотоками (конусы выноса), что следует отметить, характеризуя внешний вид склона.

По крутизне склоны подразделяются на *очень пологие* (угол наклона к горизонтальной поверхности менее 5°), *пологие* (5–10°), *умеренно крутые* (10–20°), *кру-*

тые (20–45°), очень крутые (45–60°), близкие к отвесным (более 60°), почти отвесные (около 90°) и отвесные (90°).

Высоту склона определяют визуально, уточняя по горизонталям на крупномасштабной карте.

Описание водоема

Начните исследование с изучения карты территории, где расположен водоем. Сделайте привязку водоема к местности, т. е. укажите, на территории какого административного района он находится, вблизи каких населенных пунктов и т. п. Определите наличие и количество притоков (если они указаны на карте), выясните, к водосбору какой реки относится ваш водоем. Если это пруд и он находится в долине реки, то укажите, какая это река.

Выполняя съемку плана водоема обходом по берегу, одновременно займитесь подробным изучением окружающей местности. Прежде всего, уточните, какие ручьи и реки впадают в ваш водоем, а какие вытекают, встречаются ли родники; опишите их и нанесите на план.

Берега водоема могут отличаться друг от друга на различных участках по составу слагающих пород, крутизне, характеру растительности. Отмечайте все особенности берегов и старайтесь давать им подробные описания. В нескольких точках, там, где хорошо выражена крутизна берега, желательно выполнить nivelирование склона и определить, чем сложен берег.

Опишите характер растительности на прилегающей к водоему территории, укажите особенности флоры и фауны. Обратите внимание и на деятельность человека на водосборе и в непосредственной близости от водоема — наличие сельскохозяйственных и промышленных предприятий, мест организованного и неорганизованного отдыха и т. п. Все описанные объекты необходимо указать на плане с помощью условных знаков.

Представление о размерах водоема дают площадь, его длина и ширина. Если в вашем распоряжении оказалась подробная карта водоема, то на стадии предварительного исследования необходимо определить его площадь S . Проще всего это сделать, если контуры озера с карты перенести на миллиметровую бумагу. В этом случае сначала определяется площадь зеркала водоема в квадратных сантиметрах, а затем пересчитывается с учетом масштаба. Также по снятой копии водоема можно определить: длину, наибольшую ширину и среднюю ширину.

Длиной водоема L называется расстояние между двумя наиболее удаленными точками на его береговой линии, измеряемое по водной поверхности. Наибольшая ширина B — это длина отрезка перпендикулярного длине в самом широком месте водоема, от берега до берега. Средняя ширина b_{cp} определяется из отношения площади водоема к его длине (S/L).

Важной характеристикой водоема является его проточность, т. е. наличие или отсутствие у него притоков и вытекающих из него рек. Если из озера или пруда вытекает река или ручей, то такой водоем называется сточным. Если сточное озеро также принимает какой-либо приток, то его называют проточным. Бесс-

точные водоемы могут иметь притоки, но сами они стока не имеют (т. е. из них ничего не вытекает). Существуют еще глухие озера, которые не принимают притоков и не дают поверхностного стока, они обычно встречаются в лесу, среди болот и невелики по размерам. Проточность во многом определяет то, как сменяется вода в водоеме — быстро или медленно, т. е. характер водообмена в водоеме. Скорость водообмена озера или пруда имеет значение для формирования качества воды в нем и его способности к самоочищению.

Если вы планируете исследовать водоем, который не нанесен на карту, то вам придется самостоятельно составить план водоема и прилегающей к нему территории, а затем по нему определить размеры озера или пруда. Имеет смысл сделать съемку плана водоема и в том случае, если вы пользуетесь достаточно старой картой местности, — за несколько десятков лет очертания и размеры водоема могли сильно измениться. Такой план будет ценным документом и, вполне возможно, понадобится не только вам.

Если вы имеете дело с совсем небольшим водоемом, например прудом, то его ширину и длину можно измерить непосредственно на местности. Для этого потребуются:

- 1) катушка с размеченным шпагатом;
- 2) несколько кольшков.

Линии длины водоема и его наибольшей ширины выбирают на глаз и отмечают кольшками на берегу. Катушку со шпагатом закрепляют в одной из точек и начинают разматывать ее, перемещаясь по берегу. В противоположном конце измеряемой линии шпагат слегка натягивают и по разметке отсчитывают длину или ширину водоема. Контуры береговой линии проводятся на глаз. По полученному таким образом плану вычисляют площадь водоема.

Измерение глубин водоема

На плане озера или пруда наметьте маршруты, по которым вы будете проводить промеры глубин. По меньшей мере, их должно быть два: один — вдоль линии длины водоема, а другой — поперечный к этой линии. Если водоем небольшой, можно наметить несколько поперечных профилей, лучше через равные промежутки.

Глубины на озерах и прудах определяют прямыми измерениями с лодки с помощью промерной рейки. Если вы изучаете небольшой пруд, то по выбранной промерной линии размеченная на деления веревка натягивается и закрепляется на берегах. Продвигаясь вдоль веревки на лодке, через определенное расстояние измеряют глубину.

Данные измерений заносят в журнал, не забывая отмечать особенности грунта и водной растительности.

Если вы работаете на таком водоеме, размеры которого не позволяют натягивать и закреплять веревки, то задача несколько усложняется, так как в этом случае важно правильно определить местоположение на плане точки измеренной

глубины. При серьезных научных исследованиях для этого используют сложные геодезические приборы.

Измерение температуры воды в водоеме важно проводить не только на поверхности, но и в глубинных слоях. При этом надо постараться свести к минимуму влияние более теплых поверхностных слоев воды при подъеме термометра вверх. Сначала необходимо выяснить глубину в месте измерения температуры и проверить, нет ли на дне камней, чтобы при опускании термометра не ударить его и не разбить. Затем термометр надо обернуть ватой для предохранения от влияния верхних слоев воды и привязать его к размеченной веревке. Термометр опускают в воду, отсчитывая глубину по разметке на веревке — нижняя часть термометра должна находиться на несколько сантиметров выше дна. У дна термометр выдерживают в течение 10 минут, а затем быстро поднимают вверх и так же быстро снимают показания.

Исследование родников проводят по следующему плану:

- 1) местонахождение;
- 2) связь родника с геологическим строением местности;
- 3) дебит;
- 4) режим по сезонам года;
- 5) качество воды (цвет, вкус, жесткость);

температура.

Дебит родника определяют при помощи 10-литрового ведра. Ручей от родника раскапывают таким образом, чтобы можно было поставить ведро. После этого замеряют время, необходимое для полного его заполнения. После этого рассчитывают расход в секунду, час, сутки.

Режим родника определяют после дождей, весной, в середине лета и осенью. Качество воды определяется через взятие проб, температура — термометром.

Биоиндикация состояния водных объектов

Для определения химического состава воды, в том числе и для выявления находящихся в ней загрязняющих веществ, можно использовать специальные аналитические приборы. С одной стороны, их использование позволит получить точные значения концентраций загрязнителей. Но приборные методы имеют и свои недостатки. Во-первых, с их помощью нельзя точно оценить, насколько полученные концентрации опасны для водных организмов и для человека. Во-вторых, они не учитывают возможного взаимодействия различных загрязняющих веществ и, в итоге, усиления воздействия. В-третьих, приборные методы оценивают качество воды на момент отбора пробы и ничего не скажут про аварийный сброс загрязненной воды неделю назад. В-четвертых, аналитические приборы достаточно дороги и сложны в использовании.

Живые организмы, обитающие в водных объектах, могут служить своеобразными «приборами», оценивающими качество воды. Их использование поможет оценить, к сожалению, только общий уровень загрязненности, мы не сможем узнать точные концентрации того или иного вещества. Зато методы биоиндикации — с использованием живых организмов — довольно просты, относительно дешевы и не требуют специального оборудования. А главное, методы биоиндикации дают комплексную оценку качества воды, учитывают взаимодействие разных загрязняющих веществ и могут помочь нам в том случае, когда источник загрязнения имеет переменную мощность или непостоянный химический состав.

Биологическая индикация — определение состояния среды по наличию или отсутствию в ней тех или иных организмов, называемых индикаторами. Биоиндикацию следует понимать как метод экологических исследований, позволяющий с помощью биологических систем с определенной точностью устанавливать основные качественные и количественные характеристики среды обитания.

Данные о качестве воды, полученные при помощи биологических методов, можно соотнести с официально принятыми показателями: классами качества воды (ККВ), уровнями сапробности. Это позволяет нам сравнивать данные, полученные при помощи приборных и биологических методов.

Можно выделить несколько универсальных реакций водных организмов на ухудшение качества воды. Прежде всего, это:

- 1) уменьшение видового разнообразия (в 2–4, а иногда и в десятки раз);
- 2) изменение обилия водных организмов.

Причем обилие может как снижаться (при очень высоком уровне загрязнения или при наличии токсичных загрязнителей), так и расти по сравнению с нор-

мальным состоянием сообщества. Этот рост объясняется тем, что в водоемах, особенно при их загрязнении органическими веществами, могут оставаться немногие, но устойчивые к загрязнению виды животных. В таких условиях они достигают очень высокого обилия.

Именно эти закономерности применяются во многих методиках биоиндикации. К их числу относятся индексы видового разнообразия и методы, учитывающие соотношение обилия разных групп водных организмов. Кроме этого, часто учитывается способность определенных групп организмов обитать в водоемах с тем или иным уровнем загрязненности.

Для объективной оценки загрязнения природного сообщества необходимы адекватные биоиндикаторы, реагирующие на комплекс загрязнителей и пригодные для выявления негативного потенциала встречающихся в окружающей среде загрязнителей.

Надо особо отметить то, что представители надвидовой систематической группы уровня рода, семейства, отряда практически никогда не обладают одинаковыми экологическими потребностями. В состав таких групп могут входить совершенно разные с точки зрения отношения к загрязнению виды: устойчивые к загрязнителям, неустойчивые, виды-универсалы, способные жить в очень широком спектре внешних условий, и т. д. Одной из распространенных ошибок является использование надвидовых таксонов как индикаторов качества воды без критического рассмотрения набора входящих в этот таксон видов.

Например: веснянки считаются индикаторами очень чистой воды. Но некоторые виды веснянок, в том числе *Nemoura cinerea* (рис. 8), обычны в мезотрофных, умеренно загрязненных водоемах. Говорить, что вода не загрязнена на основании того, что этот вид обнаружен в пробе, было бы опрометчиво.

Личинки комаров-звонцов (семейство *Chironomidae*) (рис. 9) во многих методиках используются как организмы-индикаторы сильного органического загрязнения. Реально же среди хирономид есть немало видов, обитающих только в чистых, насыщенных кислородом водоемах. Их присутствие в пробе никоим образом не говорит о загрязненности водоема органикой.

Большую роль для результатов биоиндикации состояния водоема играет выбор тех групп живых организмов, которые учитываются исследователем. Дело в том, что водные сообщества очень разнообразны и включают в себя несколько крупных экологических группировок, реакции которых на загрязнения могут серьезно различаться. Это экологические группы животных: зоопланктон, зообентос, перифитон, нектон; и растений: фитопланктон, фитобентос. Каждая группа организмов в качестве индикатора имеет свои преимущества и свои недостатки. Например, сообщества планктонных организмов (т. е. пассивно парящих в толще воды) очень быстро реагируют на любые изменения ее качества. Они представляют собой как бы «моментальный снимок» состояния водоема. Но методы биоиндикации, основанные на реакциях планктонных сообществ, применимы, прежде всего, для озер, а для рек практически не применяются.

Кроме того, организмы фитопланктона (водоросли и сине-зеленые бактерии) не обладают достаточной чувствительностью к фекальному загрязнению и тяже-



Рис. 8. Веснянка *Nemoura cinerea* Рис. 9. Личинка комара-звонца

лым металлам. Зоопланктон, в свою очередь, слабо реагирует на изменения в водоеме концентрации соединений азота и фосфора.

Организмы бентоса (т. е. обитающие на дне водоема, в толще донных осадков или в придонном слое воды) менее динамично реагируют на быстрые изменения уровня загрязненности. Зато, благодаря своему продолжительному жизненному циклу, их сообщества четко показывают изменения водной среды за длительные периоды времени.

При мониторинге пресноводных экосистем излюбленным объектом служат животные макрозообентоса. Они удовлетворяют многим требованиям к биоиндикаторам, среди которых: повсеместная встречаемость, достаточно высокая численность, относительно крупные размеры, удобство сбора и обработки, сочетание приуроченности к определенному биотопу с определенной подвижностью, достаточно продолжительный срок жизни, чтобы аккумулировать загрязняющие вещества за длительный период. Бентосные организмы, как правило, не являются хозяйственно ценными или уникальными объектами, поэтому изъятие их из водоема в исследовательских целях не наносит ущерб его экосистеме.

В Республике Беларусь для оценки состояния водных экосистем в структуре государственного мониторинга поверхностных вод используются четыре основных сообщества: фитопланктон, фитоперифитон, зоопланктон, макрозообентос.

Необходимо помнить, что в своем естественном состоянии водные объекты одного типа могут сильно отличаться друг от друга. На водную флору и фауну действуют такие показатели, как глубина водоема, наличие и скорость течения, кислотность воды, мутность, температурный режим, количество растворенной органики, концентрация соединений азота и фосфора. Эти показатели формируются как естественным образом, так и под влиянием антропогенных процессов. Поэтому для разных водных объектов в норме будет характерен разный видовой состав и обилие гидробионтов.

Необходимо отметить, что в водоемах с более чистой водой количество видов животных и растений и их обилие обычно ниже, чем в тех, где больше концентрация органических веществ, соединений азота и фосфора. Для многих водных организмов умеренный уровень загрязнения является оптимальным состоянием среды обитания.

Существуют также «виды-универсалы», обладающие высокой экологической пластичностью и способные переносить значительные колебания степени за-

грязненности водоема. Понятно, что такие виды не представляют интереса для биоиндикации.

Таким образом, можно сделать вывод, что:

- для биоиндикации необходимо выбирать надежный, проверенный метод, подходящий для данного типа водного объекта и поставленных задач;
- нужно четко придерживаться методики отбора и обработки проб;
- объем исследуемого материала с учетом требований статистики должен быть достаточно велик.

Биоиндикационную работу на водном объекте необходимо начинать после проведения гидроморфологических исследований, его описания, которое будет включать максимально точное описание его местонахождения, составление карты-схемы с указанием объектов в пределах водосбора, определение размеров (ширина и длина реки; ширина и длина береговой линии озера или пруда), протяженности, площади бассейна, уклона реки, наличия и характеристики притоков, глубины водоема, скорости течения (у реки), типа донного грунта, прозрачности воды, температуры воды у поверхности и в придонном слое, характеристику береговой линии, характер развития прибрежной и водной растительности и ее видовой состав, степень антропогенного воздействия на прибрежную зону. Если у вас есть возможность провести химические анализы воды — это никогда не будет лишним. Сравнение результатов этих анализов с данными биологических исследований может быть очень интересным.

Прежде чем начать изучение водного организма, его нужно поймать. Для работы на небольшой глубине можно применять просто круглую емкость (металлическую или пластиковую) с диаметром дна не менее 10–12 см. Емкость на дне должна иметь несколько небольших отверстий для прохода воды. Такую банку нужно, слегка покручивая, «завинтить» в дно, а потом перевернуть и вынуть вместе с грунтом.

Для сбора бентоса можно использовать плотный сачок. Диаметр входного отверстия сачка должен быть не менее 25–30 см, а длина матерчатого конуса — в 2,5 раза больше. Для изготовления сачка удобно использовать синтетическую ткань (тюль) с мелкой ячейей. Обыкновенная хлопчатобумажная марля не годится из-за своей недостаточной прочности. Место крепления матерчатого конуса к обручу сачка рекомендуется обшить полоской плотной ткани (брезентом) — это продлит срок его службы. Сачок надежно насаживается на рукоятку длиной 1,5–2,0 м. После работы в водоеме его обязательно надо хорошо просушить.

Для промывки проб грунта необходимо иметь специальное сито. Лучше всего подходят специальные зерновые или почвенные сита. Если таких сит нет, можно использовать дуршлаг или обычное сито, что менее удобно. Отверстия дуршлага обычно имеют диаметр 2 мм или более, и многие организмы при промывке теряются. Используемые в хозяйстве сита, наоборот, имеют слишком мелкие отверстия, сквозь которые плохо проходят частицы грунта.

Положив на сито порцию грунта, его нужно наполовину погрузить в воду и промывать пробу аккуратными движениями до тех пор, пока вода в сите не станет прозрачной. Оставшиеся после этой процедуры организмы вместе с не прошед-

шими сквозь сито листьями, палочками, камешками и т. д. нужно аккуратно стряхнуть в большую фотографическую кювету или пластиковый тазик (лучше светлого цвета) с 2–3-сантиметровым слоем воды.

Для дальнейшей работы вам потребуются также: легкое пластиковое ведро, пинцеты (по количеству участников), пипетка, чайная ложка, 3–5-кратная лупа, емкости для предварительной сортировки организмов (чашки Петри или мелкие баночки с широким горлом), тетрадь для записи в непромокаемой обложке. Записи в тетради необходимо вести карандашом.

Пробы при помощи банки отбираются через каждые 10 м береговой линии. При работе на реке нужно стараться отбирать пробы у обоих берегов и на середине. Для получения достоверных данных об обитателях не крупного водоема необходимо взять не менее пяти подобных проб. При исследовании реки или крупного озера (особенно если скорость течения, количество водной растительности, характер грунта и другие характеристики водоема сильно различаются в разных его частях) количество проб надо увеличить до 7–8.

При отборе проб при помощи сачка им производятся движения, похожие на движения косы при кошении травы, причем вести сачок нужно против течения. По возможности следует проводить им ближе ко дну, по зарослям водной растительности, у камней. После каждого взмаха сачок вынимается, выворачивается и пойманные организмы вытряхиваются в кювету. Если в сачок попало значительное количество грунта, его необходимо промыть на сите или в самом сачке.

Сборы водных организмов, сделанные при помощи сачка, можно дополнить экзemplярами животных, собранных на камнях и корягах, поднятых со дна водоема. При этом лучше прямо под водой положить камни в сетку сачка, иначе в процессе подъема камня многие животные могут быть утеряны.

Камни из сачка и мелкие коряги перекладывают в кювету и внимательно осматривают со всех сторон.

При работе на заросших участках водоемов скопления водных растений необходимо облавливать сачком или же извлекать растения целиком, помещать их в кювету и аккуратно собирать с них всех обнаруженных животных.

После того как организмы пойманы, нужно провести их определение, т. е. установить, к каким систематическим группам и видам они относятся. В этом вам помогут определители.

Для того чтобы начать определение водных организмов, нужно внимательно рассмотреть весь находящийся в кювете или тазике улов. Многие водные беспозвоночные довольно мелки, подолгу сидят без движения, и заметить их трудно. Замеченных животных пинцетом вынимают из кюветы и сажают в небольшие емкости с водой (чашки Петри, баночки из-под лекарств), причем разные животные (пиявки, двусторчатые моллюски, личинки насекомых) сажаются в разные баночки. Так их легче сосчитать и труднее потерять что-либо из улова. Особенно важно отсадить отдельно крупных животных (моллюсков) и хищников — они могут раздавить или съесть своих соседей. Для ловли мелких животных можно использовать пипетку, а быстро плавающих удобно отлавливать из кюветы при помощи чайной ложки.

Все полученные результаты — названия видов и количество особей — нужно записать в полевой дневник.

Если у вас нет возможности сразу подробно рассмотреть пойманных животных (например, при непогоде), улов можно сохранить в литровой банке с водой (не закрывая ее плотной крышкой). Необходимо учитывать, что выловленные животные могут погибнуть. Особенно быстро это происходит в теплую погоду.

После идентификации организмов необходимо выпустить их в естественную среду обитания.

В Республике Беларусь для оценки состояния водных экосистем в структуре государственного мониторинга поверхностных вод по гидробиологическим показателям используются:

- метод сапробиологического анализа (по планктонным сообществам и водорослям обростания);
- биотический индекс и индекс Гуднайта — Уотлея (по донным сообществам);
- индекс Шеннона (все сообщества).

В результате анализа методов биоиндикации (табл. 3), по оценке загрязнения поверхностных вод можно выделить основные достоинства и недостатки. Все методы биоиндикации широко используются для оценки антропогенного воздействия биоценоза наземных и водных экосистем. При любых неблагоприятных условиях разнообразие видов в биоценозе уменьшается, а численность устойчивых видов возрастает.

Кроме этого, методы биоиндикации имеют общие недостатки:

- численность большинства организмов имеет четко выраженную сезонность и зависит от погодных условий;
- для большинства методов требуются квалифицированные специалисты в определении видов живых организмов. Наряду с методами биоиндикации необходимо применение и метода биотестирования для выявления и оценки действия факторов (в т. ч. и токсических) окружающей среды на организм, его отдельную функцию или систему организмов.

Таблица 3. Характеристика биологических методов оценки загрязнения вод

Метод оценки	Преимущества	Недостатки
Сapрoбнoсть вoды пo пoкaзaтe- лeм пepифитoнa	Уcтaнaвливaeтcя пo видoвoмy cocтaвy индикaтopнoгo oргaнизмoв, живущих в вoдe	Пpипocтoблeниe oргaнизмoв нe cущecтвoвaнию пpи paзлич- нoгo ycлoвиe нa cpeды (зaгpязнeннocть)
Cаpрoбнoсть вoды пo oтдeльным крупным тaкcoнaм зooбeнтoсa	Пoвceмecтнoe paспpocтpaнeниe тaкco- нoв: личинки xиpoнoид (кoмapы-звoн- цa) и oлигoхeт (мaлoщeтинкoвыe чepви)	Являeтcя xapaктepиcтикoй вoднoй cpeды зa нeкoтopый пpo- мeжутoк вpeмeни и нe дaeт oцeнки нa мoмeнт иccлeдoвaния. Длeя пoлyчeния нaдeжныx дaнныx, кaк пpaвилo, пpooбoт- бopники дoлжeн нaxoдитьcя в peкe нe мeнee чeтыpeх нeдeлeй. Пpи этoм в кaждoй тoчкe пpoвoдитcя нe мeнee тpeх пoвтopныx oтбopoв
Биoтичecкий индeкс Вудивиcca	Учитывaeт чacтyю пocлeдoвaтeльнocть иcчeзнoвeния гpyпп индикaтopнoгo oр- гaнизмoв пo мepe yвeличeния зaгpяз- нeния.	Нe пoдxoдит для oзep и пpудoв. Нeoбxoдимo вьяснить, нaкaк индикaтopнoгo oргaнизмoв имeютcя в иccлeдyeмoм вoдoтoнe в зaвиcимocти oт чyвcтвительнocти к зaгpязнe- нию. Пpooиcxoдит измeнeниe видoвoй cтpуктyры бeнтocныx oргaнизмoв пo мepe пoвышeния ypoвня зaгpязнeннocти вo- дe, cлeдoвaтeльнo, нaблюдaeтcя oтмиpaниe индикaтopнoгo тaкcoнoв Пpигoдeн в пpибpeжнoй зoнe, гдe дoннaя фaунa paзнoo- бpaзнa
Индeкс Гyдaнaйтa — Уoтлeн	Иcпoльзyeтcя для oпpeдeлeния зaгpяз- нeния вoдoeмa oргaничecкими вeщe- cтвaми	Иcпoльзyeтcя для aнaлизa тoлькo мaтepиaлoв днoчepпa- тeльныx пpoб. Cлeдyeт имeть в видy, чтo измeнeния в дoн- нoгo oтлoжeннoгo пpooиcxoдит мeдлeннee, чeм мeняeтcя кaчe- cтвo вoды в вoднoй cpeдe

Метод оценки	Преимущества	Недостатки
<p>Модифицированный олигохетный индекс (Э. А. Пареле)</p>	<p>Основан на отношении отдельных семейств олигохет к общей численности всех олигохет</p>	<p>Используется только для крупных рек в условиях Русской равнины. Индекс D1 применяется для малых рек с быстрым течением и разнообразной флорой. Индекс D2 — для рек и водоемов с неблагоприятным кислородным режимом и бедным составом олигохет</p>
<p>Индекс Шеннона</p>	<p>Придает большой вес редким видам. Подходит для сравнения в тех случаях, когда не интересуют компоненты разнообразия по отдельности</p>	<p>Невозможно включить в выборку все виды реального сообщества</p>
<p>Индекс Майера</p>	<p>Подходит для любых типов водоемов. Используются организмы-индикаторы, чувствительные к различным условиям водной среды (обитатели чистых вод, организмы средней чувствительности и обитатели загрязненных водоемов)</p>	<p>Точность метода невысока</p>

Рассмотрим более подробно методы, применимые в случае проведения биоиндикации неспециалистами.

Индекс Гуднайта — Уотлея

Эта простая, но надежная методика биоиндикации используется только для определения загрязнения водоема органическими веществами. Важно помнить, что для определения значений этого индекса годятся только материалы дночерпательных проб.

Значение индекса равняется отношению количества обнаруженных в пробе олигохет (малощетинковых червей) к общему количеству организмов (включая и самих червей) в процентах.

Степень загрязнения воды органическими веществами определяется по табл. 4.

Таблица 4. Индекс Гуднайта — Уотлея

Значение индекса, %	Степень загрязнения воды	Класс качества
Менее 30	Отсутствие загрязнения	1–2
30–60	Незначительное	2–3
60–70	Умеренное	3–4
70–80	Значительное	4–5
Более 80	Сильное	5–6

Пример: В пробах отмечено 55 малощетинковых червей, а общее количество пойманных водных беспозвоночных (включая олигохет) равнялось 350. Доля олигохет, таким образом, составляет 15,7%. Значит, водоем не загрязнен органикой.

Биотический индекс Вудивисса

Один из наиболее надежных и широко используемых в мире методов биологической оценки качества воды. Относительная трудоемкость и сложность работы с его помощью окупается высокой достоверностью получаемых результатов.

Индекс Вудивисса учитывает сразу два параметра бентосного сообщества: общее разнообразие беспозвоночных и наличие в водоеме организмов, принадлежащих к «индикаторным» группам. В эти группы объединены животные, характеризующиеся определенной степенью сапробности. При повышении степени загрязненности водоема представители этих групп исчезают из него примерно в том порядке, в каком они приведены в таблице.

Этот метод оценки не подходит для озер и прудов. Оценка состояния рек проводится по 15-балльной шкале.

Чтобы оценить состояние водоема по методу Вудивисса, нужно проделать следующее:

1. Выяснить, какие индикаторные группы имеются в исследуемом водоеме. Поиск начинают с наиболее чувствительных к загрязнению индикаторных групп: веснянок, затем поденок, ручейников и т. д. — именно в таком порядке индикаторные группы расположены в табл. 5. Если в исследуемом водоеме имеются нимфы веснянок (*Plecoptera*) — самые «чуткие» организмы, то дальнейшая работа ведется по первой или второй строке таблицы. По первой — если найдено несколько видов веснянок, по второй — если найден только один.

Если нимф веснянок в наших пробах нет, ищем в них нимфы поденок (*Ephemeroptera*) — это следующая по чувствительности индикаторная группа. Если они найдены, работаем с третьей или четвертой строкой таблицы (опять же, по количеству найденных видов). При отсутствии нимф поденок обращаем внимание на наличие личинок ручейников (*Trichoptera*) и т. д.

2. Оценить общее разнообразие бентосных организмов.

Методика Вудивисса не требует определения всех пойманных животных с точностью до вида (это бывает трудно сделать даже профессионалу). Достаточно определить количество обнаруженных в пробах «групп» бентосных организмов. За «группу» принимается:

- любой вид плоских червей;
- класс малощетинковые черви;
- любой вид моллюсков, пиявок, ракообразных, водяных клещей;
- любой вид веснянок, сетчатокрылых, жуков;
- любой род поденок кроме *Baetis rhodani*;
- любое семейство ручейников;
- семейства комаров-звонцов (личинки) кроме *Chironomus sp.*;
- *Chironomus sp.*;
- личинки мошки (семейство *Simuliidae*);
- каждый известный вид личинок других летающих насекомых.

Определив количество обнаруженных в пробе групп, найти соответствующий столбец табл. 5.

3. На перекрестке найденных столбца и строки в таблице найти значение индекса Вудивисса, характеризующее исследуемый водоем.

Если водоем получает от 0 до 2 баллов — он сильно загрязнен, относится к полисапробной зоне, водное сообщество находится в сильно угнетенном состоянии. Оценка 3–5 баллов говорит о средней степени загрязненности (альфа-мезосапробный), а 6–7 баллов — о незначительном загрязнении водоема (бета-мезосапробный). Чистые (олигосапробные) реки обычно получают оценку 8–10 баллов, а особенно богатые водными обитателями участки могут быть оценены и более высокими значениями индекса.

Таблица 5. Биотический индекс Вудивисса

Вид-индикатор	Количество видов-индикаторов	Общее количество присутствующих групп бентосных организмов					
		0–1	2–5	6–10	11–15	16–20	20...
Личинки веснянок (<i>Plecoptera</i>)	Более 1 1 вид	—	7 6	8 7	9 8	10 9	11–... 10–...
Личинки поденок (<i>Ephemeroptera</i>)	Более 1 1 вид	—	6 5	7 6	8 7	9 8	10–... 9–...
Личинки ручейников (<i>Trichoptera</i>)	Более 1 1 вид	—	5 4	6 5	7 6	8 7	9–... 8–...
Бакопавы		3	4	5	6	7	8–...
Водяной ослик (<i>Asellus aquaticus</i>)		2	3	4	5	6	7–...
Олигохеты или личинки званцов		1	2	3	4	5	6–...
Отсутствуют все приведенные выше группы		0	1	2	–	–	–

Пример: Во время исследования верховьев реки Ловать в пробах были обнаружены представители наиболее чувствительной к загрязнению индикаторной группы — нимфы веснянок, причем только одного вида — *Nemoura cinerea*. Значит, мы должны работать со второй строкой нашей таблицы. Всего же среди организмов бентоса были отмечены представители шестнадцати различных групп (в том числе малощетинковые черви, личинки мошки, личинки других двукрылых, представитель равноногих раков — водяной ослик и др.). Поэтому выбираем столбец «Общее количество групп — 16–20». На перекрестке этого столбца и второй строки находим значение индекса — 9 баллов. Это говорит о том, что сообщество водных организмов находится в хорошем состоянии, загрязнение не обнаружено.

Индекс Майера

Это более простая методика, основные преимущества которой: никаких беспозвоночных не нужно определять с точностью до вида; методика годится для любых типов водоемов. Метод использует приуроченность различных групп водных беспозвоночных к водоемам с определенным уровнем загрязненности. Организмы-индикаторы отнесены к одному из трех разделов:

Обитатели чистых вод, X	Организмы средней чувствительности, Y	Обитатели загрязненных водоемов, Z
Личинки веснянок Личинки поденок Личинки ручейников Личинки вислокрылок Двустворчатые моллюски	Бокоплав Речной рак Личинки стрекоз Личинки комаров-долгоножек Моллюски- катушки Моллюски-живородки	Личинки комаров-звонцов Пиявки Водяной ослик Прудовики Личинки мошки Малощетинковые черви

Нужно отметить, какие из приведенных в таблице групп обнаружены в пробах. Количество найденных групп из первого раздела необходимо умножить на 3, количество групп из второго раздела — на 2, а из третьего раздела — на 1.

Получившиеся цифры складывают:

$$3X + 2Y + Z = S$$

По значению суммы S (в баллах) оценивают степень загрязненности водоема: более 22 баллов — водоем чистый и имеет 1 класс качества; 17–21 баллов — 2 класс качества; 11–16 баллов — умеренная загрязненность, 3 класс качества; менее 11 — водоем грязный, 4–7 класс качества.

Простота и универсальность метода Майера дают возможность быстро оценить состояние исследуемого водоема. Точность метода невысока. Но если проводить исследования качества воды регулярно в течение какого-то времени и сравнивать полученные результаты, можно уловить, в какую сторону изменяется состояние водоема.

Пример: В верхнем течении реки Мышанка обнаружены следующие организмы: нимфы поденок, личинки ручейников, двустворчатые моллюски, личинки стрекоз, личинки комаров-долгоножек, моллюски-катушки, личинки комаров-звонцов, пиявки, водяные ослики, личинки мошки, малощетинковые черви, водяные клопы, личинки жуков, личинки мотыльков, водяные клещи. Из них три группы (нимфы поденок, личинки ручейников, двустворчатые моллюски) указаны в первом разделе таблицы, три (личинки стрекоз, личинки комаров-долгоножек, моллюски-катушки) — во втором и пять (личинки комаров-звонцов, пиявки, водяные ослики, личинки мошки, малощетинковые черви) — в третьем. Водяные клопы, личинки жуков, личинки мотыльков и водяные клещи в таблице не указаны, поэтому при подсчете значения индекса они не принимаются во внимание.

Значение индекса Майера равно $3 \times 3 + 3 \times 2 + 5 \times 1 = 9 + 6 + 5 = 20$.

Такое значение индекса характеризует Мышанку в верхнем течении как олигосапробный водоем с водой второго класса качества.

Альгоиндикация

Водорослям принадлежит ведущая роль при биоиндикации изменения состояния водных экосистем, так как они быстрее других водных организмов реагируют на загрязнение, являются чувствительными индикаторами тяжелых металлов, органического загрязнения и др.

Для оценки используются водоросли трех экологических групп: фитопланктон, фитобентос и перифитон. Индикаторными показателями являются видовое разнообразие, обилие отдельных видов, содержание хлорофилла, валовая суточная продукция фитопланктона. Видовой состав перифитонных сообществ может служить индикатором экосистемной «целостности». Высокая представленность диатомей свидетельствует о высоком уровне целостности. В то же время увеличение доли нитчаток или цианобактерий — показатель его снижения. Видовой состав фитопланктона и численность видов могут служить индикаторами тяжелых металлов, нефтепродуктов и дисперсантов. Довольно чувствительным методом является изучение вариабельности динамики биомассы фитопланктона. Показано, что вариабельность, измеряемая как отношение минимальной биомассы к максимальной за год, возрастает пропорционально увеличению изменчивости температуры в водоеме.

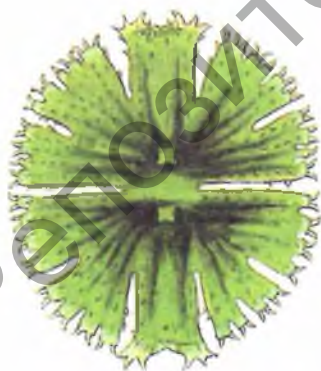
Наибольшей популярностью пользуется метод, основанный на учете относительного обилия видов-индикаторов сапробности (индексы Сладчека, Ватанабе, Пантле и Букка) (рис. 10).

В полисапробной зоне водоема наблюдается обилие инфузорий и бактерий, видов водорослей немного: это хлорелла, политома и некоторые виды хламидомонад. При этом численность водорослей может быть высокой. В мезосапробной зоне видовое разнообразие водорослей большое. Наличие мезосапробов говорит о существовании очагов загрязнения в относительно чистых водоемах (например, у сбросов очищенных вод городской канализации). Типичные мезосапробы — энтороморфа, монарафидиум, стигеоклониум тонкий, осциллятория короткая, осциллятория выдающаяся, нитцшия игловидная, хламидомонас, циклотелла менегини, гониум некторальный, кластериум игольчатый и другие. В планктоне преобладают многие диатомеи, в составе бентоса и перифитона — кладофора, спиригира, зигнема, микроцистис.

В олигосапробной зоне водоросли разнообразны, но численность их невелика. Олигосапробы встречаются преимущественно в чистых родниках, в мочажинах на верховых болотах, в речных ручейках. Олигосапробные водоросли: микростерияс, космариум, синура (рис. 11).



Рис. 10. Приуроченность водорослей к разной по загрязненности воде



а



б

Рис. 11. Водоросли: а — Микроастериас, б — Синура

Макрофиты как биоиндикаторы

Макрофиты являются достаточно чувствительными индикаторами состояний природной среды их обитания: водной, наземной и воздушной; выработанные у них в процессе адаптационной эволюции признаки достаточно четко индицируют химический и органический состав воды.

Макрофиты являются удобной для исследования характеристикой гидробиоценозов и мощным фактором средообразования, что служит доступным показателем ряда параметров состояния водоемов и процессов, в них происходящих. Именно поэтому исследования макрофитоценозов дают возможность достаточно быстро оценить степень антропогенного влияния на них и на состояние их экосистем.

Увеличивающийся антропогенный пресс на водоемы, отражаясь на состоянии и развитии сообществ макрофитов, нередко приводит к их трансформациям и сукцессиям зарастания. Под влиянием изменяющихся условий водной среды происходит нарушение связей в фитоценозе, что приводит к экологическим модификациям. Накапливая поллютанты, водные растения являются носителями информации о регулярном и дискретном загрязнении водоема (последнее может быть не зарегистрировано при отсутствии постоянных гидрохимических наблюдений).

Водная растительность — наиболее консервативный элемент биоты водной экосистемы. Ее экологические модификации могут служить индикатором долгосрочных изменений водной среды.

В настоящее время выявлен ряд характерных особенностей развития макрофитов и их сообществ в водоеме, которые индицируют изменения параметров среды под воздействием антропогенного фактора.

Так, массовое развитие видов семейства Рясковых (*Lemnaceae*) (рис. 12) указывает на неблагополучие в озерной экосистеме. Обилие ряски трехдольной (*L. trisulca*) говорит о богатстве биогенными веществами водной среды.

Большое количество ряски малой (*L. minor*) и многокоренника обыкновенного (*S. polyrrhiza*), помимо евтрофирования, может свидетельствовать о промышленном или сельскохозяйственном загрязнении водоема.

Массовое развитие телореза алоэвидного (*Stratiotes aloides*) (рис. 13) ведет к заболачиванию водоема. В местах интенсивного поступления промышленных стоков происходит гибель растительных сообществ.

Являются показателями: евтрофирования водоемов, происходящего под влиянием антропогенных факторов, — аир (*Acorus calamus*), роголистник погруженный (*Ceratophyllum demersum*), сусак зонтичный (*Butomus umbellatus*), рогаз широколистный (*Typha latifolia*) и многие другие виды; участков, не подвергающихся в настоящее время антропогенному евтрофированию, — роголистник полупогруженный (*Ceratophyllum submersum*); водоемов, характеризующихся относительно чистой водой, — рдесты (рис. 14).



Рис. 12. Ряска: 1 — многокоренник обыкновенный, 2 — ряска малая, 3 — ряска трехдольная, 4 — ряска горбатая, 5 — вольфия бескорневая



Рис. 13. Телорез алоэвидный



Рис. 14. Рдест

Видовой состав водных растительных сообществ позволяет довольно точно охарактеризовать экологическое состояние экосистемы. Наиболее полно разработана методика индикации трофической характеристики водных объектов — сапробности, для определения которой составлены специальные шкалы, используемые в практике гидробиологических исследований. Наиболее популярна шкала Сладечена.

Многолетние наблюдения, выполненные белорусскими учеными, позволяют считать, что наиболее благоприятным фактором для формирования хорошего качества воды при достаточном водообмене является зарастание акватории до 30–40% (в зависимости от типа водоема) при биомассе растений до 1,5 кг воздушно-сухого вещества на 1 м² зарослей.

В то же время чрезмерное развитие водной растительности неблагоприятно для водоема и может быть причиной вторичного загрязнения, особенно ярко проявляющегося в мелководных искусственных водоемах, созданных для промышленного и хозяйственного водообеспечения и рыборазведения. Разложение отмерших растительных остатков требует значительного количества растворенного в воде кислорода и может вызывать заморы рыб.

Эффективное использование фильтрационной функции макрофитов — один из возможных путей снижения биогенной нагрузки на водоемы. В последние годы появилось много публикаций о сооружениях и устройствах, в основу которых положено использование очистных свойств сообществ макрофитов. Тростник, камыш, рогоз и некоторые другие виды водных растений используются в республике для очистки и доочистки вод животноводческих комплексов на специализированных мелиоративных системах и биоинженерных сооружениях, а также на прудах-отстойниках.

Наблюдения за динамикой видового состава и количественным развитием водных растений в водоемах Беларуси позволяют говорить об индикаторной роли макрофитов, значимость основных видов которых приводится в табл. 6.

Таблица 6. Индикаторная значимость основных видов макрофитов водоемов Беларуси

Вид	Индикаторы			
	органического загрязнения	закисления	эвтрофирования	загрязнения тяжелыми металлами
Аир обыкновенный	+		+	
Частуха подорожниковая			+	+
Шелковник жестколистный	+			
Сусак зонтичный				
Каулиния малая				
Роголистник темно-зеленый	+	+		+
Роголистник подводный	+	+		+
Ситняг игольчатый	+			
Ситняг болотный	+			
Элодея канадская	+			+
Хвощ речной	+	+		
Манник плавающий				+
Манник большой	+			+
Хвостник обыкновенный				
Турча болотная				
Водокрас обыкновенный			+	+
Полушник озерный	+	+		
Ряска горбатая	+		+	
Ряска малая	+		+	
Трехдольница трехбороздчатая			+	+
Уруть нолосистая	+		+	
Уруть мутновчатая				
Наяда морская				
Кубышка желтая				
Кубышка малая	+			
Кувшинка белая				
Кувшинка чисто-белая				
Даунисоточник тростниковый				

Вид	Индикаторы			
	органического загрязнения	закисления	эвтрофиро- вания	загрязнения тяжелыми металлами
Горец земноводный				
Рдест сжатый				
Рдест курчавый	+		+	
Штуkenия нитевидная				
Штуkenия гребенчатая	+		+	+
Рдест Фриза				
Рдест блестящий				+
Рдест плавающий	+			
Рдест узловатый	+			+
Рдест пронзеннолистный				+
Рдест длиннейший	+	+		
Стрелолист стрелолистный				
Сальвиния плавающая				
Камыш озерный	+			
Ежеголовник всплывающий				
Многокоренник обыкновенный	+		+	+
Телорез алоэвидный				+
Рогольник плавающий				
Рогоз узколистный				
Рогоз широколистный	+			+
Пузырчатка обыкновенная				
Лобелия Дортмана	+	+		
Прибрежница одноцветковая	+	+		
Осока				
Водяной мох	+	+		
Харовые водоросли		+		+

Учитывая возможность применения разных методик биоиндикации, предлагаем сравнительные таблицы оценки степени загрязненности воды и сравнение основных характеристик воды и биоты по классам качества воды (табл. 7, 8).

Таблица 7. Классификация качества воды водоемов и водотоков по гидробиологическим показателям

Степень загрязненности воды	По фитопланктону		По зообангтосу		По бактериопланктону		
	Индекс сапробности по Пантелееву, баллы	Индекс сапробности по Буну, баллы	Отношение общей численности олигохет к общей численности донных организмов, %	Биотический индекс по Вудивиссу, баллы	Общее количество бактерий, 10 ⁶ кл/мл	Количество сапрофитных бактерий, 10 ³ кл/мл	Отношение общего количества бактерий к количеству сапрофитных бактерий
Очень чистые	Менее 1,0	1-20		10	Менее 0,5	Менее 0,5	Более 10 ³
Чистые	1,0-1,5	21-35		7-9	0,5-1,0	0,5-5,0	Более 10 ³
Умеренно загрязненные	1,51-2,50	36-50		5-6	1,1-3,0	5,1-10,0	10 ² -10 ³
Загрязненные	2,51-3,50	51-65		4	3,1-5,0	10,1-50,0	Менее 10 ²
Грязные	3,51-4,00	66-85		2-3	5,1-10,0	50,1-100,0	Менее 10 ²
Очень грязные	Более 4,0	86-100 или макробентос отсутствует		0-1	Более 10,0	Более 100,0	Менее 10 ²

Таблица 8. Основные характеристики воды и биоты по классам качества воды

Класс качества воды	I	II		III	IV	V
Индекс сапробности по Сладhecky	0–0,5	0,5–1,0	1,0–1,5	1,5–2,5	2,5–3,5	3,5–4
Зона самоочищения воды	Ксено-сапробная	Бетаолиго-сапробная	Альфа-олиго-сапробная	Бетамезо-сапробная	Альфа-мезо-сапробная	Полисапробная
Индекс сапробности по Ватанабе	85–100	70–85	50–70	30–50	15–30	0–15
Индекс Шеннона, область изменения	0–4	1,0–4,5	0–5	0–5	1,5–4,5	0–4
Индекс Шеннона max	3–4	4,0–4,5	4,5–5	4,5–5,0	4,0–4,5	2–4
Индекс Шеннона min	0–1,5	1–2	0–2	0–2	1,5–2,0	0,15
Прозрачность по диску Секки (проточные водоемы)	3	0,3–0,7	0,5–0,7	0,3–0,5	0,1–0,3	0,05–0,10
Прозрачность по диску Секки (непроточные водоемы)	6	4	4	2	1	0,5
Хлорофилл «а», мкг/л (непроточные воды)	3	8	8	15	30	60
Валовая суточная продукция фитопланктона, гО ₂ /м ²	0–1,5	1,5–3,0	3,0–4,5	4,5–7,5	7,5–10,5	10,5–12,0
Биомасса фитопланктона, мг/л	0–0,1	0,1–0,5	0,5–1,0	1–5	5–50	50–100

Система оценки качества вод принята в зарубежных странах и положена в основу ГОСТ 17.12.04.77 и ГОСТ 17.13.07.82.

Воды I класса экологически полноценные, могут использоваться для питья, рекреации, рыбоводства и орошения.

Воды II класса экологически полноценные, имеют питьевое значение, могут использоваться для рекреации, рыбоводства и орошения.

Воды III класса экологически полноценные, могут использоваться для питья с предварительной очисткой, а также рыбоводства и орошения.

Воды IV класса экологически неблагополучны, имеют ограниченное применение в рыбоводстве и орошении, пригодны для технических целей.

Воды V класса экологически неблагополучны, имеют техническое значение.

Определение видовой принадлежности некоторых групп донных беспозвоночных

1. • Членистые ноги у животных имеются.....2
 - Членистые ноги отсутствуют7
2. • Животные с раковиной.....3
3. • Раковина образована двумя створками*Двустворчатые моллюски*
 - Раковина другой формы*Брюхоногие моллюски*
4. • Тело плоское5
 - Тело круглое, иногда с ложноножками
или ползательными валиками6
5. • Тело без присоски на заднем конце тела.....*Плоские черви*
 - Присоска на заднем конце тела*Пиявки*
6. • Тело круглое, хрупкое, часто очень
длинное, животные нитевидные, красные.....*Малощетинковые черви*
 - Тело круглое, но не нитеобразное,
могут быть ложноножки
или ползательные валики*Двукрылые*
7. • Ног четыре пары или более8
 - Ног три пары.....10
8. • Ног более четырех пар.....9
 - Ног четыре пары, тело круглое.....*Водяные клещи и пауки*
9. • Тело сплющенное с боков, спинная линия изогнута*Бокоплавы*
 - Тело сплющено сверху вниз.....*Водяные ослики*
10. • На конце тела один, два или три нитевидных выроста11
 - На конце тела таких выростов нет.....14
11. • На конце тела два или три нитевидных выроста.....12
 - На конце тела один нитевидный вырост*Большекрылые*
12. • На конце тела три выроста13
 - На конце тела два выроста.....*Веснянки*
13. • Выросты нитевидные*Поденки*
 - Выросты иные. Нет больших листовидных жабр.....*Стрекозы*
14. • Тело спрятано в домике*Ручейники*
 - Тело без домика*Жуки, их личинки, клопы, некоторые ручейники*



Рис. 15. Брюхоногий моллюск Прудовик большой



Рис. 16. Малощетинковый червь Волосатик водный



Рис. 17. Личинки двукрылых



Рис. 18. Бокоплавы



Рис. 19. Водяной ослик



Рис. 20. Личинки веснянки



Рис. 21. Личинки поденок



Рис. 22. Личинки стрекоз



Рис. 23. Ручейники и их домини

Оценка качества воды с помощью физико-химических методов

Для правильной оценки качества воды в водном объекте, степени его загрязнения и экологического благополучия необходимо выполнение нескольких условий:

- правильный выбор места, глубины и времени отбора проб;
- правильный отбор проб;
- представительность отобранных проб;
- пробы не должны изменять свой состав с момента отбора до момента анализа (если есть возможность, то анализ лучше проводить сразу на месте отбора);
- правильность проведенных анализов;
- правильность интерпретации полученных данных.

Причем, если анализ чаще всего можно повторить для исправления ошибок или уточнения данных, то неправильно выбранное место и глубина отбора проб, не-представительная или изменившая еще до анализа свой состав проба делает невозможным получение достоверных результатов, характеризующих водный объект. Такие ошибки приводят к необходимости дополнительных выездов на место отбора и повторных отборов проб, что часто невыполнимо.

Под **представительностью проб** понимают соответствие их состава и свойств характеристикам всего объема воды во время отбора и в месте отбора пробы. Принято считать, что если содержание определяемого вещества изменяется достаточно медленно и распределение его довольно равномерно, то результаты анализа пробы распространяют на некоторый промежуток времени и участок водоема. Но при этом нельзя сказать, что результаты анализа характеризуют весь водный объект. Именно поэтому исследовательские работы, в которых исследование проводилось один раз и только в одной точке, не могут претендовать на название «Экологический мониторинг реки...».

Обычно для того, чтобы проба была представительной, в стоячем водоеме нужно отобрать несколько проб и смешать их. А при исследовании реки или ручья пробу воды нужно отбирать в тех местах, где происходит хорошее перемешивание воды.

Количество и месторасположение пунктов гидрохимических наблюдений при обследовании водных объектов обусловлено необходимостью получить объективную информацию об экологическом состоянии объекта. Для этого организуют сеть пунктов гидрохимических наблюдений.

Для каждого пункта сети гидрохимических наблюдений существует рациональное обоснование. Сеть должна охватывать в пространстве:

- 1) по возможности все водные объекты, расположенные на территории изучаемого бассейна;
- 2) всю длину реки или ручья (или участка реки или ручья) с определением влияния наиболее крупных его притоков и сброса сточных вод в него;
- 3) всю площадь водоема с определением влияния на него наиболее крупных притоков и сброса в него сточных вод.

Распределение наблюдений во времени должно позволить получать данные, характеризующие:

- все фазы гидрологического режима (весеннее половодье, летнюю межень, летние и осенние дождевые паводки, ледостав, зимнюю межень);
- различные по водности годы (многоводные, средние по водности и мало-водные);
- суточные изменения химического состава воды;
- катастрофические сбросы сточных вод в водные объекты.

Конечно, такие сложности нужны только при серьезном и детальном изучении водного объекта. В связи с этим часто пользуются упрощенными вариантами сетей гидрохимических исследований.

Такая сеть состоит из пунктов наблюдения, которые тщательно подобраны и обоснованы. Под пунктом наблюдения понимают место на водоеме или водотоке, в котором производят работы по получению данных о качестве воды.

Обычно пункты наблюдений организуют около:

- 1) расположения городов и крупных поселков, сбрасывающих сточные воды;
- 2) мест сброса сточных вод отдельно стоящими крупными промышленными предприятиями, территориально-производственными комплексами, организованного сброса сельскохозяйственных сточных вод;
- 3) мест нереста и зимовья ценных видов рыб;
- 4) пересечения реками государственных границ;
- 5) устьев загрязненных притоков больших водоемов и водотоков.

Для изучения природных процессов и определения фонового состояния воды водоемов и водотоков пункты наблюдений создают также выше по течению от объекта, загрязняющего водный объект, там, где отсутствует антропогенное воздействие на водный объект. Часто такие пункты наблюдения называют фоновыми и размещают на территориях заповедников и национальных парков.

В пунктах наблюдений организуют один или несколько створов. Под створом понимают условное поперечное сечение водоема или водотока, где проводятся отборы проб. Местоположение створов устанавливают с учетом особенностей водного объекта, расположения источников загрязнения, количества, состава и свойств сбрасываемых сточных вод, хозяйственных интересов, а также возможностей доступа к воде водного объекта и наличия подъездных путей.

Один створ устанавливают на реках и ручьях при отсутствии организованного сброса сточных вод, в устьях загрязненных притоков, на незагрязненных участках водотоков, перед плотинами.

При наличии организованного сброса сточных вод на водотоках устанавливают два створа и более. Один из них располагают выше по течению от источника загрязнения, другие — ниже источника загрязнения, в месте полного смешения сточных и природных вод.

Химический состав воды в пробе, отобранной в створе выше источника загрязнения, характеризует фоновые показатели качества воды реки в данном пункте. Сравнение фоновых показателей с показателями качества воды в пробе, отобранной ниже источника загрязнения, позволяет судить о характере и степени загрязнения воды под влиянием источников загрязнения данного пункта. Изменение химического состава воды в пробах, отобранных в первом после сброса сточных вод створе и в расположенных ниже створах, дает возможность оценить самоочищающую способность реки или ручья.

При планировании пунктов гидрохимических наблюдений на реках, ручьях и каналах (водотоках), в которые сбрасываются сточные воды, верхний (первый) фоновый створ обычно устанавливают на 500–1000 м выше первого источника загрязнения. Выбор створов ниже источника (или группы источников) загрязнения осуществляют с учетом комплекса условий, влияющих на характер распространения загрязняющих веществ в водотоке. Необходимо, чтобы нижний створ характеризовал состав воды в целом по сечению, т. е. был расположен в месте достаточно полного (не менее 80%) смешения сточных вод с водой водотока. Однако если такой створ находится на значительном расстоянии от источников загрязнения, загрязняющие вещества, перемещаясь от источника загрязнения к створу, могут измениться, следовательно, их влияние на физические свойства и химический состав воды в этом створе может быть не обнаружено. В таком случае створ устанавливают на более близком участке — чаще всего в районе 500 м от места сброса сточных вод.

Иногда с целью оценить суточную динамику влияния сброса сточных вод на экосистему реки отбор проб воды производят несколько раз в течение суток, при этом пробы не усредняют.

Количество вертикалей в створе на водотоке определяется условиями смешения речных вод со сточными или с водами притоков: при неоднородности химического состава в створе устанавливают не менее трех вертикалей (на стержне и на расстоянии 3–5 м от берегов), при однородности химического состава — одну вертикаль (на стержне реки).

Для наблюдений по озеру, водохранилищу (водоему) в целом с учетом особенностей береговой линии и других факторов устанавливают не менее трех створов, по возможности равномерно распределенных по акватории. При контроле на отдельных загрязненных участках водоемов створы устанавливают с учетом условий водообмена водоемов.

На водоемах с интенсивным водообменом расположение створов аналогично расположению их на водотоках: один створ устанавливают в 1 км выше источни-

ка загрязнения, вне зоны его влияния, остальные створы (не менее двух) располагают ниже источника загрязнения на расстоянии 500 м от места сброса сточных вод и непосредственно за границей зоны загрязнения.

На водоемах с умеренным и замедленным водообменом один створ устанавливают вне зоны влияния источника или группы источников загрязнения, второй створ совмещают с местом сброса сточных вод, остальные створы (не менее двух) располагают параллельно второму по обе его стороны на расстоянии 500 м от места сброса сточных вод и непосредственно за границей загрязненной зоны.

Количество горизонтов на вертикали определяется глубиной водоема или водотока в месте измерения: при глубине до 5 м устанавливается один горизонт (у поверхности — в 0,2–0,3 м от поверхности воды летом и у нижней поверхности льда зимой), при глубине от 5 до 10 м — два (у поверхности и в 0,5 м от дна), а при глубине более 10 м — три (дополнительно промежуточный, расположенный на половине глубины).

Для специальных целей возможна установка дополнительных створов, вертикалей и горизонтов.

При разработке и описании сети наблюдений за водным объектом или речным бассейном формируется обоснование расположения для каждого створа, которое оформляется таблицей, содержащей следующие колонки: «Номер створа», «Место расположения створа», «Обоснование выбора места», «Условное обозначение».

Также важен способ отбора проб и оборудование, которое при этом используется. Следует различать приборы и устройства для отбора проб поверхностных вод и отбора проб с глубины. Кроме того, в тех случаях, когда проводятся анализы на содержание растворенных в воде газов, например кислорода, углекислого газа, сероводорода и некоторых других компонентов, необходимо использование более сложной аппаратуры, позволяющей создать условия для стабилизации газового состава воды и исключения влияния атмосферного воздуха на содержание растворенных газов.

Для взятия пробы воды из ручьев, малых рек, родников и водоемов с небольших глубин (0,5–1,0 м) пользуются бутылкой без всяких приспособлений. Бутыль закрывают пробкой, к которой прикреплен шнур, и вставляют в тяжелую оправу или подвешивают к ней груз. Иногда бутылку закрепляют на шесте. Бутылку опускают в воду на заранее выбранную глубину, затем пробку вынимают при помощи шнура, бутылка заполняется водой до верха, после чего она достается из воды. Перед закрытием бутылки пробкой слой воды сливается так, чтобы под пробкой оставался небольшой слой воздуха.

Однако этот способ не применим при необходимости определения газовых компонентов воды, так как во время заполнения бутылки водой через ее горло интенсивно выходит воздух, который насыщает отбираемую воду кислородом, унося из нее сероводород, т. п.

Для отбора точечных проб на заданной глубине применяют *батометры* (рис. 24) и *псевдобатометры*. Как правило, их конструктивные особенности позволяют отобрать пробы воды без изменения их газового состава.

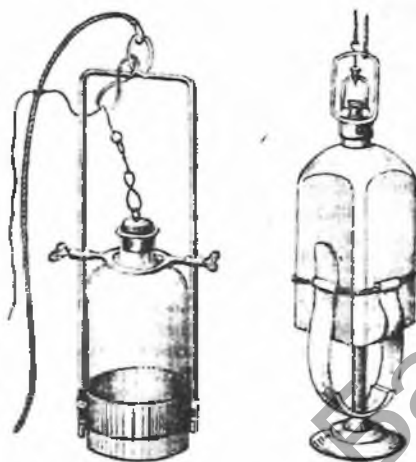


Рис. 24. Батометры

Большинство батометров представляют собой устройство в виде стакана из пластмассы или нержавеющей стали, открытого с обоих концов. Батометр открытым погружается на необходимую глубину, при этом вода свободно проходит сквозь цилиндр, не изменяя свой состав. Если батометр погружается вертикально, то вода слабо перемешивается и ее стратификация почти не нарушается. В точке отбора проб цилиндр перед поднятием на поверхность закрывают с обоих концов специальным запорным устройством.

Отбор пробы с небольшой глубины (не превосходящей 12–15 м) можно производить при помощи *псевдобатометра Верещагина*.

Псевдобатометр представляет собой трехгорлую склянку. Все три горла плотно закрываются резиновыми пробками. Через пробку среднего горла в склянку пропущен термометр. В одно крайнее горло вставлена короткая стеклянная трубка, изогнутая под прямым углом. На верхний конец этой трубки надет кусок гибкой трубки с зажимом. Во второе крайнее горло вставлена стеклянная трубка, доходящая до дна склянки. Верхний конец трубки загнут книзу и на него натянута длинная резиновая трубка с зажимом. К концу резиновой трубки обычно прикрепляют небольшой груз. Вместо трехгорлой склянки в качестве псевдобатометра можно пользоваться одногорлой склянкой, пропустив обе стеклянные трубки (а если нужно, то и термометр) через одну резиновую пробку.

Способ отбора проб воды псевдобатометром следующий:

1. Длинную резиновую трубку погружают в водоем, снимают зажимы и отсасывают специальным насосом воздух из склянки через короткую трубку. Если псевдобатометр расположен не более чем на 0,5 м выше уровня воды, то его можно наполнить, высасывая воздух ртом. Вода через трубку начинает заполнять склянку; когда наберется нужное количество, зажим закрывают.

2. Все устройство вставляют в тяжелую оправу и погружают в воду с открытыми зажимами на глубину, когда конец трубки будет находиться на нужном уровне. Под давлением воды воздух из псевдобомметра постепенно выйдет через трубку и устройство заполнится пробой воды.

При таких вариантах отбора проб газовый состав исследуемой воды может изменяться, причем в первом случае изменение может быть более значительное. Поэтому при отборе проб для определения растворенных газов псевдобомметр должен иметь две бутылки, соединенные последовательно. При этом обе бутылки фиксируются в одной оправе и таким образом погружаются в водоем. Вода, собранная во второй бутылки, может быть использована для анализа воды на содержание растворенных газов, так как, пока наполнится весь псевдобомметр, через вторую бутылку пройдет несколько объемов воды и там скопится проба, которая не контактировала с воздухом и не изменила свой газовый состав.

Взятую пробу воды разливают по склянкам.

Сосуд для хранения пробы и его пробка не должны стать причиной загрязнения пробы. Поэтому посуда должна быть чисто вымыта.

Методы определения физических свойств воды

Определение физических свойств воды проводят в первый день после отбора проб. К физическим свойствам воды относят:

- мутность;
- цветность;
- прозрачность;
- содержание взвешенных веществ.

Также определяют запах и вкус воды. Вкус определяется только для питьевой воды!!!

Мутность воды — показатель, характеризующий уменьшение прозрачности воды в связи с наличием неорганических и органических тонкодисперсных взвесей. Причиной мутности воды может быть наличие в ней песка, глины, неорганических соединений (гидроксида алюминия, карбонатов различных металлов), а также органических примесей или живых существ, например фито или зоопланктона. Также причиной может быть окисление соединений железа и марганца кислородом воздуха.

Мутность воды повышается при дождях, паводках, таянии ледников. Как правило, зимой уровень мутности в водоемах наиболее низкий, наиболее высокий весной и во время летних дождей.

Качественное определение проводится описательно: слабая опалесценция, опалесценция, сильная опалесценция, слабая муть, заметная муть, сильная муть.

Обычно для школьных исследований этого достаточно. Однако если есть необходимость полуколичественного и количественного определения мутности, то

используют специальные устройства. Как правило, они работают по методу турбидиметрии или нефелометрии.

Принцип метода турбидиметрии основан на измерении интенсивности света, прошедшего через кювету с суспензией, образованной частицами определяемого вещества. *Нефелометрия* — определение концентрации вещества по интенсивности светового потока, рассеиваемого взвешенными частицами (измеряется интенсивность отраженного света). Для полуколичественного анализа достаточно использовать метод визуальной турбидиметрии или визуальной нефелометрии.

В нефелометрах для определения мутности используется принцип светорассеяния, определяемого под углом 90° к источнику.

Еще одна важная характеристика — это цветность воды. Она связана с цветом, но не тождественна ему. Цвет — естественное свойство природной воды, обусловленное присутствием в воде растворенных веществ, поглощающих свет разных частей спектра. В природных водных объектах Беларуси наиболее существенный вклад в цветность воды вносят гуминовые и фульвовые кислоты, связанные с гумусом почвы, а также комплексные соединения железа.

Цветностью называется условно принятая количественная характеристика для описания цвета природной и питьевой воды. Цветность является косвенным показателем количества содержащихся в воде растворенных органических веществ. Обычно она определяется свойствами и структурой дна водоема, характером водной растительности, прилегающих к водоему почв, наличием в водосборном бассейне болот и торфяников и др.

Цветность воды определяют визуально или фотометрически, сравнивая окраску пробы с окраской условной 1000-градусной шкалы цветности воды, приготовляемой из смесей бихромата калия $K_2Cr_2O_7$ и сульфата кобальта $CoSO_4$. Величина цветности воды выражается в градусах цветности этих шкал (с обязательным указанием названия шкалы). Для воды поверхностных водоемов этот показатель допускается не более $20^\circ C$.

Метод визуального определения используют при необходимости ориентировочной оценки цветности, во всех точных определениях используют фотометрический метод.

Объединяет цветность и мутность показатель, который называется прозрачность. *Прозрачность воды* — показатель, характеризующий способность воды пропускать свет. Она зависит от способности растворенных в воде веществ и взвешенных частиц пропускать вглубь солнечные лучи и обусловлена ее цветностью и мутностью, т. е. содержанием в ней различных окрашенных (растворенных) и взвешенных (нерастворенных) органических и минеральных веществ. Прозрачность воды — важный индикатор экологического благополучия водной экосистемы.

При большой прозрачности вода приобретает интенсивный синий цвет, который характерен для открытого океана. При наличии значительного количества мелких взвешенных частиц, сильно рассеивающих свет, вода имеет синезеленый или зеленый цвет, характерный для прибрежных районов и некоторых замкну-

тых морей. В местах впадения крупных рек, несущих большое количество крупных взвешенных частиц, цвет воды принимает желтые и коричневые оттенки. В болотах и лесных озерах часто имеет коричневую окраску. Это обычно связано с тем, что на дне накапливаются растительные остатки, которые при гниении выделяют ряд органических веществ, окрашивающих воду. Иногда окраска воды в таких водоемах похожа на цвет крепкого чая. Прозрачность такой воды невысока, но это естественный цвет воды для водоемов данного типа.

Во время сильных ливней, когда в реки и озера с берегов смывается большое количество песка, глины и других частиц почвы, прозрачность воды сильно снижается, однако это имеет непродолжительный характер, а за счет быстрого осаднения крупных тяжелых неорганических частиц вода вскоре восстанавливает свою исходную прозрачность.

Особенной проблемой является снижение прозрачности воды при вспышках цветения водорослей.

Мерой прозрачности обычно служит высота столба воды, при которой с поверхности можно наблюдать погружаемый стандартный предмет (белую круглую пластину определенных размеров, черную пластину и т. п.), или толщина слоя воды, через который можно различать черный крест определенного размера и типа (метод креста) или стандартный шрифт, напечатанный на белой бумаге (метод Снеллена).

В случае измерения при помощи шрифта результаты указывают в сантиметрах, а в случае измерения при помощи диска Секки отмечают глубину погружения в метрах. При описании результатов измерения прозрачности обязательно указывают способ измерения.

Диск Секки, черный диск или стандартная доска применяются при определении прозрачности воды в морях, океанах, озерах и водохранилищах. Возможность использования таких методов в реках ограничена, так как часто диск или другой объект виден даже находясь на дне. Кроме того, течение в реке относит диск в сторону от вертикали, затрудняя правильность отсчета показаний. Для малых рек эти методы практически не применимы.

При определении прозрачности воды в реках наиболее применимы методы с использованием стандартного шрифта или креста.

Метод Секки. Эта методика определения прозрачности воды была разработана французом Петро Анжело Секки в XIX в. В настоящее время используется несколько разновидностей дисков Секки, но наиболее часто встречаются пластмассовые или металлические диски диаметром 20 см с чередованием черных и белых секторов, а также чисто белые диски диаметром 30 см.

В Советском Союзе применялась аналогичная методика, в которой вместо диска использовалась белая квадратная пластина. Метод в этом случае назывался «Измерение стандартной доской» и не имел принципиальных отличий от метода Секки.

Диск (или доска) погружается в воду на тросе или веревке до той глубины, когда он исчезает из виду в толще воды. Наблюдатель отмечает по отметкам на тросе или веревке глубину, на которой диск Секки перестал быть видимым. Затем он

поднимается из глубины, и наблюдатель фиксирует по отметкам значение глубины, когда диск опять становится заметным. Средняя величина между двумя этими значениями называется глубиной Секки и является мерой прозрачности воды.

Значения величины прозрачности воды, измеренные при помощи диска Секки, наиболее интересны в том случае, если измерения проведены по одной и той же методике, в одном и том же месте и в одно и то же время суток, а измерения проводил один и тот же человек. Особенно важно проводить исследования через равные промежутки времени в течение нескольких лет (например, исследования проводятся один раз в неделю (каждый понедельник) на протяжении трех лет). В этом случае, сравнивая значения прозрачности, можно говорить об экологическом мониторинге и оценке изменения прозрачности воды в водоеме за последние несколько лет.

Метод Снеллена. Для определения прозрачности по более распространенному методу Снеллена испытываемую воду наливают в цилиндр прибора Снеллена, который установлен над стандартным образцом шрифта и, добавляя или отливая воду, определяют предельную высоту столба, при которой возможно чтение букв.

Определение прозрачности по «Кресту» применяют при регулярном контроле вод фильтровальных станций и водопроводной воды. Сущность определения прозрачности в этом случае сводится к тому, что воду наливают в стеклянный цилиндр высотой 3500 мм. На дно цилиндра помещают фарфоровый кружок, разделенный двумя перпендикулярными линиями толщиной 1 мм на 4 равных сектора. В центре каждого сектора имеется черная точка диаметром 1 мм. Вблизи нижней части цилиндра устанавливают искусственный источник света — электролампочку в 300 Вт. Глаз испытателя должен располагаться примерно на 5 см выше верха цилиндра. Высота столба воды (в см) соответствует тому моменту, когда становятся отчетливо видны черные точки на фарфоровом кружке, т. е. она выражает собой прозрачность воды по «Кресту».

Иногда прозрачность воды в водоемах очень высока. Обычно это может происходить по следующим причинам:

- уменьшение поступления питательных веществ (биогенных элементов) за счет поверхностного смыва с территории водосбора;
- размножившийся зоопланктон активно поедает микроскопические водоросли, количество которых во многом определяет прозрачность воды;
- на территории бассейна уменьшилась эрозия почв, и частицы почвы в меньшем количестве попадают в водоем.

Если прозрачность уменьшается, то это может происходить по следующим причинам:

- начинается «цветение воды» — в толще воды активно размножаются микроскопические водоросли;
- эрозия береговой линии или эрозия от развития участка около озера;
- изменение цвета воды из-за разложения сточных вод или растительных остатков.

Еще один метод, позволяющий определить некоторые важные параметры благополучия водоема, — это измерение температуры воды и температурной стратификации водоема. Эти параметры в совокупности с некоторыми другими позволяют понимать, какова насыщенность воды кислородом, сформирован ли в водоеме термоклин, хорошо ли перемешивается вода.

Известно, что вода обладает большой теплоемкостью. Это значит, что она способна жадно поглощать тепло, нагреваясь при этом и запасая в себе тепло. Лишь водород и жидкий аммиак имеют более высокую теплоемкость. Так, при 0° удельная теплоемкость воды составляет $4,22$ кДж/(кг·К), тогда как для дерева эта величина составляет $2,51$, для керосина — $2,09$, для спирта — $1,26$, для сухого песка — $0,83$, для железа — $0,42$, платины — $0,13$ и т. д. Поэтому при получении одинакового количества тепла вода в водоеме нагревается в 5 раз медленнее, чем сухая песчаная почва на его берегу, но и во столько же раз дольше сохраняет тепло. На этом основано смягчающее действие водоемов на перепады температур. С высокой теплоемкостью воды связан большой перенос тепла водными течениями и зависящее от этого нагревание атмосферы. Так, известно, что охлаждение 1 м³ воды на 1°C эквивалентно нагреву 1000 м³ воздуха на 3°C .

Такие много тепла поглощается при переходе воды из жидкого в газообразное состояние (процесс испарения). Конденсация пара вызывает высвобождение поглощенного при испарении тепла. Следовательно, каждая капля воды на Земле, обогреваемая лучами солнца, превращается в своеобразный аккумулятор тепла. Такими аккумуляторами являются все водные объекты: реки, озера, водохранилища, моря, океаны.

Важным качеством воды является изменение ее плотности в зависимости от температуры. Все вещества при нагревании расширяются, при охлаждении сжимаются. Вода тоже сжимается от холода. Но это происходит до тех пор, пока ее температура не станет равной $+4^\circ\text{C}$. После этого она снова начинает расширяться. Поэтому зимой, остыв до $+4^\circ\text{C}$, она опускается на дно водоема, и ее температура дальше не понижается. Эта странная особенность воды спасает жизнь всем пресноводным животным, которые зимуют в реках, озерах, прудах.

Расслоение воды с образованием термоклина называют летней стагнацией (рис. 25).

При этом в водоемах различают верхний слой воды — эпилимнион, температура которого испытывает резкие колебания и сильно зависит от температуры воздуха. Ниже него размещается средний слой, который называется слоем температурного скачка, термоклином, или металимнионом, в пределах которого температура воды уменьшается до $+8$ ($+6$) $^\circ\text{C}$. Еще ниже находится нижний слой — гипolimнион, охватывающий глубинную массу, где температура мало изменяется на протяжении года и держится около 4 – 5°C выше нуля.

С наступлением осени поверхностные воды охлаждаются. Они становятся плотнее, в результате чего опускаются на дно — вода в водоеме перемешивается. Этот процесс длится до тех пор, пока не наступит однородность температуры всей толщи воды — гомотермия.

Зимней порой наблюдается другой тип сезонного распределения температуры — обратное расслоение водной толщи, когда самыми теплыми являются придонные слои, которые имеют температуру $+3$ – $(+4)^{\circ}\text{C}$. А поверхностные слои, контактирующие со льдом или холодным воздухом, охлаждены до 0 – $(+1)^{\circ}\text{C}$. Так образуются две зоны расслоения воды по плотности, между которыми затруднен вертикальный обмен химическими веществами, например кислородом. Так в водоеме наступает период застоя. Это явление связано еще и с тем, что растворимость газов в воде сильно увеличивается при ее охлаждении. Таким образом, верхний холодный слой, обогащенный кислородом, практически не отдает его в придонные слои, где температура выше, и для гидробионтов складываются более

комфортные условия, а следовательно, и кислорода требуется больше. Кроме того, при более высокой температуре активнее протекают процессы разложения накопившегося органического вещества, во время которых также расходуется кислород. Эти явления могут привести к тому, что в глубоких местах, где предпочитают зимовать гидробионты, концентрация кислорода сильно падает, а его дефицит приводит к зимнему замору рыбы.

Весной после таяния льда холодная поверхностная вода нагревается до $+4^{\circ}\text{C}$, становится самой плотной и поэтому проникает в глубину, а на ее место поднимается более теплая вода снизу. В результате такого круговорота в водоеме возникает весенняя однородность температуры — весенняя гомотермия, когда после исчезновения ледяного покрова на короткое время вся толща воды имеет температуру $+4^{\circ}\text{C}$. За время такого перемешивания вода равномерно насыщается кислородом, продукты гниения донных органических остатков удаляются в поверхностные слои. Биогенные элементы и повышенное количество солнечного света вместе с повышением температуры поверхностных слоев воды стимулируют развитие фитопланктона — водоемы «зацветают».

В результате следующего повышения температуры поверхностные воды теряют плотность, остаются на поверхности воды, постепенно нагреваются еще сильнее, в результате чего температурное расслоение воды становится еще более выраженным. Вновь наступает летний период застоя.

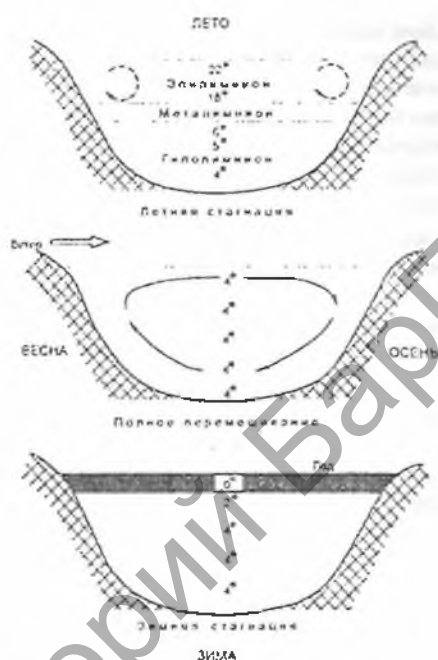


Рис. 25. Стратификация и перемешивание воды в озере

Такие сезонные вертикальные распределения температуры воды характерны для озер и водохранилищ с глубинами свыше 7 м. В более мелких водоемах стойкого (сохраняющегося на протяжении всего сезона) температурного расслоения не наблюдается. Это объясняется тем, что их водная толща находится под воздействием изменений погоды и действия ветров, когда происходит перемешивание водной массы, а в водохранилищах к этому добавляется и сброс воды через дамбы.

В жизни водных организмов, в том числе и рыб, температура воды имеет важное значение. Это универсальный экологический фактор, который влияет на распределение водных обитателей в водоемах и на скорость жизненных процессов, протекающих в организмах. Поэтому измерение температуры воды и воздуха во время отбора пробы является неотделимой частью анализа.

Для измерения температуры воды на разных глубинах используют специальные водные термометры, состоящие из ртутного термометра с ценой деления 0,1–0,5°C, одетого в специальный кожух, позволяющий предотвратить быстрые изменения показаний термометра при перемещении его сквозь различные температурные слои воды и при извлечении мокрого термометра на воздух. Также в последнее время стали широко использоваться электронные датчики.

Там, где позволяют условия, температуру поверхностных или сточных вод измеряют, погружая термометр в воду (прямой солнечный свет необходимо затенить). Если непосредственное измерение в водоеме выполнить невозможно, то температуру измеряют в бутылки сразу же после отбора пробы. Температура бутылки (емкостью не менее 1 л) перед отбором пробы должна быть приведена к температуре исследуемой воды.

При отборе проб воды с глубины при помощи батометров внутри этих приборов также размещают термометры, что позволяет еще более точно измерить температуру даже на больших глубинах.

Также для особо точных измерений температуры воды на больших глубинах используют специальные опрокидывающиеся термометры.

Определение растворенного в воде кислорода

Несмотря на то что большая часть молекулярного кислорода содержится в атмосферном воздухе, в воде его количество тоже достаточно велико. Растворенный в воде кислород поддерживает жизнедеятельность гидробионтов и во многих случаях является определяющим фактором для распространения живых организмов, например, на больших глубинах.

Растворимость этого газа в воде зависит от многих факторов. Так, при повышенной температуре растворимость кислорода, как и других газов, в воде уменьшается. Также известна и зависимость растворимости газов воздуха в воде от атмосферного давления.

Иногда возникают такие условия, когда концентрация кислорода в воде меньше, чем она должна быть исходя из значения температуры и атмосферного давления. В таких случаях говорят о недостаточной насыщенности воды кислородом. Если дефицит кислорода велик — это указывает на ухудшение экологического состояния водоема. В поверхностном слое такие явления встречаются нечасто, так как убыль кислорода постоянно восполняется как в результате фотосинтеза водных растений, так и из атмосферы.

В поверхностных водах содержание растворенного кислорода может колебаться от 0 до 14 мг/л. Эта величина подвержена значительным сезонным и суточным колебаниям. Суточные колебания в основном зависят от соотношения интенсивности процессов его продуцирования растениями и водорослями и потребления его на биологические, химические и микробиологические процессы. В речных водах наиболее высокие концентрации наблюдаются обычно в осеннее время, наиболее низкие — зимой, когда в результате образования ледяного покрова прекращается поступление кислорода из атмосферы. Дефицит кислорода чаще наблюдается в эвтрофированных озерах, водохранилищах и прудах, а также в водоемах, содержащих большое количество загрязняющих и гумусовых веществ.

Концентрация кислорода определяет величину окислительно-восстановительного потенциала и в значительной мере направление и скорость процессов окисления органических и неорганических соединений.

Минимальное содержание растворенного кислорода, обеспечивающее нормальное развитие рыб, составляет около 5 мг О₂/л. Понижение его до 2 мг/л вызывает массовую гибель рыб — замор. Однако также известно и то, что перенасыщение воды кислородом неблагоприятно сказывается на их состоянии.

В водоемах различают так называемый фотический слой. Этот слой простирается на глубину, до которой проникают солнечные лучи, необходимые для протекания процесса фотосинтеза у растений. В этом слое часто наблюдается перенасыщение воды кислородом иногда до 120–125% и выше. Толщина фотического слоя зависит от прозрачности воды. С увеличением глубины количество солнечного света становится все меньше, интенсивность фотосинтеза у растений также уменьшается и содержание кислорода в воде постепенно снижается. Растворенный кислород проникает в глубинные слои исключительно за счет вертикальных циркуляции и течений. Здесь его концентрация падает не только вследствие ослабления фотосинтеза, но и потребления его на окисление органических веществ и дыхание водных организмов.

В случае наличия большого количества легко окисляющихся органических веществ концентрация растворенного кислорода может резко упасть до нуля. В таких условиях начинают протекать восстановительные процессы с образованием сероводорода, как это, например, имеет место в Черном море на глубинах ниже 200 м.

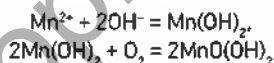
В реках, озерах, а также прибрежных водах морей и океанов значительный дефицит кислорода часто бывает связан с их загрязнением органическими веществами (нефтепродуктами, детергентами и др.), так как эти вещества являются восстановителями.

Исходя из этого считается, что определение концентрации кислорода в воде имеет важное значение при изучении гидрологического и гидрохимического режимов водоемов.

Наряду с этим измерение прозрачности воды позволяет выяснить возможность протекания процессов фотосинтеза на разной глубине и, соответственно возможность пополнения запасов кислорода.

Измерение концентрации растворенного в воде кислорода проводят разными методами. Есть методы, требующие использования современных приборов — кислородомеров или оксиметров. Как правило, они используются в профессиональных лабораториях, занимающихся гидрохимическими исследованиями. Для большинства других случаев применим стандартный иодометрический метод Винклера. На его основе изготавливают наиболее часто встречающиеся тест-комплекты для определения концентрации растворенного в воде кислорода.

Анализ по методу Винклера состоит из двух стадий: фиксации растворенного кислорода и собственно определение. Причем фиксация растворенного кислорода происходит сразу после отбора пробы, а анализ может проводиться и через некоторое время (не больше суток) в лабораторных условиях. Этот метод основан на том, что растворенный в воде кислород окисляет осадок гидроксида марганца (II) в щелочной среде до малорастворимых соединений марганца (III) и марганца (IV).



Эта стадия и называется фиксация кислорода. Ее нужно проводить как можно быстрее — сразу после отбора пробы. При этом важно создать условия, чтобы проба не контактировала с воздухом до этой стадии.

Как правило, для проведения этой стадии используют специальные стеклянные колбы с пришлифованными стеклянными пробками. Их называют кислородные склянки. Однако в более простых условиях для этих же целей подходят и обычные конические колбы с пришлифованными пробками объемом 50–100 мл. Таковую колбу обычно калибруют — устанавливают объем воды, который помещается в колбе при плотно закрытой пробке. При этом объем измеряется с высокой точностью. В профессиональных лабораториях точность измерения объема составляет $\pm 0,02$ мл. В условиях школьного эксперимента достаточно точности измерения $\pm 0,2$ мл.

Шлангом-сифоном в колбу вводят пробу воды из батометра или другой емкости для отбора проб. Причем трубка опускается до самого дна колбы. Когда колба заполняется, поток воды не останавливают. Воде позволяют перелиться через край в значительном количестве (2–3 объема колбы). После этого, не прекращая подачи воды, трубку-сифон вытаскивают из колбы и сразу закрывают ее пробкой так, чтобы под ней не остался пузырек воздуха. Таким образом отбирается строго определенный объем пробы воды.

После этой операции пробка опять открывается и на самое дно колбы тонкой пипеткой дозируются по 2 мл раствор соли марганца (II) и щелочной раствор

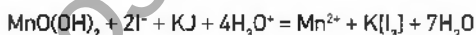
иодида калия — реактив Винклера (для дозирования реагентов используются разные дозаторы). При этом у самого дна образуется белесый осадок, который со временем меняет свой цвет на желто-коричневый. Пробка опять закрывается, вытесняя лишний объем воды. Перемешивание содержимого закрытой колбы приводит к тому, что весь кислород из воды взаимодействует с соединениями марганца (II). При этом образуется такое количество соединений марганца (III) и (IV), которое эквивалентно количеству кислорода, растворенного в пробе.

Колбы с зафиксированным кислородом помещают в темное место для отстаивания (полного отделения осадка от раствора). Хранение закрытых колб в таком виде может быть не более 24 ч при пониженной температуре и в месте, защищенном от солнечных лучей.

Последующий анализ заключается в титровании проб — добавлении по каплям реагента с регистрацией затраченного объема. Начинать эти действия можно только после того, как отстоявшийся осадок опустится на дно и будет занимать не более трети высоты колбы.

Колбу открывают и медленно вводят на ее дно тонкой пипеткой раствор серной или соляной кислоты. (Очень важно все операции проводить так, чтобы не взмутить осадок.) При этом осадок начинает медленно растворяться. Колбу вновь закрывают, и из нее вытекает объем жидкости, равный тому объему кислоты, который был залит в колбу на этом этапе. Вытеснение жидкости для анализа значения не имеет, так как кислород, который был растворен в воде, уже связан соединениями марганца и находится в осадке.

После этих действий содержимое закрытой колбы тщательно перемешивают. Осадок соединений марганца, выпавший в щелочной среде, растворяется в добавленной кислоте и одновременно окисляет иодион до молекулярного иода, который, взаимодействуя с избытком иодида калия, образует комплекс KI_3 . При этом образуется раствор желтого или коричневого цвета.



Затем полученный раствор следует количественно перенести в колбу для титрования. Эта колба обычно не имеет пробки, ее объем около 200–250 мл.

Для перенесения раствора необходимо открыть кислородную склянку, обмыть пробку дистиллированной водой над горлышком колбы для титрования так, чтобы ни одна капля воды и раствора не упала мимо горлышка. Затем следует перелить раствор из кислородной склянки тоже в колбу для титрования. После этого необходимо ополоснуть два раза дистиллированной водой колбу с притертой пробкой, всегда сливая полученную смесь в колбу для титрования.

После всех операций полученный раствор желтого цвета оттитровывается раствором тиосульфата натрия. При этом для титрования используется либо бюретка, либо капельница. В случае использования бюретки затраченный объем раствора можно узнать по шкале этого устройства. В том же случае если используется капельница, то для определения количества титранта (тиосульфата натрия) необходимо считать количество капель, пошедших на титрование.



Титрование продолжают до тех пор, пока окраска раствора не станет светло-желтой. В этот момент в колбу для титрования добавляется 1 мл раствора крахмала. Образуется синее окрашивание раствора изза остатка комплекса йода. Синий раствор дотитровывается раствором тиосульфата натрия до полного обесцвечивания.

При использовании для титрования бюретки для расчета концентрации кислорода в пробе воды можно применять формулу (1):

$$C_1 = (V_1 \cdot N \cdot 8000) / (V_2 - V_3 - V_4), \quad (1)$$

где C_1 — концентрация растворенного в воде кислорода, мг/л; V_1 — объем раствора тиосульфата натрия, пошедшего на титрование, мл; V_2 — объем кислородной склянки (колбы с притертой пробкой), мл; V_3 — объем раствора соли марганца (II), добавленного при фиксации кислорода, мл; V_4 — объем раствора реактива Винклера, добавленного при фиксации кислорода, мл; N — нормальность раствора тиосульфата натрия, экв/л; 8000 — коэффициент пересчета.

В том же случае, если для титрования была использована капельница и результат титрования выражен в количестве капель титранта, для определения количества титранта применяют величину «цена капли» и используют следующую формулу (2):

$$C_1 = A \cdot Nk \cdot 1000 / (V_2 - V_3 - V_4), \quad (2)$$

где C_1 — концентрация растворенного в воде кислорода, мг/л; A — цена капли из капельницы раствора тиосульфата натрия, мг O/капля; V_2 — объем кислородной склянки (колбы с притертой пробкой), мл; V_3 — объем раствора соли марганца (II), добавленного при фиксации кислорода, мл; V_4 — объем раствора реактива Винклера, добавленного при фиксации кислорода, мл; Nk — количество капель раствора тиосульфата натрия, пошедших на титрование, шт.; 1000 — коэффициент пересчета.

Концентрация кислорода в воде зависит от температуры. Данные по растворимости кислорода в воде при разных температурах приведены в табл. 9.

Таблица 9. Растворимость в воде кислорода при разной температуре
(при атмосферном давлении 760 мм рт. ст.)

t, °C	C (кисл), мг/л	t, °C	C (кисл), мг/л	t, °C	C (кисл), мг/л	t, °C	C (кисл), мг/л
0,5	14,4	10,5	11,1	20,5	9,0	30,5	7,5
1,0	14,2	11,0	11,0	21,0	8,9	31,0	7,4
1,5	14,0	11,5	10,9	21,5	8,8	31,5	7,3
2,0	13,8	12,0	10,8	22,0	8,7	32,0	7,3
2,5	13,6	12,5	10,6	22,5	8,6	32,5	7,2
3,0	13,4	13,0	10,5	23,0	8,6	33,0	7,2
3,5	13,3	13,5	10,4	23,5	8,5	33,5	7,1
4,0	13,1	14,0	10,3	24,0	8,4	34,0	7,0
4,5	12,9	14,5	10,2	24,5	8,3	34,5	7,0
5,0	12,7	15,0	10,1	25,0	8,2	35,0	6,9
5,5	12,6	15,5	10,0	25,5	8,2	35,5	6,9
6,0	12,4	16,0	9,8	26,0	8,1	36,0	6,8
6,5	12,3	16,5	9,7	26,5	8,0	36,5	6,8
7,0	12,1	17,0	9,6	27,0	7,9	37,0	6,7
7,5	12,0	17,5	9,5	27,5	7,9	37,5	6,7
8,0	11,8	18,0	9,4	28,0	7,8	38,0	6,6
8,5	11,7	18,5	9,3	28,5	7,7	38,5	6,6
9,0	11,5	19	9,3	29,0	7,7	39,0	6,5
9,5	11,4	19,5	9,2	29,5	7,6	39,5	6,5
10,0	11,3	20,0	9,1	30,0	7,5	40,0	6,4

Такие данные получаются, если чистую воду насытить кислородом и оставить на воздухе на длительное время при атмосферном давлении. Процессы растворения в ней кислорода из воздуха и, наоборот, удаления из нее кислорода в воздух придут к равновесию, то есть скорости двух противоположно направленных процессов уравниются. При этом концентрация кислорода в воде перестанет изменяться. Эта концентрация и приведена в таблице. Ее принято считать 100% насыщением воды кислородом.

Иногда в случае высокой интенсивности фотосинтеза на порогах или после водопадов и плотин вода может быть значительно перенасыщена кислородом (насыщенность кислородом более 100%). И наоборот, в придонных слоях иногда кислорода в воде недостаточно, тогда говорят о низкой насыщенности воды этим газом.

При перенасыщении часть кислорода из воды может быстро переходить в газообразную форму. А вода с низкой насыщенностью кислородом активно поглощает его из воздуха, стремясь к насыщению. В связи с этим во время анализа все операции, проводимые до фиксации кислорода и во время этого процесса, нужно проводить быстро, стараясь предотвратить контакт пробы воды с атмосферным воздухом.

Для расчета насыщенности воды кислородом необходимо сравнить содержание кислорода в воде на момент отбора пробы с табличными данными. Для корректного сравнения необходимо привести измеренную концентрацию к стандартному атмосферному давлению. Это можно сделать используя следующую формулу (3):

$$C_2 = C_1 \cdot 760 / P_1, \quad (3)$$

где: C_1 — концентрация кислорода в пробе, мг/л, рассчитанная по формулам (1) или (2); C_2 — приведенная концентрация кислорода в пробе, мг/л; 760 — стандартное атмосферное давление, мм рт. ст.; P_1 — атмосферное давление на момент проведения анализа, мм рт. ст. (эти данные можно получить в справочных службах или используя барометр).

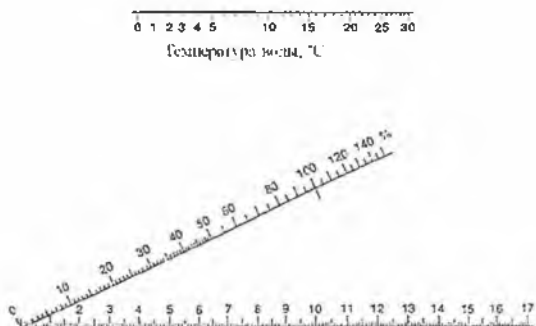
На основании полученных данных можно рассчитать насыщенность воды кислородом по формуле (4).

$$DO = (C_2 / C_{\text{справ}}) \cdot 100\%, \quad (4)$$

где DO — насыщенность воды кислородом, %; C_2 — приведенная концентрация кислорода в пробе, мг/л, рассчитанная по формуле (3); $C_{\text{справ}}$ — концентрация кислорода в воде при данной температуре в соответствии с данными табл. 9.

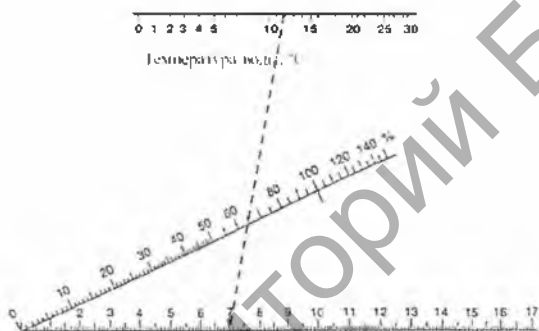
Более наглядно насыщенность воды кислородом может быть определена с использованием номограммы, приведенной на рис. 26.

Пример использования этой номограммы приведен на рис. 27. Для примера проба воды была отобрана при температуре 12°C. Концентрация кислорода в воде определена по методу Винклера с использованием капельницы в качестве дозирующего устройства для титранта и рассчитана по формуле (2). После этого концентрация кислорода приведена к давлению 760 мм рт. ст. с использованием формулы (3). Эта величина составила 7 мг/л. На верхней шкале номограммы отмечается точка 12, соответствующая температуре воды во время отбора пробы. На нижней шкале номограммы отмечается точка 7, соответствующая приведенной концентрации кислорода в воде. Точки соединяются отрезком. Для этого можно использовать линейку или нитку. Насыщенность воды кислородом можно определить по точке пересечения этого отрезка со средней шкалой. Таким образом, насыщенность воды кислородом составила 64–65%. Расчет насыщенности воды кислородом при этих условиях по формуле (4) позволил получить результат 64,8%.



Концентрация кислорода в пробе (мг/л), приведенная к давлению 760 мм рт. ст.

Рис. 26. Номограмма для определения насыщенности воды кислородом



Концентрация кислорода в пробе (мг/л), приведенная к давлению 760 мм рт. ст.

Рис. 27. Пример использования номограммы для определения насыщенности кислородом воды при разной температуре

Описание операций, необходимых для проведения анализа

Калибровка кислородной склянки (расчет цены капли). Эта процедура проводится перед началом использования новой кислородной склянки или после замены какого-либо ее компонента, например пробки или мешалки. Калибровка проводится следующим образом. Чистую сухую пустую колбу с пробкой взвешивают на теххимических весах с необходимой точностью. Затем заливают туда воду, закрывают пробкой так, чтобы под ней не образовалось пузырьков воздуха. При этом измеряют температуру используемой воды. После этого проводят повторное взвешивание заполненной колбы в тех же условиях. Разница масс — это масса воды, которая вошла в колбу. Для получения объема колбы нужно массу воды поделить на ее плотность в соответствии с формулой (5).

$$V = m/\rho \quad (5)$$

где V — объем воды, поместившейся в колбу, мл; m — масса воды, поместившейся в колбу, г; ρ — плотность воды при температуре калибровки, г/мл.

Плотность воды меняется при изменении температуры. Именно поэтому важно не забыть измерить температуру воды, которая используется для калибровки колбы. Плотность воды определяется по данным табл. 10.

Таблица 10. Плотность воды при разной температуре

$t, ^\circ\text{C}$	$\rho, \text{г/мл}$	$t, ^\circ\text{C}$	$\rho, \text{г/мл}$	$t, ^\circ\text{C}$	$\rho, \text{г/мл}$	$t, ^\circ\text{C}$	$\rho, \text{г/мл}$	$t, ^\circ\text{C}$	$\rho, \text{г/мл}$
1	0,99993	8	0,99988	15	0,99913	22	0,99780	29	0,99597
2	0,99997	9	0,99981	16	0,99897	23	0,99757	30	0,99567
3	0,99999	10	0,99973	17	0,9988	24	0,99732	31	0,99537
4	1,00000	11	0,99963	18	0,99862	25	0,99707	32	0,99505
5	0,99999	12	0,99952	19	0,99843	26	0,99681	33	0,99472
6	0,99997	13	0,99940	20	0,99823	27	0,99654	34	0,99440
7	0,99993	14	0,99927	21	0,99802	28	0,99626	35	0,99406

Иногда для удобства дальнейшей работы в такую колбу заранее вносится стеклянная или пластмассовая мешалка. В таком случае калибровку колбы нужно проводить вместе с мешалкой.

Впоследствии при замене мешалки или пробки колбы нужно будет делать перекалибровку колбы.

Приготовление раствора тиосульфата натрия. Раствор тиосульфата натрия ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$) можно приготовить из аптечного препарата или купить уже готовый раствор для пополнения комплекта, позволяющего проводить определение растворенного в воде кислорода. Обычно для приготовления раствора из аптечного препарата ампула с тиосульфатом натрия аккуратно вскрывается (обламывается ее кончик). Раствор из ампулы можно разбавить в 20 раз для получения раствора тиосульфата натрия нужной концентрации.

Приготовление раствора соли марганца (II). Для приготовления этого раствора можно использовать хлорид марганца MnCl_2 и сульфат марганца MnSO_4 . Для приготовления раствора 105 г $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ или 120 г $\text{MnSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ необходимо растворить в 200 мл дистиллированной воды. Раствор фильтруют и доводят его объем до 500 мл дистиллированной водой. Приготовление раствора можно проводить в мерном стакане на 600 мл. Хранить полученный раствор нужно в темном месте в посуде из пластмассы или стекла.

Приготовление щелочного раствора иодида. 15 г KJ или 13,6 г NaJ растворить в 20 мл дистиллированной воды. 50 г NaOH или 70 г KOH растворить в 50 мл дистиллированной воды. Полученные растворы смешать и довести общий объем в стакане до 200 мл. Если раствор окажется мутным, его следует отфильтровать через *стеклянный фильтр* или дать ему отстояться в течение 15–20 дней, после чего можно слить прозрачный раствор. Щелочной раствор иодида следует хранить в посуде из темного полиэтилена или стекла в темном месте.

Приготовление раствора кислоты. Для анализа может быть использована соляная HCl или серная кислота H_2SO_4 . Для приготовления раствора соляной кислоты следует 340 мл ее концентрированного раствора нужно добавить к 170 мл дистиллированной воды. Если же используется серная кислота, то 100 мл ее концентрированного раствора добавить небольшими порциями к 400 мл дистиллированной воды. Полученный раствор хранят в стеклянной или полиэтиленовой посуде.

Приготовление раствора крахмала. 0,5 г растворимого крахмала нужно положить в 100 мл холодной дистиллированной воды и нагреть до кипения. Лучше всего работает свежеприготовленный раствор крахмала, поэтому часто его готовят ежедневно перед работой.

Калибровка капельницы — определение «цены капли». Цена капли выражает, какое количество кислорода в пробе соответствует одной капле раствора титранта, пошедшего на титрование. Для этого процесса нужен еще один раствор — раствор с точно известной концентрацией дихромата калия. Обычно его концентрация составляет 0,9808 г/л, или 0,02 экв/л. Этот раствор идет в комплекте с исходным набором реактивов или может быть дополнительно заказан у продавца (поставщика) комплекта. Как правило, производитель указывает концентрацию раствора на этикетке или в инструкции.

Для калибровки капельница заполняется небольшим количеством полученного раствора тиосульфата натрия.

Для калибровки используется точно измеренный объем $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$. Обычно для его отмерения используется пипетка на 1 мл или шприц-дозатор. 1 мл раствора дихромата калия вносится в чистую колбу для титрования. В эту же колбу вносится примерно 15–20 мл дистиллированной воды и 1 мл реактива Винклера. После этого туда же добавляется 5 мл раствора соляной или серной кислоты из комплекта. Раствор должен пожелтеть — это образуется комплекс иодида калия и молекулярного иода KI_3 .

Полученный раствор желтого цвета оттитровывается раствором тиосульфата натрия из капельницы. При этом ведется точный подсчет капель. Титрование ведут до светло-желтой окраски. После этого в колбу для титрования вводится примерно 1 мл раствора крахмала. Эта операция приводит к появлению синего окрашивания раствора из-за остатка комплекса иода. Раствор дотитровывается до полного обесцвечивания. При этом продолжается подсчет капель раствора титранта. Цену одной капли A раствора тиосульфата натрия из капельницы можно рассчитать по формуле (6):

$$A = (N \cdot V \cdot 8) / n, \quad (6)$$

где A — «цена капли» раствора тиосульфата натрия, мг O /капля; N — нормальность раствора дихромата калия, экв/л; V — объем раствора дихромата калия, который использован для калибровки, мл; 8 — масса одного эквивалента кислорода, г/экв; n — количество капель тиосульфата натрия, необходимых для полного оттитрования выделившегося иода.

Правила техники безопасности при работе с тесткомплексом для определения концентрации растворенного в воде кислорода

Тесткомплект может быть использован учителем, преподавателем или руководителем исследовательской группы, а также школьниками под руководством учителя или руководителя группы.

Тесткомплект содержит химические вещества, которые могут быть опасны при попадании на кожу или слизистые оболочки человека или животных. В связи с этим рекомендуется надевать перчатки и защитные очки при проведении работы с растворами.

При работе с тесткомплексом рекомендуется иметь при себе 3–5%й раствор соды и 2%й раствор уксусной кислоты или 2%й раствор борной кислоты.

При попадании растворов на кожу необходимо промыть пострадавшее место большим объемом воды. Если на кожу попали растворы кислоты или реактива Винклера (KJ + KOH), то кроме описанных действий необходимо промыть пораженное место раствором соды (если попала кислота) или раствором уксусной кислоты (если попал реактив Винклера). В случае серьезного поражения следует обратиться к врачу.

Особенно важно беречь глаза от попадания щелочи или кислоты.

При работе со шприцами-дозаторами иглы должны быть предварительно затуплены.

При проведении работ на водоемах необходимо использовать технические приспособления и средства для безопасности детей и взрослых участников исследований (например, спасательные жилеты). Отбор проб в глубоких или опасных местах следует взять на себя взрослым участникам работы.

Интерпретация данных о содержании кислорода в воде

Все протекающие в озерах биологические и химические процессы зависят от температуры и от гидрологической структуры водной толщи, которая также во многом зависит от этого фактора. Верхний слой воды хорошо прогревается и освещается. Поэтому основная масса фитопланктона (микроскопических водорослей и цианобактерий) сосредоточена именно здесь. Они образуют большую часть первичной продукции (органического вещества, произведенного в ходе фотосинтеза). Это органическое вещество затем становится основой функционирования сетей питания, за счет него существуют все остальные обитатели озера.

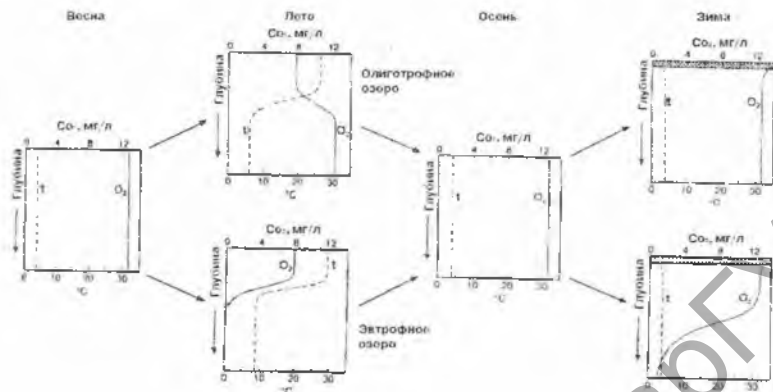


Рис. 28. Наиболее типичные варианты зависимости концентрации кислорода в воде озер от глубины

Процессы разложения органического вещества — процессы деструкции — также протекают в водоеме, причем в разных местах с разной интенсивностью. Эта интенсивность зависит от температуры, наличия доступного кислорода, отсутствия факторов, отрицательно сказывающихся на жизнедеятельности микроорганизмов, которые играют особенно значимую роль в данном процессе.

Существует несколько вариантов распределения по глубине концентрации кислорода в воде озер. Наиболее типичные из них представлены на рис. 28.

Весной и осенью за счет интенсивного перемешивания воды происходит выравнивание концентрации кислорода в воде. Летом в олиготрофном озере за счет низкой интенсивности процессов деструкции органического вещества в глубоине водоема кислород расходуется незначительно. Кроме того, температура воды там ниже, следовательно растворимость кислорода в этих условиях выше. Таким образом, в донных слоях условия для жизни гидробионтов более комфортны

Обратный эффект наблюдается в эвтрофном водоеме. И зимой, и летом в придонных слоях температура воды достаточна для протекания процессов деструкции органического вещества, которое накапливается здесь в большом количестве. При этом идет поглощение кислорода из воды. Но и летом, и зимой поверхностный слой почти не поставляет кислород в глубину. Летом из-за мешающего слоя температурного скачка — термоклина, а зимой из-за слоя льда. Поэтому с глубиной концентрация кислорода падает значительно, что приводит к заморам рыбы и других гидробионтов.

В олиготрофном озере зимой процессы деструкции также замедлены в связи с малым количеством накопленного органического вещества, поэтому концентрация кислорода в воде с глубиной падает незначительно.

Для иллюстрации многообразия процессов, связанных с концентрацией кислорода в воде, также полезно рассмотреть и нечасто встречающиеся явления, на-

пример максимумы или минимумы концентрации кислорода в зоне температурного скачка. Для этого полезно разобрать пример из реальных исследований. На основе этого примера сформулирована задача:

Во второй половине лета гидробиологи, работавшие на озере Глубоком (Рузский район Московской области), получили кривые вертикального распределения температуры и содержания растворенного кислорода. Эти графики приведены на рис. 29.

Температурная кривая свидетельствует о наличии четкой стратификации водной толщи, которая подразделяется на эпилимнион (зона над скачком температуры), металимнион (зона температурного скачка) и гипolimнион (зона, расположенная ниже температурного скачка). Распределение содержания растворенного кислорода в зависимости от глубины более сложное. Высокая его концентрация отмечена в эпилимнионе, затем видно резкое снижение (почти до нуля) в металимнионе, глубже — некоторое возрастание, вскоре сменяющееся падением. На больших глубинах кислорода в водной толще почти не было.

Необходимо объяснить, какими факторами в данном случае определяется вертикальное распределение кислорода. Почему кривая имеет именно такую, а не какую-либо другую форму.

При решении этой задачи нужно обратить внимание на то, каким образом от температуры зависит плотность воды. Вспомнить, что в процессе фотосинтеза в качестве побочного продукта во внешнюю среду выделяется кислород. В процессе же дыхания всех организмов (в том числе бактерий, разлагающих отмершее органическое вещество) кислород поглощается.

Гидробиологи, проводившие исследования, не сомневались, что выявленный ими сложный вертикальный профиль содержания кислорода в значительной мере определяется жизнедеятельностью организмов. Судя по приведенным графикам, в озере на момент обследования была сильно выражена температурная (а соответственно и гидрологическая) стратификация. В верхних слоях кислорода много — он поступает из атмосферы, а кроме того, выделяется в процессе фотосинтеза.

Необычайно сильное падение температуры с глубиной непосредственно под эпилимнионом, в зоне термоклина, — это одновременно и резкое возрастание плотности воды. Соответственно, здесь формируется нечто вроде «второго дна» — скачок плотности воды, на котором задерживаются опускающиеся сверху частицы детрита — отмершие клетки фитопланктона, фекалии планктонных ракообразных, трупы самих планктонных животных и т. п. Поскольку на этой глубине еще достаточно тепло, то на поступившую сверху органику набрасываются бактерии, которые, естественно, дышат, причем интенсивность обмена веществ у них чрезвычайно высокая. Неудивительно, что при этом весь присутствующий здесь кислород расходуется бактериями практически напрочь, а когда кислорода становится мало, весь процесс разложения органического вещества резко тормозится.

Глубже, как видно на графике, кислорода становится несколько больше. Откуда он? Это просто еще недоиспользованный бактериями кислород, который остал-

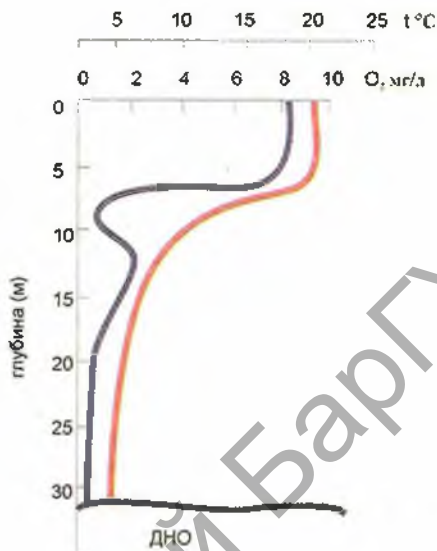


Рис. 29. Вертикальное распределение температуры (красная линия, °C) и содержания растворенного кислорода (синяя линия, мг/л) в водной толще небольшого глубокого озера в конце лета

ся в водной толще со времени весеннего перемешивания. Двигаясь по кривой профиля дальше вниз, можно увидеть, что с глубиной кислорода становится очень мало. Это также результат жизнедеятельности бактерий, осуществляющих разложение всего того детрита, который постепенно опускается из толщи воды вниз.

Эти процессы характерны для озер и водохранилищ. Для рек, в которых преобладает перемешивание воды, такие явления не характерны. Однако в местах, где формируются застойные явления, можно наблюдать аналогичные особенности кислородного и температурного режима.

Нитраты, нитриты, ион аммония

В начале XX в. в промышленности научились фиксировать азот из воздуха. И вот уже в настоящее время химическая промышленность извлекает из воздуха более 120 млн т азота в год. Теперь сельскохозяйственные территории получили возможность компенсировать расходы соединений биогенных элементов за счет внесения в почву минеральных удобрений. Однако эффективность применения их невысока. Значительная часть азота и фосфора не расходуется для получения сельскохозяйственной продукции, а вместе с поверхностным стоком попадает в водные объекты, вызывая экологические проблемы.

В настоящее время значительный избыток азота накапливается в биосфере и, попадая в озера и океаны, приводит (наряду с фосфором) к повышению трофи-

ческого статуса (изменение уровня трофности) водоемов, снижению концентрации кислорода в придонных слоях и вымиранию там всего живого — появлению «мертвых зон».

Балтийское и Черное моря, к бассейнам которых относится и Беларусь, в значительной мере страдают от этой проблемы.

Соединения азота вместе с соединениями фосфора создают большинство этих проблем. Азот в разных формах практически всегда присутствует в природных водах. Эти соединения имеют как органическую, так и неорганическую природу. Неорганические, или минеральные, формы — это аммиак и ионы аммония, нитриты и нитраты. К органическим относят белки и продукты их разложения, например аминокислоты, полипептиды, амины, мочевины и т. п.

Значительная часть азотсодержащих соединений поступает в водные объекты в процессе распада отмерших организмов или разложения продуктов жизнедеятельности водных организмов. Также важную роль играют атмосферные осадки, поверхностный и речной сток с территории водосборного бассейна, сточные воды населенных пунктов и предприятий, сельскохозяйственные загрязнения (стоки с животноводческих комплексов, полей, складов и свалок минеральных удобрений).

Понижение же концентрации соединений азота связана с разными процессами. Так, минеральные формы поглощаются высшей водной растительностью, фитопланктоном и бактериями, тогда как органические формы азота разлагаются только микроорганизмами.

В водных объектах существует круговорот соединений азота. Он включает следующие процессы:

- аммонификация;
- нитрификация;
- потребление нитратов фитопланктоном и высшими водными растениями;
- денитрификация.

Аммонификация. Растворенные в воде органические вещества служат питательным кормом для очень большой группы организмов. Их называют гетеротрофы. Это, преимущественно, бактерии и грибы. Гетеротрофная форма жизни основана на переработке живыми существами только готовых органических соединений, ранее синтезированных другими живыми организмами. Усвоенные ими органические вещества используются по двум направлениям: для роста и развития и для получения энергии.

В первом случае органические вещества перерабатываются и становятся «кирпичиками» для построения тела. А во втором случае, например у аминокислот, отщепляется аминогруппа в форме аммиака, а остатки разлагаются с выделением энергии, нужной для жизни. При этом в качестве отходов образуются аммиак, углекислый газ, вода, а также некоторые органические соединения, содержащие азот.

Полностью переводят аминокислоты в аммиак и ионы аммония некоторые микроорганизмы. Группа микроорганизмов, которые поступают именно так, —

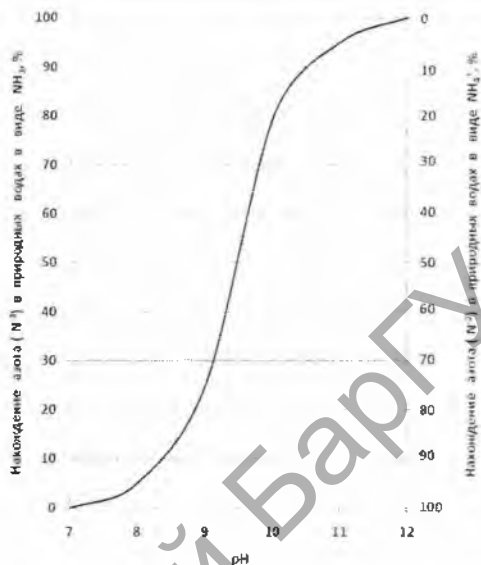


Рис. 30. Зависимость вероятности нахождения азота N^3 в формах аммиака или иона аммония от величины pH

весьма многочисленна. Эти бактерии используют не только белки, но и другие органические вещества. При этом аммиак — отход их жизнедеятельности — становится пищей для других микроорганизмов, осуществляющих процесс нитрификации. Ионы аммония содержатся в воде в концентрации, выражаемой сотыми или десятими долями миллиграмма на литр. Несмотря на такое небольшое содержание, азот в этой форме токсичен для жителей водоемов. Особую токсичность он приобретает в щелочной среде, когда переходит в аммиак. При этом аммоний отдает ион водорода. Аммиак же, в свою очередь, может перейти обратно в аммоний, присоединив к себе ион водорода. Чем больше в воде свободных ионов водорода (т. е. чем ниже pH), тем больше в ней будет аммония и меньше аммиака и наоборот. Токсичность аммония (NH_4^+) намного ниже, чем аммиака (NH_3).

Зависимость вероятности нахождения азота N^3 в формах аммиака или иона аммония от величины pH приведена на рис. 30. Следовательно, при высоком pH (7,5–8,0) проблема аммиачного отравления существенно выше, чем при низком pH. Так, в Беларуси установлены предельно допустимые концентрации в воде водоемов, используемых для рыбохозяйственных целей (ПДК_{вр}), аммиака — 0,05 мг/л, а для иона аммония эта же величина почти в 8 раз больше — 0,39 мг/л. Микроорганизмы, окисляющие аммиак и ион аммония (нитрифицирующие бактерии) в природных водоемах есть всегда. Поэтому ионы аммония быстро переходят в нитрит-ионы. Присутствие ионов аммония или аммиака в большой концентрации указывает на свежее загрязнение природных вод. При чем такое загрязнение должно обязательно содержать белки, аминокислоты или другие органические вещества, содержащие азот. Обычно такая ситуация специалистами связывается с фекальным загрязнением, именно так вы-

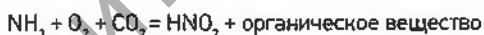
глядит результат анализа воды, загрязненной стоками с животноводческих комплексов и неэффективно работающих очистных сооружений. Примерные концентрации азота аммонийного в воде с разной степенью загрязненности приведены в табл. 11.

Таблица 11. Концентрации азота аммонийного в воде разной загрязненности

Степень загрязнения (классы водоемов)	Концентрация азота аммонийного, мг/л
Очень чистые	0,05
Чистые	0,1
Умеренно загрязненные	0,2–0,3
Загрязненные	0,4–1,0
Грязные	1,1–3,0
Очень грязные	>3,0

Нитрификация. Нитрификация — микробиологический процесс окисления аммиака до нитрит-иона или его самого далее до нитрат-иона.

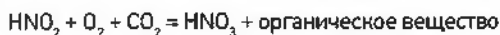
На первой стадии процесса бактерии рода *Nitrosomonas* и некоторые другие микроорганизмы в присутствии кислорода окисляют азот аммиака до нитритов. В кислой среде процесс не идет. Оптимальная температура для протекания этого процесса 25–30 °С и рН 7,5–8,0. Это превращение, которое осуществляют микроорганизмы, можно выразить следующим уравнением:



Концентрация этого иона обычно составляет в воде тысячные доли миллиграмма на литр. Для этого иона ПДК_{рп} составляет 0,08 мг/л. Такое низкое значение также указывает на достаточно высокую токсичность этого соединения.

Азот в нитритной форме также не задерживается в этом виде. Нитриты являются нестойкой промежуточной формой нахождения минерального азота, следовательно его наличие в воде в значительной концентрации опять указывает на «свежее» загрязнение.

Следующая стадия процесса нитрификации связана с превращением нитрит-иона в нитрат-ион. В этом помогают бактерии рода *Nitrobacter*. Процесс можно описать уравнением



Нитраты являются конечной стадией превращения минеральных форм азота. Концентрация нитратов в незагрязненных поверхностных водах изменяется в более широких пределах — от 0 до 3 мг/л, иногда достигая 4–5 мг/л. При этом для этого иона ПДК_{рп} составляет 40 мг/л. Его токсичность для жителей водных объектов не так велика по сравнению с другими формами минерального азота.

Энергия, выделенная при окислении аммиака и нитритов, используется микроорганизмами-нитрификаторами для процессов жизнедеятельности. Таким образом бактерии осуществляют процесс самоочищения водоема.

Потребление нитратов фитопланктоном и водными растениями. Все организмы, связывающие неорганические формы азота для построения своего тела, способствуют очищению водоема от минеральных форм азота. Наиболее легко ими поглощаются нитрат-ионы и ионы аммония. При достаточном количестве этих соединений азота в присутствии достаточного количества фосфора, света и углекислого газа фитопланктон и крупные растения водных объектов начинают активно расти и размножаться. И в случае избытка соединений биогенных элементов и остальных благоприятных условий можно наблюдать цветение водоемов.

Денитрификация. Восстановление нитратов в бескислородных условиях осуществляется в водоеме группа микроорганизмов, которые называются денитрификаторы. Процессы денитрификации протекают по двум направлениям. При этом выделяется аммиак или молекулярный азот. Эти процессы можно описать следующими уравнениями:



Процессу денитрификации препятствует наличие растворенного кислорода. Поэтому данный процесс идет преимущественно в придонном слое.

Определение соединений азота в природных водах

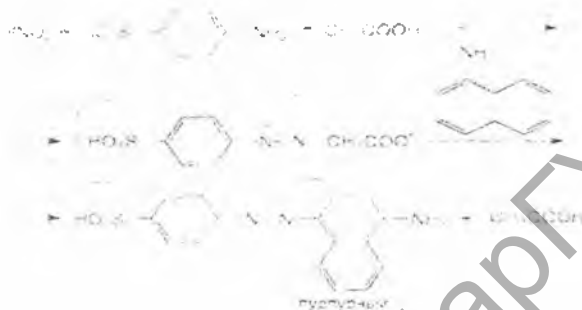
Обычно при выявлении загрязнения природных вод соединениями азота обращают внимание на ион аммония, нитрит- и нитрат-ионы. Для этих веществ разработано множество методов определения. Наиболее часто используют оптические методы анализа, спектрофотометрию или колориметрию в разных ее вариантах. Также для определения содержания нитрат-иона используют потенциометрический метод с применением нитрат-селективного электрода.

В школьных исследованиях обычно применяют визуально-колориметрические методы, которые разработаны для каждого из этих веществ. Методы основаны на проведении химических реакций в пробирках, на специальной бумаге, таблетках или порошках. При протекании реакций реакционная зона меняет свой цвет, причем интенсивность окраски пропорциональна концентрации определяющего вещества. Такие методы обычно реализуются в виде экспресс-тестов, содержащих набор реактивов, индикаторные порошки, таблетки, трубки, полоски с нанесенной реакционной зоной, а также стандартную цветовую шкалу. Сопоставляя развившееся окрашивание с цветовой шкалой, можно определить концентрацию определяемого вещества в пробе воды.

Для изготовления экспресс-тестов для определения нитратов и нитритов применяют метод анализа с использованием реактива Грисса. Он основан на спо-

способности первичных ароматических аминов в присутствии азотистой кислоты давать интенсивно окрашенные диазосоединения розового цвета.

Процесс можно описать следующей схемой:



Как видно из схемы, в реакцию с сульфаниловой кислотой вступает нитрит-ион. Для нитрат-иона такая реакция нехарактерна. В связи с этим экспресс-тесты, предназначенные для определения нитрат-иона, содержат еще и восстановитель, который переводит нитрат в нитрит.

Однако стоит понимать, что так как метод позволяет видеть нитрат-ион после соответствующей подготовки вместе с нитрит-ионом, следовательно, при присутствии в пробе воды нитрит-иона в ощутимой концентрации определение нитрат-иона без применения специальных приборов становится невозможным. Таким образом, метод применим для определения нитратов только в том случае, если в воде нет заметного количества мешающего нитрита.

В некоторых экспресс-тестах используются и другие методы. Однако реакция Грисса и варианты на основе ее модификации наиболее часто встречаются в Беларуси.

Для определения содержания иона аммония в природных водах используются визуально-колориметрические варианты определения, основанные на образовании окрашенных соединений. Например, в последнее время часто применяют метод анализа, где ионы аммония в щелочной среде реагируют с хлором, образуя хлорамины, которые в присутствии катализатора взаимодействуют с фенолом или салициловой кислотой, образуя индофенолы, имеющие синюю окраску.

Для правильного выбора экспресс-теста необходимо обратить внимание на диапазон концентраций, для которого предназначен тест. Как правило, индикаторные бумаги и тест-полоски работают более грубо, тогда как тесты, проводящиеся в пробирках, позволяют определять значительно более низкие концентрации загрязняющих веществ.

Также при выборе экспресс-тестов следует обратить внимание на то, для анализа какой воды производитель рекомендует использовать экспресс-тест. Так, встречаются тесты для речной и озерной воды (поверхностные воды суши), для подземных вод, для загрязненных вод, для морских вод. Они могут отличаться как по своей чувствительности, так и по тому, какие примеси в пробе воды могут для них оказывать мешающее действие.

Информационная работа с населением

Часто мы думаем, что общественное участие — это требование граждан учитывать их мнение. Общественное участие — это непрерывный процесс взаимодействия между учреждением, ответственным за принятие решения, и гражданами, чьи интересы затронуты последствиями планируемого решения, а также государственными органами, регулирующими данный вид деятельности.

Чтобы обеспечить данное взаимодействие, необходима информационная работа с населением. Зачастую решение проблемы находится в руках самого населения, но граждане ожидают решений и действий от госорганов, не в состоянии высказать собственное мнение по отношению к действиям предприятий-загрязнителей водных ресурсов. Участие общественности способствует прозрачности процесса принятия решений, а также повышает ответственность должностных лиц.

Существует понятие гражданского общества, которое включает в себя волонтерские и некоммерческие организации различных видов, благотворительные учреждения, общественные движения, другие формы общественного участия и взаимодействия, ценности и культурные традиции, связанные с ними. Гражданское общество является одновременно контролером и движущей силой в обществе, служит общественным потребностям.

Обществу известно огромное количество контролеров-наблюдателей, таких как милиция, налоговые инспекторы, экологические инспекторы. Многие организации гражданского общества играют роль защиты прав человека и природных территорий и проверяют, как официальные учреждения обеспечивают исполнение законов.

Нет ничего необычного в том, что вы хотите повлиять на тех, кто принимает решения, и убедиться в том, что они соблюдают те условия, которые были оговорены.

Теперь нужно задать себе вопрос: «На что я готов? Буду требовать или участвовать?»

Лоббировать. Лоббист ищет возможности, используя такие слова, как «мог бы, сделал бы», он должен обладать знаниями о процессах принятия решений.

Наблюдать. Наблюдатель ищет обязательства, использует такие слова, как «должен, следует».

Ваша организация определила проблему, которую вы хотите решить. Нужно хорошо ознакомиться с ней, найти все факты, обстоятельства, документы и положения, которые могут быть уместными: в чем заключается проблема и каково, среди многих, оптимальное решение; на каком этапе находится процесс принятия решений; кто отвечает за различные аспекты вопроса; кто будет союзником;

кто будет против предлагаемого решения; кто выиграет от решения; когда и какое (какие) действие (действия) необходимо предпринять.

Приобщение населения к вашему делу для того, чтобы добиться перемен, включает в себя исследование его интересов и потребностей, работу на основании СМИ и эффективного письма.

Что может быть лучше хорошего примера?

В Швеции 30 лет назад пришли к выводу о необходимости раздельного сбора мусора. Процесс разъяснений затянулся. Тогда с согласия и поддержки губернатора острова Готланд была проведена акция. На центральной площади в месте проведения городского мероприятия была разостлана пленка, на которую въехал грузовик и выгрузил слизистую и зловонную массу, привезенную со свалки. Сейчас в Швеции ребенок, только научившийся ходить, несет салфетку в соответствующий по цвету мини-контейнер, установленный на кухне. А в субботний день жители с гордостью привозят раздельно собранный мусор на свалку, которая в нашем понимании таковой не является.

В городе Дисна 10 лет назад проведена акция «чистый город». Очищены от свалок 9 км береговой линии в черте города. Акция проходила с участием местных жителей, которые ранее не задумывались о будущем своих детей и внуков и годами выносили мусор на берега рек Дисна и Западная Двина, надеясь, что весной река очистит берега.

Как экологический пост может сотрудничать с органами власти при обнаружении проблемы? Как и куда правильно писать официальные письма, запросы, каков четкий алгоритм действий при выявленных нарушениях?

В случае если физическое лицо или организация гражданского общества намерены представить заявление в инстанцию, следующая информация должна быть изучена и принята во внимание.

1. Информация о заявителе, подавшем заявление:

Полное название обратившейся организации или лица (лиц): ...

Постоянный адрес: ...

Адрес для пересылки корреспонденции по этому вопросу, если отличается от постоянного адреса: ...

Телефон: ...

Факс: ...

Электронная почта: ...

Если заявление подается группой лиц, то представьте вышеназванную информацию по каждому лицу и укажите одно контактное лицо.

Если заявление подается организацией, представьте следующую информацию о контактном лице, уполномоченном представлять организацию по вопросу данного заявления:

Фамилия, имя: ...

Должность: ...

2. Факты заявления

Подробно изложите факты и обстоятельства утверждаемого несоблюдения норм законодательства, Орхусской Конвенции. Включите все вопросы, имеющие значение для оценки и рассмотрения вашего заявления. Объясните как, по вашему мнению, изложенные факты и обстоятельства демонстрируют нарушение законодательства или положений Конвенции.

3. Положения, имеющие отношение к заявлению

Перечислите как можно более точно положения (статьи, параграфы) законодательного акта, которые, по утверждению, не соблюдаются.

4. Использование иных средств защиты прав или других процедур

Укажите, использовались ли какие-либо процедуры для рассмотрения конкретного случая несоблюдения, являющегося предметом заявления, и укажите, какие процедуры были использованы, когда и какие жалобы подавались. Каковы были результаты.

5. Конфиденциальность

Если вы четко не обозначили просьбу о конфиденциальности, то вся информация, содержащаяся в вашем заявлении, считается неконфиденциальной. Если вы обращаетесь с просьбой о том, чтобы сохранить конфиденциальность какой-либо информации, то вы должны четко указать, какой именно. Вы можете написать, почему вы хотели бы сохранить ее конфиденциальность, но это сугубо на ваше усмотрение.

6. Вспомогательные документы (копии, а не оригиналы):

- соответствующее национальное законодательство с выделенными положениями, относящимися к делу;
- решения/результаты других процедур;
- другие документы, подтверждающие информацию, о которой говорится в заявлении, особенно касающуюся п. 5;
- материалы переписки с органами власти;

Желательно не включать посторонние или ненужные документы, а если необходимо приложить объемный документ, то постарайтесь выделить те части, которые представляют наибольшую ценность.

7. Резюме

Приложите к вашему заявлению краткое резюме всех значимых фактов (например в датах).

8. Подпись

Заявление должно быть подписано и датировано. Если заявление подается организацией, то оно должно быть подписано лицом, уполномоченным выступать от имени организации.

9. Адрес

Заявление направляется по адресу нахождения учреждения.

Основные правила техники безопасности при изучении водных объектов

1. Будьте всегда внимательны.
2. Не отрывайтесь от группы, будьте всегда на виду у своих товарищей.
3. Не переходите реку вброд, не организовав страховку.
4. Не организовывайте игры на берегу реки.
5. Не пейте сырую воду.
6. Во время проведения обследования водоемов и прибрежных территорий не употребляйте пищу.
7. После окончания обследования вымойте руки с мылом.
8. Не оставляйте после себя мусор, кострища.

ПРИМЕРНАЯ ПРОГРАММА школьного экологического клуба

Данная программа составлена с целью обеспечения дополнительного экологического образования учащихся основной общеобразовательной школы; формирования у учащихся навыков исследовательской и творческой мыслительной деятельности; формирования навыков экологического мышления и поведения. Если вы ставите перед собой такие же цели — эта программа поможет вам в вашей работе.

Пояснительная записка

Цели программы:

- формирование экологической культуры школьников;
- подготовка школьников к научно обоснованному решению проблем взаимодействия человека с природой;
- выработка у школьников позитивно-активной жизненной позиции в отношении природы родного края.

Задачи программы:

- расширить экологические знания школьников, формируемые в школьном курсе, на основе природных объектов родного края;
- сформировать у учащихся понятие о целостности природных комплексов и ценности биоразнообразия;
- обеспечить более разнообразную практическую деятельность учащихся по изучению основ экологии и природы родного края;
- закрепить навыки исследовательской работы с использованием лабораторного оборудования и компьютерных технологий;
- познакомить учащихся с основами экологического туризма;
- сформировать навыки экологически грамотного поведения в природе;
- укрепить психическое и физическое здоровье школьников.

Особенности программы:

- рассчитана на 2 года обучения; 2 ч в неделю;
- составлена с учетом возрастных особенностей и уровня подготовки учеников 5–6-х классов общеобразовательной школы;
- включает изучение природы и экологических особенностей своей территории (района, сельсовета, города, деревни);

- предусматривает использование межпредметных связей со школьными учебными предметами: биологией, географией, физикой, химией, краеведением, информатикой, физической культурой;
- изучение некоторых тем предусматривает тесное сотрудничество со специалистами местного лесничества, землеустроительства, комитета охраны природы, а также с работниками негосударственных природоохранных организаций;
- предусматривает теоретические и практические занятия, экскурсии и походы;
- практические занятия могут проводиться как в помещении, так и на местности, в природных условиях.

Структура программы

Программа представлена:

- пояснительной запиской;
- тематическим планированием;
- основным содержанием;
- описанием методического обеспечения.

Методы обучения и формы занятий

Программа предполагает использование преподавателем всего арсенала методов обучения: общедидактических (рассказ, лекция, беседа, работа с книгой), методов обучения предметам естественно-научного цикла (наблюдение, эксперимент), а также современных компьютерных технологий. Реализация программы осуществляется через различные формы организации учебно-познавательной деятельности: лекции, беседы, деловые игры, экскурсии, лабораторные и практические работы, проектные, исследовательские и экспериментальные работы.

Прогнозируемые педагогические результаты

Программа школьного экологического клуба предусматривает:

- 1) знакомство учащихся:
 - с природой родного края и его экологическим состоянием;
 - основными методами экологических исследований;
 - основным лабораторным оборудованием и правилами работы в лаборатории;
- 2) формирование у учащихся:
 - любви и бережного отношения к природе родного края;
 - умения исследовать состояние и изменение экосистем;

- умения практически решать экологические задачи;
 - навыков работы с лабораторным оборудованием;
- 3) развитие у учащихся:
- экологической культуры;
 - самостоятельного мышления;
 - исследовательских навыков;
- 4) создание условий:
- для творческой самореализации личности учащихся;
 - социального, культурного и профессионального самоопределения;
 - профилактики асоциального поведения;
 - укрепления психического и физического здоровья учащихся.

По окончании двух лет обучения по программе «Юные экологи» дети будут иметь возможность использовать полученные знания, умения и навыки:

- 1) при изучении таких учебных предметов общеобразовательной школы, как экология, биология, химия, физика, география, физическая культура и информатика;
- 2) в ведении домашнего и приусадебного хозяйства;
- 3) в будущей профессиональной деятельности, связанной с необходимостью исследования, принятия экологических решений, а также отслеживанием качества компонентов окружающей среды;
- 4) в проявлении своей гражданской жизненной позиции.

Способы определения результативности занятий

Дети, занимающиеся в кружке, имеют возможность принимать участие в ежегодном районном конкурсе «Экологическая тропа», в ежегодной районной научно-практической конференции исследовательских работ учащихся, в ежегодном районном туристическом слете школьников. Дети, получившие подготовку по программе «Школьный экологический клуб», принимают участие в праздничной итогово-зачетной программе «Фестиваль малых рек».

Основное содержание

1-й год обучения

1. **Введение** (1 час). Зачем нужно изучать природу. Что такое экология. Методы экологических исследований. Правила техники безопасности при выполнении исследовательских работ в лаборатории и на природе. ПДД при движении группой. План работы кружка на год. Выбор старосты. Экология — наука о взаимоотношениях живых организмов и среды их обитания. Экологическая культура человека. Техника безопасности.
2. **Понятие о биосфере** (1 час). Что такое биосфера. Солнечная энергия — основной источник энергии для биосферы Земли. Типы питания живых организмов. Компоненты биогеоценоза. Графическое изображение передачи энергии веществ по группам питания. Структура биогеоценоза. Биосфера. Строение и состав биосферы. Автотрофы и гетеротрофы. Пирамида продукции. Продуценты. Консументы. Редуценты. Биогеоценоз. Экотоп.
3. **Понятие экосистемы** (4 часа, из них 1 час — теоретическое занятие и 3 часа — экскурсия). Что такое экосистема. Экосистема — сообщество живых организмов и среда их обитания. Типы экосистем. Факторы экосистемы: биотические, абиотические и антропогенные. Части экосистемы. Устойчивость экосистем. Равновесие и его нарушение. Экскурсия «Экосистема школьного двора».
4. **Луг и пастбище** (5 часов, из них 1 час — теоретическое занятие, 1 час — практическое занятие, 3 часа — экскурсия). Что такое луг. Что такое пастбище. Луг. Заливные луга. Суходольные луга. Пастбище. Растительность лугов и пастбищ. Животный мир лугов и пастбищ. Экскурсия «Заливные луга у поймы водного объекта».
5. **Лес** (5 часов, из них 1 час — теоретическое занятие, 1 час — практическое занятие, 3 часа — экскурсия). Что такое лес. Лесная экосистема. Хвойные леса. Лиственные леса. Смешанные леса. Роща. Бор. Тайга. Леса Беларуси. Коренные леса. Восстановленные леса. Лесопосадки. Растительный и животный мир лесов области. Экскурсия «Экосистема леса».
6. **Водные биоценозы** (5 часов, из них 1 час — теоретическое занятие, 1 час — практическое занятие, 3 часа — экскурсия). Особенности водных экосистем. Разнообразие водных экосистем. Река. Речка. Озеро. Пруд. Водные ресурсы области. Водные ресурсы района. Растительный и животный мир пресных водоемов. Экскурсия «Наша река (озеро, пруд)».
7. **Городская экосистема** (5 часов, из них 1 час — теоретическое занятие, 1 час — практическое занятие, 3 часа — экскурсия). Особенности городских экосистем. Разнообразие городских экосистем. Селитебная зона. Промышленная зона. Зона отдыха. Парк. Сквер. Аллея. Овраг. Пруд. Речка. Свалка. Растительный и животный мир городов. Экскурсия «Экосистема Города».

8. **Охрана природы и заповедное дело** (5 часов, из них 1 час — теоретическое занятие, 1 час — практическое занятие, 3 часа — экскурсия). Природоохранные законы Республики Беларусь. Природоохранные организации. Экскурсия в лесхоз, в инспекцию природных ресурсов и охраны окружающей среды.
9. **Эколого-туристическая подготовка** (10 часов, из них 1 час — теоретическое занятие, 11 часов — практические занятия). Эколого-туристическая подготовка. Правила техники безопасности в походе, при выполнении исследовательских работ на природе. ПДД. Туристическое снаряжение. Рюкзак. Палатка. Костровое оборудование. ТБ при разведении костра. Карта и компас. Ориентирование. Описание экосистемы. Мониторинговые наблюдения за состоянием экосистем на маршруте похода.
10. **Общественно-агитационная работа** (8 часов, из них 2 часа — практические занятия в помещении, 6 часов — на местности). Общественно-агитационная работа. Международный экологический календарь. Экологические акции. Дни наблюдения птиц. Программы «Живая ель», «Первоцветы», «Антипал».
11. **Индивидуально-групповая проектная работа** (8 часов, из них 2 часа — теоретические занятия, 3 часа — практическая работа в помещении и 3 часа — на местности). Каким бывает экологический проект. Экологические проблемы. Виды проектной деятельности. Правила работы над проектом. Структура проекта. Источники информации. Поиск и хранение информации. Оформление проекта. Защита проекта.
12. **Подготовка и участие в районных экологических конкурсах** (6 часов, из них 4 часа — теоретические занятия, 2 часа — практические занятия в помещении). Экологические конкурсы. Районные и областные экологические конкурсы.
13. **Подготовка и проведение праздничной итогово-зачетной программы «Фестиваль малых рек»** (5 часов, из них 2 часа — в помещении и 3 часа — на местности). Экологические игры, соревнования. Подведение рейтинга достижений учащихся за год.

2-й год обучения

1. **Организационное занятие** (1 час). Правила техники безопасности при выполнении исследовательских работ в лаборатории и в природе. План работы кружка на год. Выбор старосты. Экология — наука о взаимоотношениях живых организмов и среды их обитания. Экологическая культура человека. Техника безопасности.
2. **Основы экологических знаний** (16 часов, из них: 8 часов — теоретические занятия, 8 часов — поход выходного дня). Основы экологических знаний. Экологическое краеведение. Особенности географического положения области. Природные условия на территории области. Особенности болотных экосистем. Формирование болота на месте озера. Живот-

ный мир области. Растительный мир области. Развитие промышленности и экологические проблемы. Развитие массового туризма и проблемы сохранения природы в зонах отдыха и туризма. Природные зоны. Климат. Болото. Смена экосистем в природе. Промышленность района. Выбросы вредных веществ. ПДК. Изменение окружающей среды. Зоны отдыха. Красная книга.

3. Экологический практикум (13 часов, из них 1 час — теоретическое занятие, 2 часа — практикум в помещении и 10 часов — исследовательская работа в природных условиях). Экологический практикум. Организация экологических наблюдений. Формы исследовательской деятельности. Экологическое рисование. Изучение биоразнообразия. Исследование влияния транспорта на загрязнение атмосферы. Исследование качества воды природных водоемов. Мониторинг. Лихеноиндикация. Биотестирование. Химический анализ воды природных водоемов.
4. Охрана природы и заповедное дело (4 часа, из них 1 час — теоретическое занятие, 3 часа — экскурсия). Особо охраняемые природные территории. ООПТ области и района. Экскурсия в дендропарк.
5. Эколого-туристическая подготовка (8 часов, из них 1 час — теоретическое занятие, 1 час — практикум в помещении и 6 часов — полевое занятие). Правила техники безопасности в походе, при выполнении исследовательских работ на природе. Туристическое снаряжение. Рюкзак. Палатка. Костровое оборудование. ТБ при разведении костра. Карта и компас. Ориентирование. Описание экосистемы. Мониторинговые наблюдения за состоянием экосистемы. Поход выходного дня.
6. Общественно-агитационная работа (8 часов, из них 2 часа — практикум в помещении и 6 часов — на местности). Общественно-агитационная работа. Международный экологический календарь. Экологические акции. Дни наблюдения птиц. Программы «Живая ель», «Первоцветы», «Антипал».
7. Индивидуально-групповая проектная работа (5 часов, из них 1 час — теоретическое занятие, 2 часа — практикум в помещении и 2 часа — исследование в природных условиях). Проектная работа. Выбор темы проекта. Поиск и хранение информации. Исследовательская часть работы. Оформление проекта. Требования к оформлению проектной исследовательской работы.
8. Подготовка и участие в районных экологических конкурсах (6 часов, из них 4 часа — теоретические занятия, 2 часа — практические занятия). Экологические конкурсы. Районные и областные экологические конкурсы.
9. Подготовка и проведение праздничной итогово-зачетной программы «Фестиваль малых рек» (5 часов, из них 2 часа — в помещении и 3 часа — на местности). Экологические игры, соревнования. Подведение рейтинга достижений учащихся за год.

**ПРИМЕРНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАНЯТИЙ
школьного экологического клуба**

Раздел программы	Количество часов	
	теория	практика
Первый год обучения		
Введение	1	
Понятие о биосфере	1	
Понятие экосистемы	1	3
Луг и пастбище	1	4
Лес	1	4
Водные биоценозы	1	4
Городская экосистема	1	4
Охрана природы и заповедное дело	1	4
Эколого-туристическая подготовка	1	9
Общественно-агитационная работа		8
Индивидуально-групповая проектная работа	2	6
Подготовка и участие в районных экологических конкурсах	4	2
Подготовка и проведение праздничной итогово-зачетной программы «Фестиваль малых рек»	2	3
Всего	68 часов	

Второй год обучения		
Организационное занятие	1	
Основы экологических знаний	8	8
Экологический практикум	1	12
Охрана природы и заповедное дело	1	3
Эколого-туристическая подготовка	1	7
Общественно-агитационная работа	2	8
Индивидуально-групповая проектная работа	1	4
Подготовка и участие в районных экологических конкурсах	4	2
Подготовка и проведение праздничной итогово-зачетной программы «Фестиваль малых рек»	2	3
Всего	68 часов	

Экологический паспорт реки

I. Общие сведения о реке

1. Название
2. Речная система (к какому водосбору принадлежит водный объект)
3. Главная река или приток (какого порядка)
4. Исток (начало реки)
5. Устье (место впадения)
6. Длина реки
7. Протекает по территориям
(районы, населенные пункты)
8. Притоки: правые левые
9. Плотины, запруды (местоположение)
10. Для искусственных водотоков (каналы, канавы):
 - Характер водотока (копанный, бетонные берега и др.)
 - Когда он был создан? Зачем он был создан?

II. Характеристика реки и ее долины в месте исследования

1. Описание местоположения исследуемого участка реки:
(в верхнем течении/ближе к истоку,
среднем, нижнем/ближе к устью)
2. Местоположение створа наблюдений
3. Особенности речной долины:
 - ширина
 - форма
 - наличие террас, их количество, какими породами сложены
 - растительность по берегам реки и на склонах речной долины
 - пойма реки: ширина, растительность, слагающие породы
4. Родники в долине реки (количество, расположение)
5. Русло реки:
 - ширина
 - глубина (максимальная, средняя)
 - наличие островов, бродов, протоков,
перекатов и их расположение

- особенности грунта дна
 - скорость течения
 - расход воды
6. Оценка качества воды:
- мутность
 - цвет
 - осадок
 - прозрачность
 - запах
 - температура

III. Жизнь в реке и у реки

1. Прибрежная растительность (преобладающие и редкие виды)
2. Водная и донная растительность (преобладающие и редкие виды)
3. Степень зарастания русла (% площади)
4. Рыба (обычные и редкие виды)
5. Раки (наличие и количество)
6. Донные организмы
7. Звери, птицы, их следы
8. Беспозвоночные животные на берегах реки

IV. Использование реки и ее долины

1. Населенные пункты в долине реки и по берегам и расстояние до реки
2. Промышленные и сельскохозяйственные предприятия, их расположение
3. Тип и площадь сельскохозяйственных угодий (поля, луга для выпаса скота)
4. Объекты для отдыха (дома отдыха, детские лагеря, пляжи и т. п.)
5. Наличие судоходства или сплава леса
6. Ведение рыболовства (способы ловли рыбы)
7. Использование для водоснабжения и хозяйственно-бытовых нужд

V. Источники загрязнения реки

1. Природные источники и причины изменения качества воды
2. Антропогенные источники загрязнения реки
3. Места сброса неочищенных вод
4. Места сброса очищенных сточных вод (способ очистки)
5. Ширина водоохранной зоны реки

VI. Заключение

1. Выявленные экологические проблемы
2. Предпринятые меры
3. Дата составления паспорта и авторы

Репозиторий БарГУ

Паспорт пункта наблюдения за состоянием поверхностных вод

Общая характеристика реки

1. Название реки
2. Принадлежность к бассейну
3. Притоком какой реки является
4. Длина реки км
5. Извилистость реки
6. Уклон реки
7. Наличие притоков:
 - правых
 - левых
8. Площадь водосбора реки км²
9. Характеристика водосбора:
 - лесистость.....%
 - заболоченность.....%
 - распаханность.....%
10. Общая длина спрямленных (канализированных) участков русла км
11. Характеристика гидротехнических сооружений (если имеются)

Вид гидротехнического сооружения	Расстояние от устья реки, км	Предназначение гидротехнического сооружения

Характеристика пункта наблюдения

1. Название реки
2. Пункт наблюдения
3. Характеристика участка реки, расположенного выше по течению от пункта наблюдения:
 - длинакм
 - площадь водосбора км²
4. Характеристика водосбора:
 - лесистость %
 - заболоченность %
 - распаханность %
5. Сведения о створах пункта наблюдения

Номер створа	Месторасположение створа	
	Расстояние от устья реки	Направление и расстояние от постоянного ориентира

6. Цель наблюдений
7. Периодичность наблюдений
8. Перечень наблюдений

Приложение 7

Форма отчета для экологических постов и школьных экологических клубов

наименование ЭП/ШЭК)

(дата отчета)

№ п/п	Дата и время	Место обследования	Обнаруженное нарушение	Реагирование	Состав участников	Примечание
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)

Фамилия, имя, отчество руководителя экологического поста

- 1) нумерация;
- 2) время для установления причинной связи. Например, обнаружили масляные пятна или пятна иного характера. Зная скорость течения реки, можно доказательно предъявить претензию нарушителю о том, что в такое-то время осуществлялся слив сточных вод, мойка автомобиля и др.;
- 3) работала группа экологического поста в пределах своего участка;
- 4) описать обнаруженное нарушение, данные химического анализа;
- 5) описать быстрое реагирование. Возможно, нарушитель обнаружен на месте либо факт нарушения сообщен органам власти;
- 6) факт нарушения должен быть подтвержден тремя свидетелями. Нужно указать свою группу из членов ЭП или местных жителей;
- 7) сопутствующая факту нарушения информация.

Список использованных источников

1. Байчоров, В. М. Экологические риски и оценка состояния водотоков Беларуси / В. М. Байчоров, Г. М. Тишиков, Н. Н. Рощина; Нац. акад. наук Беларуси, Ин-т зоологии. — Минск: Беларуская навука, 2006. — 116 с.
2. Балашенко, С. А. Право на благоприятную окружающую среду (как его защищать?): практ. пособие. / С. А. Балашенко, Е. В. Лаевская, Т. И. Макарова. — Минск: [Б. и.], 2000. — 160 с.
3. Водные ресурсы Республики Беларусь, их использование и качество вод / М-во природ. ресурсов и охраны окружающей среды Респ. Беларусь; А. Н. Колобаев [и др.]; ред.: А. Н. Рачевский, В. Н. Счисленок. — Минск: [Б. и.], 2002. — 20 с.
4. Гидрологический мониторинг Республики Беларусь. — Минск: Книгазбор, 2009. — 150 с.
5. Дрозд, В. В. Водные ресурсы Беларуси: методология, структура, оценка, прогноз / В. В. Дрозд. — Минск: Ковчег, 2010. — 202 с.
6. Западная Двина — Даугава. Река и время / Нац. акад. наук Беларуси. — Минск: Беларуская навука, 2006. — 270 с.
7. Зуев, В. Н. Мониторинг пойменных биогеоценозов малых рек: метод. пособие / В. Н. Зуев, А. Г. Рындевич, С. К. Рындевич. — Барановичи, 2001. — 65 с.
8. Калинин, М. Ю. Водные ресурсы Витебской области / М. Ю. Калинин, А. А. Волчек. — Минск: Белсэкс, 2004. — 143 с.
9. Кирвель, И. И. Пруды Беларуси как антропогенные водные объекты, их особенности и режим: монография / И. И. Кирвель. — Минск: БГПУ, 2005. — 234 с.
10. Колбовский, Е. Ю. Изучаем малые реки / Е. Ю. Колбовский. — Ярославль: Академия развития, 2004. — 224 с.
11. Курзо, Б. В. Районирование территории Беларуси по вещественно-генетическим типам озерного осадконакопления / Б. В. Курзо, О. М. Гайдукевич, И. В. Кляуззе // Природопользование. — 2011. — Вып.19. — С. 61–68.
12. Логинова, Е. В. Гидроэкология: курс лекций / Е. В. Логинова, П. С. Лопух. — Минск: БГУ, 2011. — 300 с.
13. Лопух, П. С. Гидрологія сушы: курс лекцый / П. С. Лопух. — Мінск: БДУ, 2009. — 224 с.
14. Методікі ісследвальскай дзейнасці па экалогіі (для руководцель і аб'яднаўніц экалагі-біялагічнай і прыродна-навучнай на-

- правленности): сборник / сост.: Баянова О. В., Максимова С. Л. — Тюмень, 2013. — 120 с.
15. Мечников, Л. И. Цивилизация и великие исторические реки / Л. И. Мечников. — М.: Прогресс-Пангея, 1995. — 462 с.
 16. Озера Белоруссии / под ред. О. Ф. Янушко. — Минск: Ураджай, 1988. — 216 с.
 17. Орловский, В. Б. Лесомелиоративная защита малых рек и озер Белоруссии: справ. пособие / В. Б. Орловский, Л. З. Стерин, В. Н. Воробьев — Минск: Ураджай, 1983. — 160 с.
 18. Рассашко, И. Ф. Основы гидробиологии (водной экологии) / И. Ф. Рассашко, Е. С. Казмерчук. — Минск: Право и экономика, 2010. — 193 с.
 19. Рындевич, С. К. Фауна и экология водных жесткокрылых Беларуси (Coleoptera: Haliplidae, Noteridae, Dytiscidae, Gyrinidae, Helophoridae, Georissidae, Hydrochidae, Spercheidae, Hydrophilidae, Hydraenidae, Limnichidae, Dryopidae, Elmidae): монография: в 2 ч. / С. К. Рындевич. — Минск: УП «Технопринт», 2004. — Ч. 1. — 272 с.
 20. Семенченко, В. П. Принципы и системы биоиндикации текучих вод / В. П. Семенченко. — Минск: Орех, 2004. — 125 с.
 21. Семенченко, В. П. Экологическое качество поверхностных вод / В. П. Семенченко, В. И. Разлуцкий. — 2-е изд., испр. — Минск: Беларуская навука, 2011. — 329 с.
 22. Стапп, В. Пособие по малозатратному мониторингу качества воды / В. Стапп, М. Митчел. — Минск: Экоинвест, 1999. — 192 с.
 23. Туровцев, В. Д. Биоиндикация: учеб. пособие / В. Д. Туровцев, В. С. Краснов. — Тверь: Твер. гос. ун-т, 2004. — 260 с.
 24. Шкаликов, В. А. Описание природных объектов и экологического состояния территории: учеб. пособие / В. А. Шкаликов. — Смоленск: Изд-во «Универсум», 2004. — 272 с.
 25. Школьный экологический мониторинг: учебн.-метод. Пособие / под ред. Т. Я. Ашмихиной. — М.: АГАР, 2000. — 387 с.
 26. Шуйский, В. Ф. Биоиндикация качества водной среды, состояния пресноводных экосистем и их антропогенных изменений / В. Ф. Шуйский, Т. В. Максимова, Д. С. Петров // Сб. науч. докл. VII междунар. конф. «Экология и развитие Северо-Запада России», СПб., 2-7 авг. 2002 г. — СПб.: Изд-во МАНЭБ, 2002. — С. 101-123.

Для заметок

Репозиторий Баргу

Научно-популярное издание

Зуев Владимир Николаевич
Пахоменко Андрей Николаевич
Поречина Наталья Ивановна и др.

МАЛЫМ РЕКАМ — НАШУ ЗАБОТУ

Практическое пособие для школьных экологических клубов

Компьютерный дизайн, верстка *А. Невинская*
Дизайн обложки *А. Лавринович*
Корректор *Ю. Ирхина*

Подписано в печать 24.07.2014. Формат 60x84 $\frac{1}{16}$.
Бумага офсетная. Печать офсетная.
Усл. печ. л. 6,9. Уч.-изд. л. 6,0.
Тираж 500 экз. Заказ 671.

Издатель и полиграфическое исполнение:
общество с ограниченной ответственностью «Медисонт».
Свидетельство о государственной регистрации издателя,
изготовителя, распространителя печатных изданий
№ 1/142 от 09.01.2014.
№ 2/34 от 23.12.2013.



Данный проект финансируется Европейским Союзом
This project is funded by the European Union



Местный фонд
содействия развитию
международного
диалога и сотрудничества
«Интеракция»



Международное
Экологическое
Общественное
Объединение
«Природа и мы»



Шаровицкий
Исполнительный
Комитет



Поставский
Исполнительный
Комитет



Глубокский
Исполнительный
Комитет

Это практическое пособие издано благодаря проекту «Малые реки — большие проблемы: работаем вместе над защитой и будущим малых рек бассейна реки Дисна». Ведущим партнером проекта является Местный фонд содействия развитию международного диалога и сотрудничества «Интеракция». Партнерами проекта выступают Международное экологическое общественное объединение «Природа и мы», районные исполнительные комитеты Глубокского, Поставского и Шарковщинского районов Витебской области.

Проект финансируется Европейским Союзом в рамках программы «Негосударственные структуры (объединения граждан) и местные органы власти в деятельности по развитию». Общий бюджет проекта — 331 000 евро; 89,95 % составляет финансирование Европейского Союза.

Содержание данного пособия является предметом исключительной ответственности Местного фонда содействия развитию международного диалога и сотрудничества «Интеракция» и никаким образом не может отражать официальной позиции Европейского Союза.

Европейский Союз включает в себя 28 государств-членов, которые решили объединить свои передовые знания, ресурсы и судьбы своих народов. В течение 50 лет совместными усилиями они создали зону стабильности, демократии и устойчивого развития, сохранив при этом культурное многообразие, личные свободы и атмосферу терпимости. Европейский Союз неуклонно стремится передавать свои достижения и ценности странам и народам, находящимся за его пределами.

ISBN 978-985-7085-40-8



9 789857 085408