

Департамент экологии и природопользования Кировской области  
ФГБОУ ВПО «Вятский государственный гуманитарный университет»

Серия тематических сборников и DVD-дисков  
«Экологическая мозаика»

Сборник 15

## ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ



**«Вятка – территория экологии»**

Департамент экологии и природопользования Кировской области  
ФГБОУ ВПО «Вятский государственный гуманитарный университет»

**Серия тематических сборников и DVD-дисков  
«Экологическая мозаика»**

**Сборник 15**

# **ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ**

*Учебно -методическое пособие*

**Киров  
2012**

УДК 371  
ББК 20.1  
Э 40

Печатается по решению Координационно-методического совета  
по экологическому образованию, воспитанию и просвещения населения  
Кировской области

Автор-составитель – **Ашихмина Т.Я.**

Под общей редакцией Т.Я. Ашихминой, И.М. Зарубиной,  
Л.В. Кондаковой, Е.В. Рябовой

Э 40 Экологический мониторинг: учебно-методическое пособие / автор-сост.  
Т.Я. Ашихмина – Киров: ООО «Типография «Старая Вятка», 2012. – 95 с.: ил. –  
(Серия тематических сборников и DVD-дисков «Экологическая мозаика». Сборник 15)

ISBN 978-5-91061-316-8 (Сб. 15)  
ISBN 978-5-91061-301-4

### **Экологический мониторинг.**

Материалы, представленные в данном сборнике, могут быть использованы в образовательном и воспитательном процессе при обучении учащихся экологии, методам экологических исследований окружающей природной среды своей местности.

Разработка серии тематических сборников и DVD-дисков «Экологическая мозаика» выполнена в рамках научно-исследовательской работы «Разработка современных технологий формирования экологической культуры населения» в процессе реализации пилотного проекта по развитию системы экологического образования и просвещения «Вятка – территория экологии».

Пилотный проект был разработан по поручению Губернатора Кировской области Н.Ю. Белых департаментом экологии и природопользования Кировской области при активном участии Координационно-методического совета по экологическому образованию, воспитанию и просвещению населения Кировской области.

Подготовка и издание сборника осуществлены за счет средств ведомственной целевой программы «Обеспечение охраны окружающей среды и рационального природопользования в Кировской области» на 2012–2014 годы.

ISBN 978-5-91061-316-8 (Сб. 15)  
ISBN 978-5-91061-301-4

© Департамент экологии и природопользования Кировской области, 2012  
© Вятский государственный гуманитарный университет (ВятГГУ), 2012

# ОГЛАВЛЕНИЕ

|                                                                                                                     |          |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|
| <b>Введение .....</b>                                                                                               | <b>3</b> |
| <b>1. Школьный экологический мониторинг <i>Т. Я. Ашихмина</i> .....</b>                                             | <b>4</b> |
| 1.1. Экологический мониторинг (понятие, виды, история, современное состояние вопроса) .....                         | 4        |
| 1.2. Организация школьного экологического мониторинга в учреждениях образования Кировской области.....              | 9        |
| 1.3. Экологический мониторинг атмосферного воздуха .....                                                            | 13       |
| 1.3.1. Исследование атмосферных осадков (снегового покрова, дождя) .....                                            | 13       |
| 1.3.2. Анализ запыленности атмосферы и состава пылевых отложений .....                                              | 16       |
| 1.3.3. Изучение лишайникового покрова стволов деревьев .....                                                        | 17       |
| 1.3.4. Определение чистоты атмосферного воздуха с использованием листового опада .....                              | 18       |
| 1.3.5. Описание состояния древостоев по совокупности признаков и зонам произрастания от источников загрязнения..... | 19       |
| 1.3.6. Определение обесхвоенности крон сосны обыкновенной.....                                                      | 20       |
| 1.3.7. Оценка состояния атмосферы с помощью генеративных органов сосны.....                                         | 23       |
| 1.3.8. Оценка степени загрязнения воздуха по pH коры .....                                                          | 24       |
| 1.3.9. Оценка состояния среды по величине флуктуирующей асимметрии листового аппарата березы повислой.....          | 24       |
| 1.3.10. Оценка загрязнения снега по прорастанию злаковых культур в рулонах .....                                    | 25       |
| 1.3.11. Определение автотранспортной нагрузки .....                                                                 | 25       |
| 1.4. Экологический мониторинг почв .....                                                                            | 26       |
| 1.4.1. Методика пробоотбора и подготовки проб почвы к анализу .....                                                 | 26       |
| 1.4.2. Определение влажности почвы .....                                                                            | 27       |
| 1.4.3. Определение кислотности почв .....                                                                           | 27       |
| 1.4.4. Определение сухого остатка .....                                                                             | 29       |
| 1.4.5. Качественное определение химических элементов в почве.....                                                   | 30       |
| 1.4.6. Определение биологической активности почв .....                                                              | 31       |
| 1.4.7. Определение кислотности почв по растениям-индикаторам .....                                                  | 33       |
| 1.4.8. Растения-индикаторы характера увлажнения почв и глубины залегания грунтовых вод .....                        | 34       |
| 1.4.9. Листья липы в качестве биоиндикатора солевого загрязнения почвы.....                                         | 35       |
| 1.4.10. Определение избыточного содержания химических элементов в почве по растениям-индикаторам.....               | 36       |
| 1.4.11. Кресс-салат как тест-объект для оценки загрязнения почвы и воздуха.....                                     | 37       |
| 1.5. Экологический мониторинг водных объектов.....                                                                  | 38       |
| 1.5.1. Методика отбора проб воды.....                                                                               | 39       |
| 1.5.2. Определение органолептических и физических показателей воды.....                                             | 40       |
| 1.5.3. Определение гидрохимических показателей проб воды.....                                                       | 45       |

|                                                                                                                                                                                                                                                                   |           |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 1.5.4. Определение водородного показателя (рН) .....                                                                                                                                                                                                              | 46        |
| 1.5.5. Определение щелочности и кислотности проб воды .....                                                                                                                                                                                                       | 47        |
| 1.5.6. Определение окисляемости, или химического потребления<br>кислорода (ХПК) .....                                                                                                                                                                             | 50        |
| 1.5.7. Определение сухого остатка .....                                                                                                                                                                                                                           | 51        |
| 1.5.8. Методы качественного анализа в определении состава воды<br>(сульфаты, хлориды, нитраты, нитриты, аммиак, ионы аммония, тяжёлые<br>металлы, общее железо, алюминий, нефтепродукты, фенолы, угольная<br>кислота, сероводород, сульфиды, ПАВ, жёсткость)..... | 52        |
| 1.5.9. Гидробиологические методы исследования.....                                                                                                                                                                                                                | 64        |
| 1.6. Исследование видового состава птиц .....                                                                                                                                                                                                                     | 75        |
| <b>2. Исследовательский практикум «Школьный экологический<br/>мониторинг» Т. Я. Ашихмина .....</b>                                                                                                                                                                | <b>75</b> |
| <b>3. Методические рекомендации к выбору темы исследования<br/>и составлению библиографии А. А. Хохлов .....</b>                                                                                                                                                  | <b>87</b> |
| <b>Библиографический список .....</b>                                                                                                                                                                                                                             | <b>94</b> |

## ВВЕДЕНИЕ

Формирование экологической культуры личности, осознанного, ответственного отношения учащихся к природе и своему здоровью, а в конечном итоге – улучшение качества окружающей среды не возможны без активного участия в природоохранной деятельности. Не секрет, что современная молодежь зачастую хорошо осведомлена об экологических проблемах, но не уверена в возможностях их решения и не знает, как это можно сделать.

Серьезная функциональная экологическая грамотность школьников формируется и складывается путем активного участия их в исследовательской и практико-ориентированной деятельности и, в особенности, с выходом их на практические природоохранные дела.

Не случайно исследовательская деятельность стала активно применяться в образовательном и воспитательном процессе как наиболее эффективный способ вовлечения учащихся в творческую, созидательную деятельность.

Отсюда организацию и проведение в учреждениях образования индивидуальных и коллективных конкурсных природоохранных и оздоровительных проектов, внедрение в практику исследовательской деятельности учащихся проектных технологий, участие в областных программах «Здоровье и здоровый образ жизни», «Школьный экологический мониторинг» трудно переоценить.

Данное учебно-методическое пособие по организации экологического мониторинга окружающей среды предназначено для общеобразовательных школ, особенно опорных школ по экологии, учреждений начального, среднего и высшего профессионального образования, общественных экологических организаций и всех тех, кто примет участие в областном конкурсном проекте «Вятка – территория экологии».

# 1. ШКОЛЬНЫЙ ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ

## 1.1. Экологический мониторинг (понятие, виды, история, современное состояние вопроса)

В начале 70-х годов были разработаны две альтернативные концепции экологического мониторинга. Академик РАН **Ю.А. Израэль** (1974, 1979) рассматривал мониторинг окружающей среды как систему наблюдений, оценки и прогноза антропогенных изменений состояния абиотических компонентов биосферы, ответной реакции экосистем на эти изменения и антропогенных изменений в экосистемах, связанных с воздействием хозяйственной деятельности человека. Профессор **И.П. Герасимов** (1975) экологический мониторинг рассматривает как систему наблюдения, контроля и управления состоянием окружающей среды. Безусловно, данные концепции не противоречат друг другу, а лишь дополняют друг друга. Как в теоретическом, методологическом, так и в своём практическом развитии данная форма наблюдения, оценки и прогноза за состоянием окружающей среды постоянно совершенствовалась и к настоящему времени претерпела множество дополнений и изменений в понятиях и определениях, методах наблюдений, оценки и прогноза.

В определение понятия **экологический мониторинг** мы включаем, прежде всего, комплексную систему регулярных длительных наблюдений в пространстве и во времени, дающую информацию о состоянии окружающей среды с целью оценки и прогноза изменений состояния биосферы или её отдельных компонентов под влиянием антропогенных воздействий [1–8].

Цель экологического мониторинга – наблюдения за происходящими в окружающей природной среде физическими, химическими, биологическими процессами, за уровнем загрязнения атмосферного воздуха, почв, водных объектов, за последствиями его влияния на растительный и животный мир, а также обеспечение заинтересованных организаций и населения текущей и экстренной информацией об изменениях в окружающей среде, предупреждениями и прогнозами ее состояния, которые осуществляются специально уполномоченными государственными органами РФ в области охраны окружающей среды при участии различных министерств и ведомств.

Основная задача экологического мониторинга состоит в ежегодном наблюдении за состоянием территорий. На основе полученных данных можно сделать оценку величины нарушенности экосистем на территории исследования. Проведение мониторинга позволяет получать данные за несколько лет, что даёт возможность делать оценки динамики изменения площади зон нарушенности. Такие подходы были детально разработаны известным российским учёным **Б.В. Виноградовым**, предложившим для индикации нарушенности экосистем и природной среды территории две группы признаков: признаки неблагоприятного состояния (статические признаки – доля (процент) общей нарушенной площади. Обобщённая экологическая оценка территории по статическим признакам позволяет сделать «экологический портрет» исследуемой территории в данном году); признаки неблагоприятных изменений территорий (динамические признаки – позволяют оценить скорость нарастания неблагоприятных изменений).

В системе мониторинга различаются три уровня: биосферный (глобальный) мониторинг предназначен для слежения за фоновым состоянием окружающей среды на значительных территориях. Объектами его наблюдений являются радиационный уровень, наличие в атмосфере углекислого газа, озона, изменение климатических характеристик, степень загрязнения Мирового океана и др. параметры; экологический мониторинг контролирует состояние экологических систем (биогеоценозов) и природных комплексов, изменение состояния отдельных видов природных ресурсов (водных, земельных, растительных, ресурсов животного мира и др.); санитарно-гигиенический мониторинг, включающий в себя наблюдения за качеством окружающей природной среды, главным образом с точки зрения охраны здоровья населения. В рамках данного мониторинга обеспечивается слежение за степенью загрязнения природной среды вредными токсичными веществами и влиянием этого загрязнения на человека, растительность и животных; определяется наличие физических видов загрязнения (шумовых, электромагнитных), загрязнений пылью, аллергенами, патогенными микроорганизмами, запахами; проводится контроль за содержанием в атмосфере оксидов серы, азота, углерода, соединений тяжёлых металлов, радионуклидов.

В зависимости от территории, охватываемой наблюдениями, мониторинг разделяется на 3 вида: **локальный, региональный, глобальный.**

По целевому назначению мониторинг подразделяют на **учебно-познавательный, научно-исследовательский, диагностический, фоновый, контрольный, прогностический, проектировочный** и др.

В зависимости от методов применения при изучении состояния окружающей среды и объектов наблюдения, выделяют следующие виды мониторинга: **физический, химический, геоморфологический, биологический, почвенный, гео(эко)системный, аэрокосмический** и др.

В зависимости от объектов наблюдения проводится **мониторинг атмосферного воздуха, поверхностных вод, донных отложений, почвы, флоры и фауны.**

В 1990 г. экономическая комиссия Европы под эгидой ООН приняла программу интегрированного мониторинга (ИМ) окружающей среды по следующим группам показателей: общая метеорология (шесть показателей), химия воздуха (три показателя), почвенных и подземных вод (четыре показателя), поверхностных вод (четыре показателя), почва (шесть показателей), биологические показатели (один показатель) [9].

Экологический мониторинг в РФ и в Кировской области проводится в соответствии с законом Российской Федерации от 10.01.2002 г. № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды» объектами экологического мониторинга являются земля, недра, почвы, поверхностные и подземные воды, атмосферный воздух, растительный и животный мир и иные организмы, озоновый слой атмосферы, околоземное космическое пространство, а также природно-антропогенные и антропогенные объекты [10].

Экоаналитический контроль за объектами окружающей среды в Кировской области и государственный экологический мониторинг, включая мониторинг источников техногенного воздействия на окружающую природную среду, осуществляют:



Федеральное государственное бюджетное учреждение «Кировский центр по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды»; Управление Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека (Управление Роспотребнадзора по Кировской области); филиал «Центр лабораторного анализа и технических измерений по Кировской области» ФГУ «Центр лабораторного анализа и технических измерений по Приволжскому Федеральному округу (далее – филиал «ЦЛАТИ по Кировской области» ФГУ «ЦЛАТИ по Приволжскому ФО»); Региональный центр государственного экологического контроля и мониторинга объекта по хранению и уничтожению химического оружия в Кировской области; управление охраны и использования животного мира Кировской области; департамент лесного хозяйства Кировской области; департамент сельского хозяйства и продовольствия Кировской области; Кировское областное государственное бюджетное учреждение «Вятский научно-технический информационный центр мониторинга и природопользования» (далее – КОГБУ «ВятНТИЦМП»); специализированная инспекция аналитического контроля Кировского областного государственного бюджетного учреждения «Кировский областной центр охраны окружающей среды и природопользования» (далее – СИАК КОГБУ «Областной природоохранный центр»), 5 межрайонных специализированных инспекций государственного экологического контроля и анализа КОГБУ «Областной природоохранный центр» в г. Вятские Поляны, пгт Зуевка, пгт Кумёны, г. Котельниче и г. Омутнинске, научно-исследовательская лаборатория биомониторинга Института биологии Коми НЦ УрО РАН и ВятГГУ.

ФГБУ «Кировский центр по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды» осуществляет государственный контроль качества воды в 17 водных объектах (рр. Вятка, Кама, Чепца, Большая Кокшага, Кобра, Молома, Белая Холуница, Большая Просница, Быстрица, Пижма, Немда, Воя, Кильмезь, Ярань, Хлыновка, Юг и Луза). Наблюдательная сеть состоит из 23 гидрологических постов и 30 створов. Все гидрологические посты включены в общегосударственную систему мониторинга загрязнения окружающей среды. Контролируется 32 ингредиента.

Государственный мониторинг состояния геологической среды осуществляется КОГБУ «ВятНТИЦМП» за счёт средств областного и федерального бюджетов. За счёт средств областного бюджета осуществляется мониторинг геологической среды на Кировском опытно-промышленном полигоне, в Кильмезском, Немском, Уржумском и Пижанском районах, выполнено геолого-экологическое обследование в Кикнурском районе и в районе Кильмезского захоронения ядохимикатов.

Многообразие объектов мониторинга окружающей среды и, соответственно, его исполнителей определяют одну из основных задач дальнейшего развития системы экологического мониторинга на территории Кировской области – это унификация программных, информационных, технических средств его осуществления в целях обеспечения возможности обмена информацией, обобщения и анализа результатов [10].

## **1.2. Организация школьного экологического мониторинга в учреждениях образования Кировской области**

Исследования по программе ШЭМ проводятся с 1996 г., когда под редакцией Т.Я. Ашихминой вышла в печати книга «Экология родного края» [11]. В данной книге впервые были даны два варианта экологического паспорта территории микрорайона школы и рекомендовано по сокращённой и по полной программе школьного экологического мониторинга проводить исследования и полученные результаты вносить в таблицы экопаспорта. Кроме того, структура и описание содержания экопаспорта описаны в учебно-методических пособиях Школьный экологический мониторинг, 2000 г., Экологический мониторинг, 2005 г. [3, 12]

На базе ВятГГУ были подготовлены учителя экологии, прошедшие 2-годичное обучение, с вручением диплома о втором высшем образовании, которые были подготовлены к реализации программы ШЭМ, стали руководителями опорных экологических школ в районах области и в г. Кирове.

Научно-методическое обеспечение по реализации областной программы ШЭМ взяли на себя учёные лаборатории биомониторинга, преподаватели кафедр химии и экологии Вятского государственного гуманитарного университета (ВятГГУ), на базе которого к настоящему времени создана научно-методическая школа по данному направлению. Научным коллективом лаборатории биомониторинга ВятГГУ для реализации программы ШЭМ подготовлено ряд учебно-методических пособий, монографий, книг, брошюр: «Окружающая среда Кировской области», «Школьный экологический мониторинг», «Экологический мониторинг», «Экологическая безопасность региона», «По страницам Красной Книги Кировской области», «Фенологический мониторинг», «Рабочая тетрадь школьника по экологии», исследовательский практикум «Мониторинг природных сред и объектов», «Сборник программ элективных курсов», «Юные экологи изучают свой край» и др. [3, 11–17], в которых изложены теоретические основы системных ученических исследований окружающей среды, программы и основные методики для проведения школьного мониторинга.

Положение и программа ШЭМ в 1997 г. были утверждены Департаментом образования Кировской области, включены в сборник нормативно-правовых документов по экологическому образованию, что дало возможность по единой программе проводить исследования по экологии родного края учащимся учреждений образования всего региона.

Школьный экологический мониторинг стал составной частью системы экологического образования, предназначенной для формирования экологических знаний, умений, навыков и мировоззрения на базе практической деятельности, включающей программные наблюдения за состоянием окружающей среды своей местности. Проведение исследований по единой программе школьного экологического мониторинга, которая представлена в виде экопаспорта микрорайона школы (по разделам – географическая характеристика местности, изучение биоты, природных сред: атмосферный воздух, почва, вода) позволяет приобщить большое количество школьников разных возрастов к изучению природы своей местности. Это даёт возможность формировать у учащихся бо-

лее глубокие знания по общим, региональным и локальным экологическим проблемам; углублять и закреплять знания о родном крае.

Исследовательская деятельность в рамках ШЭМ проводится средними школами, специализированными гимназиями, лицеями, Дворцами и Домами детского творчества, эколого-биологическими центрами, лабораториями и другими внешкольными учреждениями, ученические коллективы которых по единой программе и в единые сроки. Под руководством учителей экологии, биологии, химии, географии осуществляются наблюдения за окружающей природной средой, проводится сбор и обработка результатов исследований.

Школьный мониторинг основан не на единичных исследованиях природных сред, объектов и экосистем, а на сравнении массивов данных, полученных в результате исследований опытных и контрольных территорий в течение ряда лет. Проведение экологического мониторинга основано на использовании наиболее доступных для учащихся фенологических, геоиндикационных, биоиндикационных методов, информативных биоиндикаторов, которые хорошо выявляют изменения в окружающей среде, вызванные загрязнением воды, воздуха и почвы, не требуя при этом специальных приборов, реактивов и оборудования. Если в школе имеются оборудованные лаборатории, то программой предусмотрено использование и физико-химических методов анализа.

Мониторинг проводится по единой для всего региона программе, с одинаковыми объектами контроля, методиками их исследований, одними и теми же принципами выбора контролируемой территории, с одинаковой периодичностью измерений и отчетности.

Программа ШЭМ соединяет теоретическое и практическое изучение основ экологии в едином целом, позволяя добиваться положительных результатов не только в освоении школьниками методик экологического анализа, изучении пришкольной и ряда иных территорий своего населенного пункта, но и способствует формированию экологического сознания и любви к окружающей природной среде.

Программа школьного экологического мониторинга может реализоваться как в процессе учебной деятельности (спецкурсы, факультативы, практикумы), так и во внеурочное время (научно-исследовательские кружки, экспедиции, летние экологические лагеря, конкурсы, олимпиады и др.). Особенно удачной формой для выполнения работ по программе ШЭМ являются летние экологические лагеря и практикумы.

Для реализации программы ШЭМ на базе школ, эколого-биологических центров создаются творческие коллективы из числа учащихся и педагогов. Таких групп может быть несколько: по фенологии, по методам биоиндикации и биотестирования, физико-химическим методам анализа, по картографированию и ГИС-технологиям и др. Под руководством педагогов школьники разрабатывают конкретную программу действий, в реализации которой может участвовать различное количество исполнителей, при этом за каждым из них закрепляется ответственность за тот, или иной раздел программы ШЭМ.

При этом весь запланированный объем выполняемых работ обычно проходит несколько этапов: подготовительный, экспериментальный, камеральный, аналитический, отчетный, информационный, практико-ориентированный.

Школьный экологический мониторинг организуется на территории микрорайона школы (для сельской школы это территория, на которой проживают учащиеся данной школы, для городской – территория административного микрорайона школы). Для сельских и городских школ могут применяться разные системы показателей с учетом особенностей их территорий. Исследования проводятся на ключевых участках с характерными для микрорайона школы природными и антропогенными условиями.

Важнейшей формой представления результатов работы по программе школьного экомониторинга является картографическое отображение материалов экологических исследований на плане местности. Для каждого объекта, включенного в программу мониторинга, проводится изучение экологического состояния территории, составляются схемы исследуемых участков, проводится инвентаризация видового состава популяций, характеристик обилия, жизненности, численности, фенотипической структуры, параметров техногенного воздействия. Результаты исследования экологической обстановки отображаются на плане местности, отражающем воздействие всех видов деятельности человека на природную среду микрорайона школы. Для получения картографической основы населенного пункта (если нет карты населенного пункта, или если имеется карта лесничества, находящегося рядом с населенным пунктом), необходимо провести глазомерную съемку территории микрорайона, изобразить полевые планы и по ним изготовить топографические планы местности в масштабе 1:5000–1:25000 – основу для отображаемых явлений. На карту наносятся все водотоки населенного пункта (ручьи, реки, родники), указываются озера, пруды и болота; наносятся дороги и транспортные пути, пересекающие населенный пункт. Особыми знаками следует выделить типы застройки (малоэтажные, многоэтажные, высокоэтажные здания, особо каменные и деревянные). На план (карту) населенного пункта также наносятся: участки естественной растительности и другие насаждения, постоянные источники загрязнения природной среды, промышленные предприятия, свалки твердых и бытовых отходов, автомагистрали, железнодорожные линии, хранилища горюче-смазочных материалов и т. д.; направление миграции загрязнения (воздушного – по розе ветров, водного – по направлению водотоков). Рекомендуется иметь электронный вариант карты населенного пункта. Это очень удобно для экологического мониторинга: карты можно хранить в памяти компьютера, в нужный момент вызывать на экран, редактировать, наносить данные о происходящих изменениях; по ним удобно сравнивать экологическое состояние населенного пункта в прошлом и настоящем. По материалам исследований разрабатываются различные варианты тематических карт с различным набором сюжетов для одного и того же гео-экологического комплекса и на основе их создается экологический атлас микрорайона школы.

Учащиеся на исследовательских практикумах, факультативах и кружках проводят обработку материалов полевых исследований, выполняют химический анализ отобранных проб для определения степени загрязнения компонентов природной среды своей местности, строят графики, диаграммы, делают карты-схемы источников и ореолов загрязнения.

Программа школьного экологического мониторинга предусматривает участие в ней школьников разных возрастов. В зависимости от объектов и методов их исследования к этой работе подключаются учащиеся разных классов. Если фенологические наблюдения выполняются в основном школьниками младшего и среднего звена, то к биоиндикационным и физико-химическим исследованиям привлекаются учащиеся старших классов. В научно-исследовательских группах из числа учащихся определяется лидер, на которого возлагается ответственность анализировать полученные материалы, делать отчёты и представлять результаты исследований на различных мероприятиях. Кроме того, учащихся старших классов при проведении исследований, написании докладов и отчётов рекомендуется закреплять за младшими школьниками.

Материалы исследований по программе ШЭМ представляются в виде отчета – экопаспорта территории микрорайона школы. Экопаспорт выпускается с периодичностью один раз в год в двух экземплярах и направляется в Кировский областной эколого-биологический центр в январе месяце ежегодно.

Обсуждение результатов школьного экомониторинга проводится в форме тематических недель, декад по экологии, на школьных, районных и областных научно-практических конференциях. Областные конференции «Человек и природа» на базе эколого-биологического центра в Кирове проводятся ежегодно с 1994 г., где работает 6–7 секций и обязательно секция школьного экологического мониторинга. На региональном уровне на базе Областного эколого-биологического центра школьников формируется банк данных о состоянии экологической обстановки на исследуемых по программе ШЭМ территориях. Победители областного уровня с неизменным успехом участвуют во всероссийских конкурсах, конференциях, олимпиадах, завоеывая медали и дипломы различного уровня.

Систематическая многолетняя работа по изучению природных сред и объектов микрорайона школы, результаты которой фиксируются в экопаспорте микрорайона школы, позволяет выявлять тенденции изменения состояния экосистем и предлагать меры по охране и улучшению окружающей природной среды в изучаемом микрорайоне школы.

Уникальность проводимой работы в том, что у учащихся формируется осознанная позиция о качестве природной среды места проживания, района, области, готовность участия в её улучшении на основе полученных знаний и умений. Это хорошая школа развития экологической культуры молодежи, новой экологической нравственности, чтобы следовать ей в своей повседневной жизни.

Активную роль в реализации программы школьного экологического мониторинга могут выполнять опорные школы по экологической работе, университеты экологических знаний, стационарные экологические площадки, экологические центры и клубы. Опорные школы на уровне района, выполняют роль учебно-методических центров, обеспечивают апробацию новых методик исследования, на их базе проводятся районные конференции школьников, конкурсы, олимпиады.

К настоящему времени в практике работы школ накопился большой, интересный опыт по реализации областной программы школьного экологического мониторинга, отработке, разработке и корректировке методик экспериментальных исследований природных сред и объектов и расширения перечня исследуемых показателей по программе ШЭМ.

### 1.3. Рекомендации по организации экологического мониторинга атмосферного воздуха [3,11,12,14]

Для изучения состава атмосферного воздуха в экологических исследованиях применяют количественные методы и индикационные оценки.

Количественные методы основаны на химическом анализе проб воздуха. Этот метод используется профессионалами, специалистами по санитарному и экологическому контролю. В школьных условиях для изучения загрязненности атмосферы обычно используются оценочные индикационные методы. Эти методы показывают, присутствует ли данный загрязнитель в атмосфере («да» или «нет») и на каких участках обследованной территории его больше (или меньше).

Индикационную оценку можно провести химическими и биологическими методами.

При использовании химических методов проводится химический анализ депонирующих сред (дождь, снег), пылевых отложений. При этом определяются продукты, образовавшиеся при «вымывании» атмосферы.

Для проведения биологической индикации применяются биоиндикаторы – растения, животные – которые своими морфологическими характеристиками, поведением, численностью указывают на состояние атмосферы в месте обитания и характеризуют ее как чистая, загрязненная, более загрязненная, менее загрязненная. Разновидностью биоиндикации является биотестирование. Биотестированием называется способ оценки качества природных сред (токсичности) с помощью специальных тест-организмов. В качестве тест-организмов используют дафний, инфузорий, можно использовать высшие растения.

**Мониторинг атмосферного воздуха по программе ШЭМ рекомендуется проводить с использованием следующих показателей:** по химическому составу снегового покрова, кислотности атмосферных осадков (дождя и снега); по запыленности (скорость осаждения пыли в сутки); по результатам лишенодиагностики; по морфологическим и анатомическим изменениям хвои сосны, (обесхвоенность крон, повреждение, усыхание хвои, средний прирост и продолжительность жизни хвои, состояние генеративных органов сосны); по загрязнённости листового опада; по совокупности признаков и зонам произрастания от источников загрязнения; по значениям pH коры деревьев; по величине флуктуирующей асимметрии листового аппарата березы повислой; по прорастанию злаковых культур на пробах талой воды; по показателям автотранспортной нагрузки.

#### 1.3.1. Исследование атмосферных осадков (снегового покрова, дождя)

За зимний период снеговой покров накапливает в своем объеме все загрязнители, присутствующие в воздухе. Отбирая пробы снега в определенном месте можно дать оценку уровня загрязнения воздуха в данной точке по результатам химического анализа талой воды. Следует помнить, что состав снегового покрова *отражает состав атмосферы только качественно*, но не дает его количественной характеристики.

Анализ снегового покрова позволяет установить распределение загрязнителей в атмосфере изучаемого района, выявить наиболее загрязненные зоны.

Многолетние мониторинговые исследования снегового покрова дают возможность установить закономерности в распределении загрязняющих веществ в атмосфере, следить за величиной зон загрязнения, выявить источники загрязнения.

Снег на анализ отбирается один раз за сезон, перед началом таяния. После сильных весенних потаек, которые в центральной части Кировской области приходится обычно на начало марта, снег уже не отбирают. Наилучшим временем отбора проб является период с конца января по конец февраля.

Для более полной характеристики территории снег лучше отбирать «по сетке». Для этого исследуемую территорию разбивают на квадраты (на плане). Величина стороны квадрата зависит от размеров территории. В городских условиях обычно сторона квадрата равна 300 м. Если обследуется небольшая территория, то квадрат может быть меньше. Для очень больших территорий (при фоновых обследованиях) сторона квадрата может достигать нескольких километров.

Снег отбирается, как правило, в центре квадрата. Однако может случиться, что сделать это невозможно, например если в предполагаемой точке отбора находится здание. В этом случае точку отбора смещают, и на плане отмечается реальная ситуация. Кроме того, необходимо учесть, что пробы отбираются в местах, где снеговой покров сформировался естественным путем и не нарушен, т. е. не на протоптанных дорожках или в отвалах около автотрассы. Следует избегать также мест, где проводится выгул домашних животных.

**Отбор пробы снега.** Для отбора пробы необходимы: лопата или совок, полиэтиленовый пакет вместимостью не менее 3 кг, линейка или сантиметровая лента. В выбранной точке в снегу делается углубление (прикопка) на всю высоту снегового покрова, до земли. Желательно, чтобы одна стенка прикопки была вертикальной. С вертикальной стенки срезается лопатой слой снега на всю глубину и помещается в пакет. Срезов делают столько, чтобы набралось не менее 3 кг снега. После отбора пробы измеряют высоту снежного покрова. Отбор следует вести так, чтобы в пробу не попала почва, трава, листва. После отбора пробу в пакете желательно перемешать.

**Натаивание пробы.** Принесенную пробу снега помещают в большую емкость (эмалированный или пластмассовый таз, ведро) и оставляют при комнатной температуре, пока не растает. Снеговую воду взбалтывают и переносят в стеклянную трехлитровую банку. Желательно, чтобы в банку попала вся вода и весь осадок. Вместо стеклянной банки можно использовать полиэтиленовую тару, например, бутылки из-под минеральной воды. Тару для воды предварительно готовят: тщательно промывают теплой водой с содой и отполаскивают сначала водой из-под крана, а потом – дистиллированной.

### **Химический анализ снеговой воды**

Анализ талой воды производят, когда ее температура сравняется с комнатной. Все анализы в один день сделать, как правило, не удастся. В этом случае пробы хранят в холодильнике.

Основным компонентом, доступным для определения в снеговой воде, в условиях школьных лабораторий является рН снеговой воды. Если в лаборатории школы имеются химические реактивы, аналитические весы, муфельная печь, сушильный шкаф, то можно определить общее солесодержание, окисляе-

мость, сульфаты, хлориды, соединения азота (нитраты, нитриты, соединения аммония), металлы (железо, медь, свинец, никель).

**Определение рН.** Определить рН можно различными методами. Самый простой – с помощью универсальной индикаторной бумаги. Точность этого метода невелика, не более 0,5рН. Более точный метод – с помощью прибора Алямовского. Прибор Алямовского предназначен для исследования почвенных вытяжек, однако его можно с успехом использовать и для анализа снеговой воды. Точность метода – 0,2рН. Наилучшим методом является определение рН с помощью рН-метра. Точность – 0,01рН.

Талая вода, так же, как и дождевая, не является чистой водой. В атмосфере содержится большое количество углекислого газа, адсорбция которого на снеге и растворение в дождевых осадках вызывает образование угольной кислоты:  $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2\text{CO}_3$ . Угольная кислота, являясь слабым электролитом, диссоциирует:  $\text{H}_2\text{CO}_3 \leftrightarrow \text{H}^+ + \text{HCO}_3^-$ . Вследствие этого, в незагрязненной атмосфере рН снеговой воды и чистого дождя составляет приблизительно 5,5 единиц. Кислотными (кислыми) считаются осадки, рН которых менее 5,5. Величина  $\text{pH} > 5,5$  свидетельствует о том, что в атмосфере имеются загрязнители основного характера, например, оксиды щелочных и щелочноземельных металлов.

**Определение общего солесодержания.** Общее солесодержание характеризует количество растворенных в снеговой воде соединений различной природы.

Оборудование: чашки фарфоровые выпаривательные на 0,5 л (можно и меньшего объема), мерный цилиндр или стакан, электроплитка, тигель фарфоровый, весы аналитические, сушильный шкаф, муфельная печь, стеклянная палочка.

Профильтрованную снеговую воду отмеряют в фарфоровую чашку и выпаривают на электроплитке, не допуская кипения. С помощью мерного цилиндра воду постепенно подливают так, чтобы в общей сложности было выпарено не менее 1 л воды. В процессе выпаривания необходимо периодически обмывать стенки чашки находящимся в ней раствором, чтобы смыть закристаллизовавшиеся соли в раствор. Выпаривание прекращают, когда в чашке останется примерно 10–15 мл жидкости. Этот остаток количественно переносят в предварительно высушенный и прокаленный до постоянного веса тигель и помещают в сушильный шкаф, где допаривают и высушивают до постоянного веса.

Общее солесодержание определяется по формуле:

$$C = \Delta m / V,$$

где  $C$  – общее солесодержание снеговой воды, мг/л;  $\Delta m$  – привес тигля, мг;  $V$  – объем выпаренной воды, л.

Снеговой покров может содержать соли (соединения) как органического, так и неорганического происхождения. Чтобы разделить органические и неорганические составляющие полученного осадка, тигель помещают в муфельную печь, где выдерживают при температуре 400–450 °С (не выше 520 °С) в течение двух часов. Считается, что органические соединения при этом улетучиваются, и в осадке остаются только неорганические соли. После прокаливания тигель вновь взвешивают. Доля органических составляющих вычисляется обычно в процентах:



$$A = \frac{(m_1 - m_2)}{m_1} \cdot 100 (\%),$$

где  $m_1$  – масса тигля до прокаливания;  $m_2$  – масса тигля после прокаливания.

Наличие в осадке органических составляющих свидетельствуют о присутствии в воздухе таких загрязнителей, как фенол, органические растворители, летучие органические соединения.

**В фильтрате определяются и все остальные составляющие и характеристики снегового покрова** – окисляемость, сульфаты, хлориды, соединения азота (нитраты, нитриты, соединения аммония), фосфаты, металлы (железо, медь, свинец, никель). При этом используются те же методы, которые применяются для анализа водных объектов.

**Анализ дождевой воды.** Дождевая вода является чрезвычайно разбавленным раствором, поэтому химический анализ ее в условиях школьного эксперимента затруднен. Имеет смысл только анализ осадков, выпадающих во время **сильной** грозы. При разряде молнии, температура вещества в которой достигает  $\sim 2000^\circ\text{C}$ , создаются условия для синтеза оксида азота (II) из азота и кислорода воздуха:  $\text{N}_2 + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{NO}$ , который быстро окисляется до оксида азота (IV) и, растворяясь в воде, придает дождевым осадкам повышенную кислотность ( $\text{pH} < 5,5$ ). Грозовые осадки можно исследовать на величину pH, кроме того, в этой воде можно обнаружить нитриты и нитраты.

Емкость для сбора дождевой воды ставится на открытом месте (сток с крыш использовать нельзя ни в коем случае).

Исследование дождевой воды интересно проводить в сельской местности, где воздух чистый и имеется возможность оценить влияние естественных процессов на состав атмосферных осадков. В условиях промышленных городов атмосфера загрязнена газообразными продуктами ( $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_2$ ) и выделить естественный фактор практически невозможно.

### 1.3.2. Анализ запыленности атмосферы и состава пылевых отложений

Летом твёрдые частицы (ТВЧ) поступают в атмосферу от различных источников. Это могут быть твердые продукты сгорания топлива на предприятиях тепловой энергетики (зола, сажа); продукты неполного окисления топлива в автомобильных двигателях (сажа); пыль, поднятая ветром с почвенного покрова (содержит в основном силикаты); пыль древесная, образующаяся при деревообработке (особенно при шлифовке); пылеобразные частицы оксидов металлов, выделяющиеся в процессе выплавки металлов; сварочный аэрозоль; твердые частицы различных минеральных солей и органических соединений, при производстве которых применяется сушка полученного продукта в потоке воздуха и др.

ТВЧ медленно осаждаются и накапливаются на горизонтальных поверхностях. Хорошим сборником пыли служат кроны лиственных деревьев.

Для определения запыленности воздуха используют деревья с крупными гладкими листьями (тополь, липа).

Оборудование: фильтр (синяя лента), стакан химический, весы аналитические или теххимические, сушильный шкаф, бумага плотная (лучше ксероксная).

С дерева или группы деревьев из нижней части кроны собирают по 10–15 листьев и обмывают с них пыль (окунанием!) в стеклянный стакан. Полученную взвесь фильтруют через предварительно высушенный и взвешенный фильтр. Затем фильтр сушат и вновь взвешивают. Масса пыли (в мг) определяется как разница масс фильтра до и после фильтрации.

После смыва пыли листья протирают, выбирают произвольно 5 штук разного размера и обводят каждый из них на бумаге. Затем бумага вырезается по контуру, вырезанные проекции взвешиваются. Из той же бумаги вырезают и взвешивают квадрат 10×10 см. Поверхность обмытых листьев ( $S$ ) рассчитывают по формуле:

$$S = \frac{m_1 \cdot P \cdot 100}{5m_2} = \frac{m_1 \cdot P \cdot 20}{m_2} \text{ (см}^2\text{)},$$

где  $m_1$  – масса вырезанных проекций бумаги, мг;  $m_2$  – масса квадрата 10×10 см бумаги, мг;  $P$  – количество обмытых листьев.

После этого определяют количество пыли, осевшей на 1 м<sup>2</sup> листвы, а зная время накопления пыли (от последнего дождя до дня исследования), можно подсчитать скорость осаждения пыли за сутки.

Если есть возможность проведения такого эксперимента в разных частях исследуемой территории, то можно получить распределение загрязнения воздуха твердыми взвешенными частицами (запыленности), и выявить наиболее и наименее запыленные зоны.

Собранную на фильтре пыль после взвешивания можно проанализировать на наличие тяжелых металлов.

### **1.3.3. Изучение лишайникового покрова стволов деревьев**

Для оценки чистоты атмосферы используют эпифитные лишайники, т. е. растущие на деревьях. Характеристикой степени загрязнения атмосферы служат следующие признаки: % деревьев, покрытых лишайниками, частота встречаемости типа роста, степень покрытия, видовой состав.

В лишеноиндикационных исследованиях в качестве субстрата может быть использован любой вид дерева. Для оценки загрязнения атмосферы города, поселка, выбирается вид, наиболее распространенный на исследуемой территории. Это может быть липа мелколистная, сосна обыкновенная, тополь бальзамический. Деревья должны быть примерно одного возраста, старше 20 лет.

**Обследование развития лишайниковой флоры на разных участках проводят по следующему плану:**

1. Определение видового состава лишайников.
2. Определение обилия в баллах, проективного покрытия (%) и расчет коэффициента встречаемости по формуле:

$$R = \frac{a}{b} \cdot 100\%,$$

где  $R$  – коэффициент встречаемости;  $a$  – число площадок, где данный вид встречается;  $b$  – число исследованных площадок.

3. Частота встречаемости видов.

Для проведения обследования необходимо хорошо знать материал по видам лишайников, используя определители лишайников («Школьный экологический мониторинг», 2000. С. 96–122; «Экология родного края», 1996. С. 370–375.

**Определение % деревьев, имеющих лишайники** является самым простым способом оценки. При этом город или поселок делится на квадраты, в каждом квадрате подсчитываются деревья выбранного вида – общее количество и число деревьев, на которых есть лишайники. Наличие лишайников определяется не по всему стволу, а только на высоте 1,4–1,6 м. Полученные результаты наносятся на план местности и методом изолиний на обследованной территории выделяются зоны с минимальным процентом деревьев с лишайниками, со средним и максимальным, что соответствует максимальному, среднему и минимальному уровню загрязнения атмосферы.

**Оценка частоты встречаемости лишайников.** Для проведения этого исследования нужна палетка – деревянная рамка 10×10 см, разделенная внутри тонкими проволочками на квадраты по 1 см<sup>2</sup>, и компас. Вместо деревянной рамки, можно использовать палетку, изготовленную из тонкой прозрачной полиэтиленовой пленки. На каждом дереве с южной и северной стороны ствола на высоте 140–160 см с помощью палетки выделяют две пробные площадки. На каждой площадке по сетке подсчитывают 1) площадь, занимаемую лишайниками определенного типа роста (накипные, листоватые, кустистые) в см<sup>2</sup> и 2) проективное покрытие каждого типа роста также в см<sup>2</sup>.

Изучают лишенофлору на разных участках, расположенных в районе действия антропогенного фактора и контрольном.

В журнале обследования регистрируют характеристику древостоя, показатель развития кроны дерева, расположение анализируемого участка лишайникового покрова на стволе, характеристику коры, вид лишайника. Необходимо выявить повторяемость или исчезновение различных видов лишайников (по мере приближения к источнику загрязнения).

Те виды лишайников, которые закономерно будут исчезать на деревьях (при приближении к источнику загрязнения), можно будет считать диагностическим (самым чувствительным) видом на данное загрязнение воздушной среды.

Сравнение данных по тому и другому участку позволяет сделать вывод о чистоте воздуха. По полученным результатам заполняется табл. 1.

Таблица 1

Развитие лишайниковой флоры на разных участках (1 и 2)

| Видовой состав | Обилие в баллах |   | Покрытие |   | R |   | Высота в см |   |
|----------------|-----------------|---|----------|---|---|---|-------------|---|
|                | 1               | 2 | 1        | 2 | 1 | 2 | 1           | 2 |
| ...            |                 |   |          |   |   |   |             |   |
| ...            |                 |   |          |   |   |   |             |   |
| ...            |                 |   |          |   |   |   |             |   |

Примечание: цифры 1 и 2 означают два разных участка.

#### 1.3.4. Определение чистоты атмосферного воздуха с использованием листового опада

**Ход работы.** Для этого осенью отбирают пробы листового опада с разных точек исследуемой территории. Пробы листового опада измельчают. 10 см<sup>3</sup> молотого листового опада помещают в чашку Петри, заливают 20 мл дистилли-

рованной воды; накрывают фильтровальной бумагой; на фильтровальную бумагу кладут 10 семян кресс-салата; закрывают крышкой чашку Петри и ставят на подоконник. В качестве контроля используют артезианскую воду. Через 3–4 дня определяют процент всхожести семян и длину проростка. Вычисляют коэффициент  $K$ , равный отношению всхожести семян в контроле к всхожести семян в пробе. При  $K = 1$ –1,1 – воздух относительно чистый; при  $K = 1,1$ –2 – воздух слабо загрязнен; при  $K = 2$ –4 – воздух загрязнен; при  $K$  больше 4 – воздух сильно загрязнен. Делается вывод о чистоте воздуха.

### **1.3.5. Описание состояния древостоев по совокупности признаков и зонам произрастания от источников загрязнения**

Визуально на местности проводится осмотр древостоя, определяется состояние древостоя по совокупности признаков делается анализ и сравнение его состояния по зонам произрастания от источников загрязнения.

**Ход работы.** Описывают на местности:

1. *Здоровые деревья* – без внешних признаков повреждения, с густой зеленой кроной, с нормальными для данного возраста и условий местопроизрастания приростами последних лет. Мертвые и отмирающие ветви сосредоточены в нижней части кроны. Продолжительность жизни хвои типична для региона. Любые повреждения листьев (насекомыми, грибами) или хвои незначительны (до 5% общей их площади) и не сказываются на состоянии дерева.

2. *Поврежденные (ослабленные) деревья* – при отсутствии в воздухе загрязнителей – характеризуются слабоажурной кроной, повреждением насекомыми или болезнями до 30–40% хвои, несколько укороченным приростом в высоту, усыханием отдельных ветвей в нижней трети кроны. При загрязнении к числу обязательных диагностических признаков добавляется наличие хлорозов и некрозов, занимающих: до 10% площади всей хвои (листьев) дерева. Характерно также снижение продолжительности жизни хвои на 1–2 года.

3. *Сильно поврежденные (сильно ослабленные) деревья* – при отсутствии загрязнения с ажурной кроной, с повреждением и усыханием до 60–70% хвои или листьев, с сильно укороченным приростом или даже без него, суховершинные, со значительным повреждением и поражением ствола, корневых лап, появлением сухих ветвей в средней и верхней частях кроны. При загрязнении к указанным признакам добавляется еще наличие возникших от воздействия загрязнителей хлорозов и некрозов, занимающих более 10% площади листьев и хвои всех возрастов. Под действием загрязнителей происходит существенное снижение продолжительности жизни хвои (примерно в 2–3 раза), резкое подавление ростовых процессов у деревьев.

4. *Усыхающие деревья* – с сильно изреженной кроной или только отдельными живыми ветвями, с повреждением более 70–80% листьев или хвои; текущего прироста по высоте нет, по стволу и корням возможны насечки и единичные свежие поселения стволовых вредителей. Оставшиеся на деревьях хвоя или листья хлоротичны – бледно-зеленого, желтоватого или оранжево-красного цвета. Некрозы имеют коричневый, оранжево-красный или черный цвет. Продолжительность жизни хвои не превышает 1–2 лет, часто на деревьях сохраняется только хвоя текущего года. Массовое распространение некрозов, возни-

кающих при загрязнении, не всегда наблюдается, поскольку большая часть некротичных листьев (хвои) быстро облетает.

5. *Свежий сухостой* – деревья, усохшие в текущем году, с желтой или бурой хвоей, часто без нее, по стволу – свежие поселения короедов.

6. *Старый сухостой* – деревья, усохшие в прошлые годы, хвои или листьев нет, кора и мелкие веточки легко отваливаются, стволовые вредители вылетели.

**Анализ и вывод исследования.** На выбранных по радиусу от возможного источника воздушного загрязнения площадках через определенные интервалы необходимо провести осмотр деревьев по указанным критериям и на карте-схеме обозначить наиболее подверженные загрязнению участки. Далее следует сравнить на схеме расположение данных участков с розой ветров на вашей местности и сделать выводы о распространении загрязнения от локальных мест выпадения или в результате глобального загрязнения.

### **1.3.6. Определение обесхвоенности крон сосны обыкновенной**

**Ход исследования.** Исследования желательно проводить в молодых (30–40-летних) сосновых древостоях, расположенных на различных удалениях от источника аэротехногенного загрязнения. В пределах опытной зоны и контрольной (наиболее удаленной) выбирают 30 молодых деревьев (в школьном эксперименте можно ограничиться десятью). Кроны деревьев условно разделяют на три части по числу мутовок – верхнюю, среднюю, нижнюю. В пределах каждой части кроны выделяют модельные побеги 2-го и 3-го порядков ветвления. Они располагаются как правило в верхней трети кроны, на 6–7-й, в средней – на 14–15-й и в нижней – на 22–25-й мутовках с южной стороны деревьев, а также по радиусу в направлении к предполагаемому источнику загрязнения воздуха. Учитель может в зависимости от конкретных условий изменить условия проведения опыта, однако закономерность изучения крон должна прослеживаться на протяжении всего эксперимента.

С указанных ветвей отбираются побеги одинаковой по длине величины, с них собирается вся хвоя и взвешивается.

**Подсчет результатов.** Результаты сравниваются по зонам произрастания деревьев от источника загрязнения воздуха. В древостоях, подверженных сильному воздействию атмосферных загрязнителей, у большинства особей отмирает верхняя треть кроны. Для градации зон загрязнения используют следующую шкалу: *зона слабой степени загрязнения* – обесхвоенность крон составляет 10–20%; *зона среднего уровня загрязнения* – обесхвоенность 20–50%; *зона высокого уровня техногенного загрязнения* – обесхвоенность крон более 50%. По результатам исследования делают заключение и выводы.

**Методы оценки чистоты атмосферы по состоянию сосны обыкновенной.** Сосна произрастает на всей территории области, что позволяет проводить широкомасштабные сравнительные исследования. Реакция сосны обыкновенной на наличие загрязняющих веществ в воздухе и почве неспецифична и отражает общий уровень загрязнения среды обитания химическими веществами различной природы. Считается, однако, что из всех загрязнителей атмосферы наибольшее воздействие на сосну оказывает диоксид серы.

Индикационными признаками являются: состояние хвои (хлорозы, некрозы), продолжительность жизни хвои, такие морфологические характеристики как длина хвоинки, годовой прирост центрального побега, размеры генеративных органов.

В незагрязненных лесных экосистемах основная масса хвои сосны здорова, не имеет повреждений, и только небольшая часть хвоинок имеет мелкие желтые (хлороз) и черные или темно-серые (некроз) точки, равномерно рассеянные по поверхности листовой пластинки. Продолжительность жизни хвои в благоприятных условиях достигает пяти лет. В загрязненной атмосфере появляются повреждения хвои, снижается продолжительность жизни.

Методика индикации чистоты атмосферы по состоянию хвои сосны состоит в следующем. На ключевом участке для исследования выбирают 5–10 сосен 15–20-летнего возраста. С нескольких боковых побегов в средней части кроны отбирают 200–300 пар хвоинок второго или третьего года жизни.

На рис. 1 приведены примеры различных повреждений хвои сосны.

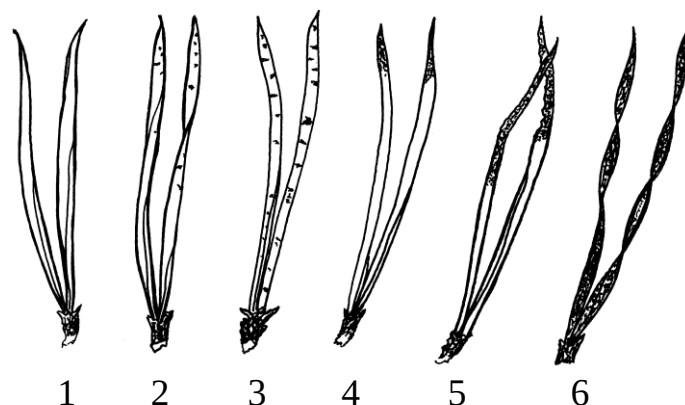


Рис. 1. Повреждение и усыхание хвои сосны: 1 – хвоинки без пятен; 2, 3 – с черными и желтыми пятнами; 4–6 – хвоинки с усыханием

Анализ хвои проводят в лаборатории. Всю хвою осматривают и сортируют на три части: неповрежденная хвоя, хвоя с пятнами и хвоя с усыханием, затем подсчитывается количество пар хвоинок в каждой группе. Полученные данные заносятся в рабочую таблицу (табл. 2) с указанием даты отбора проб. Желательно, чтобы отбор проб производился одновременно или с минимальным разрывом во времени (не более недели).

Таблица 2

Определение состояния хвои сосны обыкновенной  
для оценки загрязнения атмосферы

| № ключе-<br>вого уча-<br>стка | Дата<br>отбора<br>пробы | Общее число<br>обследован-<br>ных хвоинок | Состояние хвои                 |                               |                                  |                               |
|-------------------------------|-------------------------|-------------------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|----------------------------------|-------------------------------|
|                               |                         |                                           | Кол-во<br>хвоинок с<br>пятнами | % хвои-<br>нок с пят-<br>нами | Кол-во<br>хвоинок с<br>усыханием | % хвоинок<br>с усыхани-<br>ем |
| 1                             |                         |                                           |                                |                               |                                  |                               |
| 2                             |                         |                                           |                                |                               |                                  |                               |
| .....                         |                         |                                           |                                |                               |                                  |                               |

Данные табл. 2 дают возможность сравнить между собой разные участки сосновых лесов по состоянию хвои и оценить уровень загрязнения атмосферы в этих зонах обследованной территории. Если такие исследования проводить ежегодно (т. е. проводить мониторинг), то можно установить закономерности в изменении чистоты атмосферы на данной территории.

Одновременно с изучением состояния хвои можно определить среднюю для данного ключевого участка длину листовых пластинок. Для этого каждая хвоинка измеряется линейкой (точность – 1 мм), вычисляется средняя величина и ее средняя квадратическая погрешность (см. учебные пособия «Школьный экологический мониторинг», 2000, глава 11; «Экологический мониторинг», 2005). Результат записывается в виде:  $X_{cp} \pm a$ , где  $a$  – средняя квадратическая погрешность. На участках с сильно загрязненной атмосферой сосновые хвоинки бледно-зеленого цвета, удлинённые, меньшего сечения.

Определение величины ежегодного прироста центрального побега проводят на сосновом подросте возраста 9–15 лет. Исследование проводят осенью, когда рост деревьев уже прекратился. Для получения статистически достоверных результатов необходимо обследовать не менее 100 деревьев. При этом в выборку не следует включать деревья, крона которых повреждена животными или сломана, деревья с раздвоенным стволом и т. д. Для исключения случайных факторов (например, влияние вредителей) деревья, предназначенные для исследования, должны находиться в разных местах ключевого участка. На каждом дереве измеряют длину центрального побега верхушечной части (т. е. прирост последнего года). Если исследование проводится впервые, то лучше определить годовой прирост (т. е. измерить расстояние между мутовками) за несколько предыдущих лет, например, за пять. Результаты измерений заносят в заранее подготовленную табл. 3.

Таблица 3

Результаты определения величины годового прироста  
сосны обыкновенной на ключевом участке...

| № дерева       | Длина мутовки по годам, см |      |      |      |
|----------------|----------------------------|------|------|------|
|                | 2010                       | 2011 | 2012 | 2013 |
| 1              |                            |      |      |      |
| 2              |                            |      |      |      |
| .....          |                            |      |      |      |
| 100            |                            |      |      |      |
| Средний за год |                            |      |      |      |

Затем вычисляют средний за год прирост сосны на данном участке и его среднюю квадратическую погрешность. Результат записывают в таблицу в виде:  $X_{cp} \pm a$ , где  $a$  – средняя квадратическая погрешность. Сравнивая между собой данные за несколько лет, можно выявить закономерность изменения прироста сосны во времени.

При анализе полученных данных следует помнить, что прирост сосны (как и любого растения) сильно зависит от погодных условий. При благоприят-

ных условиях (продолжительное тепло, большое количество солнечных дней, достаточная влажность) прирост может быть очень большим, при менее благоприятных условиях прирост снижается. Так, в центральной части Кировской области на фоновых территориях в течение жаркого лета прирост сосны может составить более 60 см, а в холодный засушливый год всего 10–15 см. В районах с чистой атмосферой именно климат является лимитирующим фактором для показателя «прирост сосны». В зонах с **большой** техногенной нагрузкой лимитирующим фактором становится уровень загрязнения среды обитания, поэтому величина годового прироста от колебаний погодных условий не зависит. В связи с этим, прежде чем интерпретировать результат, необходимо ознакомиться с данными гидрометеоцентра за период наблюдения.

Определение продолжительности жизни хвои проводится одновременно с измерением годового прироста центрального побега сосны. Для этого при измерении длины мутовки на центральном побеге фиксируется количество мутовок с хвоей. Полученные данные анализируют, результаты заносят в табл. 4.

Таблица 4

Определение продолжительности жизни хвои сосны

| Количество осмотренных деревьев с данной продолжительностью жизни | Номера ключевых участков |   |     |   |    |
|-------------------------------------------------------------------|--------------------------|---|-----|---|----|
|                                                                   | 1                        | 2 | ... | 9 | 10 |
| Возраст хвои 4 года и более ( $B_1$ )                             |                          |   |     |   |    |
| Возраст хвои 3 года ( $B_2$ )                                     |                          |   |     |   |    |
| Возраст хвои 2 года ( $B_3$ )                                     |                          |   |     |   |    |
| Хвоя только текущего года ( $B_4$ )                               |                          |   |     |   |    |
| Средняя продолжительность жизни хвои на участке                   |                          |   |     |   |    |

По данным таблицы рассчитывают среднюю продолжительность жизни хвои и индекс продолжительности жизни хвои  $X$ :

$$X = \frac{3B_1 + 2B_2 + 1B_3}{B_1 + B_2 + B_3}$$

Чем выше индекс  $X$ , тем больше продолжительность жизни хвои сосны, а значит – чище воздух.

### 1.3.7. Оценка состояния атмосферы с помощью генеративных органов сосны

Генеративные органы сосны чрезвычайно чувствительны к загрязнению среды обитания. Под действием загрязнителей происходит подавление репродуктивной функции: число шишек на дереве снижается, уменьшается число нормально развитых семян в шишках, заметно изменяются (уменьшаются) размеры женских шишек (до 15–20%).

Для проведения исследования в летний период под кронами 30–40-летних деревьев собирают опавшие шишки урожая предыдущего года. Обычно собирают до 10 шишек под одним деревом. Для обеспечения статистической достоверности нужно собрать не менее 200 штук. Шишки должны быть целые, полностью раскрывшиеся (подгнившие и испорченные грызунами экземпляры не



годятся). Собранные шишки сушат при комнатной температуре в течение 3 месяцев. После этого можно проводить измерения.

Информативным и хорошо воспроизводимым показателем является длина шишки. Диаметр (или ширина шишки) – показатель с очень высокой вариабельностью, т. к. шишка не имеет абсолютно круглой формы, поэтому использовать его не рекомендуется.

Измерение длины производится с помощью упора и двух линеек. Шишка кладется на линейку так, чтобы один ее конец касался упора. Второй линейкой, поставленной перпендикулярно лежащей, отмечается другой конец шишки. Точность этого метода невелика,  $\pm 0,5$  мм. Полученные данные подвергаются статистической обработке (см. учебное пособие «Школьный экологический мониторинг», 2000, глава 11; «Экологический мониторинг», 2005) и записываются в виде:  $X_{cp} \pm a$ , где  $a$  – средняя квадратическая погрешность. Далее производят сравнение с результатами прошлых лет и с показателями, полученными на других участках. Делается вывод об изменении состояния атмосферы. При интерпретации этих данных следует помнить, что полученный результат характеризует состояние атмосферы в *предыдущем году*.

### 1.3.8. Оценка степени загрязнения воздуха по pH коры

**Ход работы.** Пробы коры измельчают, высушивают в сушильном шкафу при 100 °С в течение двух часов, затем готовят суспензию коры с использованием дистиллированной воды в соотношении 1:5 по массе, суспензию настаивают в течение суток и измеряют ее pH с использованием pH-метра. Предлагается следующая оценка степени загрязнения воздуха по pH суспензии коры, представленная в табл. 5.

Таблица 5

Оценка степени загрязнения воздуха по pH коры

| № | pH          | Степень загрязнения воздуха (зона)               |
|---|-------------|--------------------------------------------------|
| 1 | 6,98–7,09   | Чистый воздух (нормальная)                       |
| 2 | 6,65–6,98   | Слабое загрязнение (смешанная)                   |
| 3 | 6,40–6,65   | Среднее загрязнение (смешанная)                  |
| 4 | 6,09–6,40   | Сильное загрязнение (борьба)                     |
| 5 | 6,00–6,06   | Очень сильное загрязнение (борьба)               |
| 6 | Меньше 6,00 | Очень сильное загрязнение (лишайниковая пустыня) |

Необходимо сделать вывод по результатам исследования.

### 1.3.9. Оценка состояния среды по величине флуктуирующей асимметрии листового аппарата березы повислой

Учеными доказано, что по величине флуктуирующей асимметрии листового аппарата березы повислой можно определить экологическое состояние территории, на которой произрастает береза. Этот метод используют для оценки степени загрязнения атмосферного воздуха.

Методика трудоемка, так как необходимо собрать с одного дерева 200 листьев, все замерить их и обчислить. В лаборатории биомониторинга Института

биологии Коми НЦ УрО РАН и ВятГГУ для обработки результатов исследований по данной методике разработана компьютерная программа, включающая сканирование листьев березы и дальнейшую математическую обработку результатов. В КОГОКУ «Лицей естественных наук» разработана методика оценки окружающей среды по величине флуктуирующей асимметрии листа липы, выполняемая и обсчитываемая так же, как и в случае с листьями березы.

### **1.3.10. Оценка загрязнения снега**

#### **по прорастанию злаковых культур в рулонах**

Полосы фильтровальной бумаги размером 96x16 см (можно короче, чем 96 см) погружают в дистиллированную воду и развешивают для стекания воды. На влажную бумагу раскладывают зерна злаковых культур: овес посевной (*Avena sativa* L.) или ячмень (*Hordeum sativum*) в количестве 100 шт. (сорт не имеет значения). Расстояние между зернами зависит от размера зерен и составляет от 1 до 3 см. Затем лента с зернами накрывается такой же лентой, смоченной в дистиллированной воде, т. е. зерна располагаются между слоями мокрой фильтровальной бумаги. Бумагу сворачивают в рулон, наматывая на стеклянную пробирку. Рулон помещается в майонезную банку, на дне которой находится талая снеговая вода (пробирку не вынимать!). Рулон должен касаться воды так, чтобы обеспечить постоянное смачивание фильтровальной бумаги, в то же время зерна не должны касаться воды. Банка должна стоять на свету. Испытуемую воду необходимо подливать по мере ее впитывания в фильтровальную бумагу. Рулон разворачивают через три дня, определяют всхожесть, длину проростка, состояние корневой системы (длина, ветвистость и т. д.). Контрольный опыт проводят с дистиллированной водой.

По полученным данным определяют средние для данной пробы снеговой воды показатели, рассчитывают среднюю квадратическую погрешность. В случае существенного загрязнения снегового покрова показатели снижаются. Однако при интерпретации результатов следует учесть следующее. Высшие растения положительно реагируют на такие компоненты раствора, как соединения азота и фосфора. Поэтому в пробах с высоким загрязнением этими компонентами получаются более высокие результаты: всхожесть, длина проростка, состояние корневой системы. Для правильной оценки полученных данных необходимо иметь результаты химического анализа снеговой воды.

### **1.3.11. Определение автотранспортной нагрузки**

Выбирается участок автотрассы длиной 0,5–1 км, имеющий хороший обзор. Измеряется шагами длина участка (предварительно определяется длина своего шага). Определяется количество единиц автотранспорта, проходящего по участку в какой-то период времени в течение 20 минут. Заполняется таблица по количеству легковых автомобилей, грузовых автомобилей и автобусов. Количество единиц автотранспорта за 1 час рассчитывают, умножая на количество, полученное за 20 минут [21].

## 1.4. Экологический мониторинг почв [3, 11, 12, 14]

Изучение физико-географической характеристики почв в районе исследований включает: описание географического расположения местности, условий почвообразования, характеристики и оценки состояния почвенного покрова.

**Экологический мониторинг почв по программе ШЭМ предусматривает определение следующих оценок и показателей:** определение влажности и кислотности почв; определение сухого остатка; качественное определение химических элементов в почве; определение биологической активности почв; оценка свойств почв по растениям-индикаторам плодородия; определение свойств почв по видам беспозвоночных животных – индикаторов состояния почв; микробиологическая активность почв (по характеристике дыхания почвы, скорости распада целлюлозы).

Кроме того, изучение состояния почв можно проводить с использованием методик по определению качества пылевых зерен различных растений (томаты, сельскохозяйственные культуры, дикие растения – сорняки, различные деревья), а также по определению фенотипической структуры популяций белого клевера и др.

### 1.4.1. Методика пробоотбора и подготовки проб почвы к анализу

Для проведения физико-химического анализа почвы необходимо правильно провести пробоотбор. Отбор почвенных образцов лучше проводить в весенний или осенний период. Рекомендуется составлять объединенные (смешанные, средние) образцы пробы из 5–8 индивидуальных, взятых в различных точках участка площадью от 100 м<sup>2</sup> до 1 га. Почву на многолетней залежи отбирают с глубины 0–10 см; на пашне – с глубины 0–20 см; на территориях, занятых лесом, – из лесной подстилки; на болотных почвах – верхний торфяной слой 0–20 см. На практике для отбора почвенных образцов часто используют метод конверта (рис. 2).

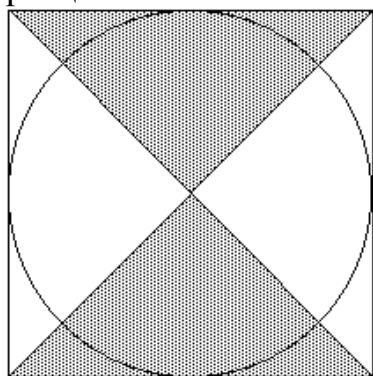


Рис. 3. Метод квартования

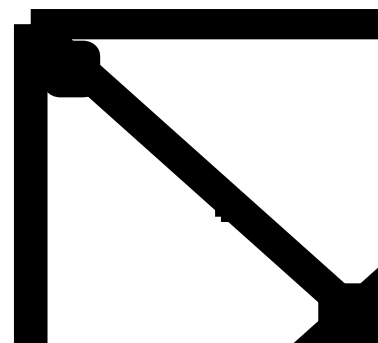


Рис. 2. Взятие почвенных образцов методом конверта.  
● – точки отбора индивидуальных образцов

#### Подготовка почвы к анализу со-

стоит в измельчении материала, удалении посторонних примесей, просеивании через сито с диаметром отверстий 1 мм и сокращении до небольшой массы (около 500 г). Для сокращения пробы пользуются разными методами. Один из них – **метод квартования** (рис. 3). Измельченный материал тщательно перемешивают, рассыпают ровным тонким слоем в виде квадрата или круга, делят на четыре сектора. Содержимое двух про-

тивоположных секторов отбрасывают, а двух остальных соединяют вместе. Операцию квартования проводят многократно, после чего среднюю пробу высушивают до воздушно-сухого состояния и хранят в картонных коробках или бумажных пакетах с этикетками. Из полученного таким образом однородного материала делают различные вытяжки (водные, солевые, кислотные).

**Приготовление водной вытяжки.** Водную почвенную вытяжку используют чаще всего для определения водорастворимых соединений, а также для определения актуальной кислотности почвы. Для ее приготовления 20 г воздушно-сухой просеянной почвы помещают в колбу на 100 мл, добавляют 50 мл дистиллированной воды, взбалтывают в течение 5–10 мин. и фильтруют.

**Приготовление солевой вытяжки.** Для определения обменной кислотности почвы солевую вытяжку готовят следующим образом. 10 г воздушно-сухой почвы помещают в колбу, приливают 25 мл 1 М раствора хлорида калия (или хлорида натрия). Содержимое хорошо взбалтывают и оставляют до следующего дня, после чего фильтруют.

#### 1.4.2. Определение влажности почвы методом взвешивания

Взвесить пустой бюкс или стакан, записать его массу ( $a$ ); взвесить массу бюкса с почвой, записать его массу ( $b$ ); поместить бюкс с почвой на 5 ч. в сушильный шкаф при температуре 110 °С; достать образец из шкафа, охладить в эксикаторе и взвесить ( $b$ ); снова поместить образец в сушильный шкаф на несколько часов при температуре 110 °С; вынуть бюкс, охладить, повторно взвесить, чтобы убедиться в постоянстве массы ( $b$ ): если масса изменилась, повторить операцию высушивания и взвешивания до постоянной массы ( $b$ ); провести расчет процентного содержания воды от массы сухой почвы (влажность почвы – С) по формуле:

$$C = \frac{(b - \bar{b})}{(\bar{b} - a)} \cdot 100\%.$$

Измерение влажности в течение вегетационного периода позволяет следить за сезонной динамикой увлажнения почв. Данные о влажности почвы, измеренные в различные годы, могут дать представление об изменении данного показателя в течение ряда лет. Влажность почв можно сравнивать и увязывать с климатическими параметрами (частота и количество осадков, температура воздуха и др.).

#### 1.4.3. Определение кислотности почв

**Определение актуальной кислотности.** Актуальную (активную) кислотность определяют в водной почвенной вытяжке. Для этого необходимо поместить в пробирку или колбу 2 г почвы, добавить 10 мл дистиллированной воды; полученную суспензию 1:5 хорошо встряхнуть и дать отстояться осадку; в надосадочную жидкость внести полоску индикаторной бумаги и, сравнивая ее цвет с индикаторной шкалой, сделать вывод о величине рН почвы. Кроме того, рН можно измерить с помощью прибора Алямовского: к 3 мл почвенной вытяжки добавить 2–3 капли универсального индикатора и сравнить со шкалой (табл. 6).

Таблица 6

Шкала окраски раствора индикатора

| рН раствора | Окраска раствора индикатора |
|-------------|-----------------------------|
| 3,0         | Оранжевая                   |
| 4,0         | Желто-оранжевая             |
| 5,0         | Желтая                      |
| 6,0         | Зеленовато-желтая           |
| 7,0         | Желто-зеленая               |
| 8,0         | Зеленая                     |
| 9,0         | Сине-зеленая                |
| 10,0        | Синяя                       |

В последнем случае кислотность может быть измерена как в вытяжках, так и в суспензии почвы (без предварительного фильтрования).

**Определение обменной кислотности.** Обменную кислотность устанавливают в солевой почвенной вытяжке после взаимодействия почвы с раствором нейтральной соли (чаще всего хлорида калия). Для определения обменной кислотности обычно пользуются теми же методами, что и для определения актуальной (индикаторная бумага, набор Алямовского, рН-метр). По показателям рН солевой вытяжки часто решают вопрос о необходимости известкования почв и о дозах извести (табл. 7).

Таблица 7

Дозы извести в зависимости от рН солевой вытяжки почв

| рН солевой<br>вытяжки | Необходимость<br>известкования | Доза извести, т/га |                   |
|-----------------------|--------------------------------|--------------------|-------------------|
|                       |                                | на легких почвах   | на тяжелых почвах |
| <4,5                  | Острая                         | 4,0                | 6,0               |
| 4,6                   | Сильная                        | 3,4                | 5,5               |
| 4,8                   | Средняя                        | 3,0                | 5,0               |
| 5,0                   | Средняя                        | 2,5                | 4,5               |
| 5,2                   | Слабая                         | 2,0                | 4,0               |
| 5,4                   | Слабая                         | 2,0                | 3,5               |
| >5,5                  | Не требуется                   | —                  | —                 |

**Определение гидролитической кислотности.** При обработке почвы раствором нейтральной соли не все поглощенные ионы водорода переходят в раствор, т. е. в этом случае не выявляется вся потенциальная кислотность. Более полно ионы водорода из ППК можно вытеснить, действуя на почву раствором гидролитически щелочной соли. Место водорода в ППК занимает натрий, а в растворе образуется эквивалентное количество уксусной кислоты (в случае использования раствора ацетата натрия, который чаще всего и применяется для определения гидролитической кислотности почвы). Путем титрования фильтрата раствором щелочи легко определить количество образующейся уксусной кислоты, а по ней – количество поглощенного водорода. Поэтому в тех случаях, когда необходимо особо тщательно обследовать почву, определяют гидролитическую кислотность и по ее значению рассчитывают дозу извести.

**Гидролитическую кислотность** почвы определяют в солевой почвенной вытяжке, приготовленной с использованием гидролитически щелочной соли (чаще всего ацетата натрия). В колбу насыпают 40 г воздушно-сухой почвы, добавляют 100 мл 1 М раствора ацетата натрия, содержимое взбалтывают в течение 1 часа (желательно на ротаторе), фильтруют. После фильтрования отбирают 50 мл, переносят в коническую колбу, добавляют 2–3 капли фенолфталеина и оттитровывают 0,1 М раствором едкого натра до устойчивой розовой окраски раствора. Значение гидролитической кислотности выражают в молях на 1 кг почвы. Расчет ведут по формуле:

$$H_r = \frac{0,1 \cdot V \cdot K \cdot 50 \cdot 1,75}{1000} = 0,0857 \cdot V \cdot K,$$

где  $V$  – объем раствора щелочи, израсходованный на титрование 50 мл почвенной вытяжки, мл;  $K$  – поправка к концентрации 0,1 М раствора едкого натра (вводится в том случае, когда концентрация раствора щелочи несколько отличается от 0,1 М):

$$K = \frac{C_{NaOH}}{0,1}.$$

При расчете нормы извести по результатам определения гидролитической кислотности надо перейти от тех единиц, в которых измеряется кислотность почвы, к количеству извести, необходимой для нейтрализации пахотного слоя почвы на площади 1 га. С учетом всех постоянных величин формула для расчета дозы извести (т/га) приобретает вид:

$$X = 0,15 \cdot H_z,$$

где  $H_z$  – гидролитическая кислотность, моль/кг.

При изменении кислотности почвы изменяется и степень подвижности катионов металлов (табл. 8), происходит биоаккумуляция наиболее подвижных катионов в тканях растений.

Таблица 8

Подвижность микроэлементов в зависимости от кислотности почвы

| Реакция почвы     | Pb | Cr | Ni | V  | As | Co | Cu | Zn | Cd | Hg | S |
|-------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|---|
| Кислые почвы      | СП | СП | СП | СП | СП | СП | П  | П  | П  | П  | П |
| Нейтральные почвы | ПН | СП | СП | П  | П  | СП | СП | П  | СП | СП | П |
| Щелочные почвы    | ПН | ПН | ПН | П  | П  | ПН | СП | СП | СП | ПН | П |

Примечание: ПН – практически неподвижные; СП – слабоподвижные; П – подвижные.

#### 1.4.4. Определение сухого остатка

Сухой остаток почвенной вытяжки – это общее содержание растворимых солей в водной почвенной вытяжке. Его определяют путем выпаривания в фарфоровой чашке некоторого объема фильтрата. Прокаливанием можно разделить сухой остаток на минеральный и органический.

В прокаленную и взвешенную фарфоровую чашку наливают при помощи пипетки по 25–50 мл фильтрата водной вытяжки столько раз (по мере выпаривания), чтобы в сумме получить от 100 до 250 мл вытяжки (в зависимости от засоленности почвы – чем выше засоленность, тем меньше объем вытяжки берут на анализ). После выпаривания жидкости чашку помещают в сушильный

шкаф и высушивают ее содержимое при температуре 105 °С в течение 3–4 ч (до постоянной массы). Содержание сухого остатка выражают в процентах:

а) к воздушно-сухой почве:

$$X_1 = \frac{(m_1 - m_2) \cdot V_1}{m \cdot V_2} \cdot 100\%;$$

б) к абсолютно сухой почве:

$$X_2 = \frac{(m_1 - m_2) \cdot V_1}{m \cdot V_2} \cdot \frac{100}{100 - y} \%,$$

где  $m_1$  – масса чашки с сухим остатком, г;  $m_2$  – масса пустой чашки, г;  $V_1$  – общий объем фильтрата, мл;  $V_2$  – объем фильтрата для анализа, мл;  $m$  – масса почвы для приготовления вытяжки, г;  $y$  – влажность воздушно-сухой почвы, %.

Если содержимое чашки после взвешивания озолить и прокалить, то потеря от прокаливания даст ориентировочное содержание в вытяжке органических веществ, а остаток в чашке – содержание минеральных солей. Озоление и прокаливание можно провести на газовой горелке или в муфельной печи при температуре не выше 525 °С. Расчет ведут аналогично сухому остатку (минеральная часть); органический остаток узнают по разности между сухим остатком и минеральной частью.

По количеству минерального остатка судят о **засоленности почвы** (табл. 9).

Таблица 9

| Определение степени засоления почвы        |                         |
|--------------------------------------------|-------------------------|
| Содержание солей, в % от массы сухой почвы | Степень засоления почвы |
| Менее 0,3                                  | Не засолена             |
| 0,3–1,0                                    | Слабо засолена          |
| 1,0–2,0                                    | Засолена                |
| 2,0–3,0                                    | Сильно засолена         |
| Более 3,0                                  | Солончак                |

Довольно точное представление о степени засоленности почвы дает определение плотности водной вытяжки из почвы ареометром или при помощи пикнометра (взвешиванием).

#### 1.4.5. Качественное определение химических элементов в почве

**Карбонат-ионы.** Небольшое количество почвы помещают в фарфоровую чашку и приливают пипеткой несколько капель 10% раствора соляной кислоты. Образующийся по реакции оксид углерода  $\text{CO}_2$  выделяется в виде пузырьков (почва «шипит»). По интенсивности выделения их судят о более или менее значительном содержании карбонатов.

Почву, вскипающую от 10% раствора соляной кислоты, относят к группе карбонатных почв. Для такой почвы проводят анализ водной вытяжки. Если почва не «вскипает», то для качественных реакций готовят не водную, а солянокислую вытяжку.

**Хлорид-ионы.** К 5 мл фильтрата, помещенного в пробирку, прибавляют несколько капель 10% раствора азотной кислоты и по каплям 0,1 М раствор нитрата

серебра. Образующийся осадок в виде белых хлопьев указывает на присутствие хлоридов в количестве десятых долей процента и более. При содержании сотых и тысячных долей процента хлоридов осадка не выпадает, но раствор мутнеет.

**Сульфат-ионы.** К 5 мл фильтрата добавить несколько капель концентрированной соляной кислоты и 2–3 мл 20% раствора хлорида бария. Если образующийся сульфат бария выпадает в виде белого мелкокристаллического осадка, это говорит о присутствии сульфатов в количестве нескольких десятых долей процента и более. Помутнение раствора также указывает на содержание сульфатов – сотые доли процента. Слабое помутнение, заметное лишь на черном фоне, бывает при незначительном содержании сульфатов – тысячные доли процента.

**Нитрат-ионы.** К 5 мл фильтрата по каплям прибавляют раствор дифениламина в серной кислоте. При наличии нитратов и нитритов раствор окрашивается в синий цвет.

**Кальций.** К 10 мл фильтрата добавить несколько капель 10% раствора соляной кислоты и 5 мл 4% раствора оксалата аммония. Белый осадок оксалата кальция свидетельствует о наличии нескольких процентов кальция. При незначительном содержании кальция (сотые и тысячные доли процента) наблюдается не осадок, а легкое помутнение раствора.

**Железо (II и III).** В две пробирки внести по 3 мл вытяжки. В первую пробирку прилить несколько капель раствора красной кровяной соли  $K_3[Fe(CN)_6]$ , во вторую – несколько капель 10% раствора роданида аммония или калия  $NH_4SCN$  или  $KSCN$ . Появившееся синее окрашивание в первой пробирке и красное во второй свидетельствует о наличии в почве соединений железа (II) и железа (III). По интенсивности окрашивания можно судить об их количестве.

**Алюминий.** К 5 мл солевой почвенной вытяжки прибавляют по каплям 3% раствор фторида натрия до появления осадка. Чем быстрее и обильнее выпадает осадок, тем больше алюминия содержится в почве.

**Натрий.** О присутствии натрия в почве судят по ярко-желтому окрашиванию пламени горелки при внесении в него стеклянной палочки с каплей раствора почвенной вытяжки.

Присутствие соединений тяжелых металлов железа, свинца, меди, хрома, цинка и др. В почвах можно определять и количественным методом. Для этого готовят водную вытяжку и анализируют по методикам, описанным в литературе [14] или по другим имеющимся в кабинете химии инструкциям. Полученный результат в мг/л вытяжки пересчитывают в мг/кг почвы по формуле:

$$C_n = 2,5 \cdot C_g,$$

где  $C_n$  – содержание определяемого элемента в почве, мг/кг;  $C_g$  – концентрация этого же элемента в водной вытяжке, мг/л.

#### 1.4.6. Определение биологической активности почв

Биологическая активность почвы выражается суммарным проявлением активности биохимических процессов и характеризует размеры и направление превращения веществ и энергии в почве, происходящего под действием живых организмов.

Показатели биологической активности почвы могут быть использованы при тестировании состояния почв. При загрязнении почв небольшими количест-



вами органических соединений может наблюдаться возрастание некоторых показателей биологической активности, так как более интенсивно развиваются группы микроорганизмов, участвующих в переработке дополнительных субстратов (фенолов, углеводов). При загрязнении тяжелыми металлами, оксидами серы, большими количествами различных органических веществ преобладает токсический эффект, вследствие чего биологическая активность подавляется.

В качестве показателей активности, характеризующих экологическое состояние почвы, в литературе чаще всего рекомендуются следующие: выделение почвами диоксида углерода (дыхание почвы), активность ферментов, токсичность почв по отношению к тестовым организмам, различные аппликационные методы.

Интегральной характеристикой напряженности микробиологических процессов является скорость выделения углекислого газа. В большинстве случаев, чем она выше, тем лучше экологическое состояние почвы. В оптимальных условиях скорость выделения углекислого газа может достигать нескольких кг/га в час.

Так как интенсивность дыхания почвы является исключительно вариативной величиной и зависит от большого количества факторов (температурного режима, влажности, состояния фитоценоза и др.), для оценки экологического влияния загрязнений необходимо проводить сравнение данных, полученных на различных участках в близких условиях.

Для школьного мониторинга доступен абсорбционный метод Штатнова, в котором количество выделившегося в течение определенного времени углекислого газа определяют по нейтрализации им раствора щелочи.

Определение дыхания почвы этим методом заключается в том, что поверхность почвы изолируют от окружающего воздуха сосудом, под которым помещают чашку с 2 мл 0,1 н. раствора КОН для поглощения углекислого газа. Через определенное время (0,5–1 час) сосуд-изолятор снимают, щелочь оттитровывают 0,05 н. раствором HCl по фенолфталеину до обесцвечивания. Одновременно делают контрольные измерения (изолятор и щелочь ставят не на почву, а в какой-либо плоскодонный сосуд и также изолируют от воздуха). По разнице титрования определяют количество выделившегося из почвы углекислого газа. Расчет проводят по формуле:

$$F = \frac{1,1 \cdot (a - b) \cdot 100}{S \cdot t},$$

где  $F$  – скорость выделения углекислого газа из почвы, кг/га в час;  $a$  – объем 0,05 н. HCl, пошедший на титрование щелочи при определении содержания углекислого газа в воздухе контрольного сосуда, мл;  $b$  – объем 0,05 н. HCl, пошедший на титрование щелочи при определении содержания углекислого газа в воздухе сосуда-изолятора на почве, мл; 1,1 – масса углекислого газа, эквивалентная 1 мл 0,05 н. раствора кислоты, мг; 100 – пересчетный коэффициент ( $1 \text{ мг/см}^2 = 100 \text{ кг/га}$ );  $S$  – площадь почвы под сосудом-изолятором,  $\text{см}^2$ ;  $t$  – время экспозиции, час.

Тестировать активность различных групп почвенных микроорганизмов в почвах можно при помощи различных аппликационных методов. Наиболее распространенным является *измерение скорости распада целлюлозы*. Этот метод был рекомендован академиком Е. Н. Мишустинным.

Для проведения исследований берут стерильную тонкую суровую льняную ткань (неотбеленную). Определяют массу 1 дм<sup>2</sup> этой ткани, затем ее полосы (шириной обычно 10 см, длина зависит от глубины изучаемого почвенного слоя) пришивают к полимерной пленке. В почве вырывают свежие разрезы, в которые помещают полосы ткани, полиэтилен с обратной стороны придавливают почвой, и разрез засыпают. Верхняя грань ткани должна быть на 3,5 см погружена в почву. Через определенное время ткань извлекают из разреза, отмывают и взвешивают. Потеря массы характеризует интенсивность разложения клетчатки. Для определения динамики процесса повторные куски ткани извлекают последовательно через разные интервалы времени.

Для оценки интенсивности разложения клетчатки (% за сезон) используется следующая шкала:

|               |            |
|---------------|------------|
| очень слабая  | меньше 10% |
| слабая        | 10–30%     |
| средняя       | 30–50%     |
| сильная       | 50–80%     |
| очень сильная | больше 80% |

Шкала интенсивности позволяет определить микробиологическую активность почв: чем выше процент разложения клетчатки, тем она выше.

В программу экологического мониторинга включено изучение кислотности, влагосодержания, механического состава почв, общего солесодержания и микробиологической активности. Однако в экопаспорт не включено количественное определение тяжелых металлов и изучение многих физико-химических характеристик почв. Это обусловлено тем, что далеко не все учреждения образования имеют возможность проводить химические анализы из-за отсутствия соответствующих реактивов и оборудования.

#### **1.4.7. Определение кислотности почв по растениям-индикаторам**

Повышенная кислотность почв отрицательно сказывается на росте и развитии ряда видов растений. Это происходит из-за появления в кислых почвах вредных для растений веществ, например, растворимого алюминия или избытка марганца. Они нарушают углеводный и белковый обмен в растениях, задерживают образования генеративных органов и приводят к нарушению семенного размножения, а иногда и вызывают гибель растений.

В процессе эволюции многие растения выработали адаптации к кислотности среды и сформировались три группы: ацидофилы – растения кислых почв; нейтрофиллы – обитатели нейтральных почв; базифилы – растут на щелочных почвах. Зная растения каждой группы, можно в полевых условиях приблизительно определить кислотность почвы (табл. 10).

Таблица 10

Растения-индикаторы кислотности почв (по Л. Г. Раменскому, 1956)

| Группа                                 | Биоиндикатор                                                                                                                                                                                                                                                                       | pH почвы |
|----------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|
| 1. Ацидофилы 1.1. Крайние ацидофилы    | Сфагнум, зеленые мхи: гилокомиум, дикранум; плаун булавовидный, плаун годичный, плаун сплюснутый, ожика волосистая, пушица влагалищная, подбел многолистный, кошачьи лапки, кассандра, цетрария, белолус, щучка дернистая, хвощ полевой, щавелек малый                             | 3,0–4,5  |
| 1.2. Умеренные ацидофилы               | Черника, брусника, багульник, калужница болотная, сушеница, лютик ядовитый, толокнянка, седмичник европейский, белозор болотный, фиалка собачья, сердечник луговой, вейник наземный                                                                                                | 4,5–6,0  |
| 1.3. Слабые ацидофилы                  | Папоротник мужской, ветреница лютиковая, медуница неясная, зеленчук, колокольчик крапиволистный, колокольчик широколистный, бор развесистый, осока волосистая, осока ранняя, малина, смородина черная, вероника длиннолистная, горец змеиный, орляк, иван-дамарья, кисличка заячья | 5,0–6,7  |
| 1.4. Ацидофильно-нейтральные           | Зеленые мхи: гилокомиум, плеврозиум, ива козья                                                                                                                                                                                                                                     | 4,5–7,0  |
| 2. Нейтрофильные 2.1. Околонейтральные | Сныть европейская, клубника зеленая, лисохвост луговой, клевер горный, клевер луговой, мыльнянка лекарственная, аистник цикутный, борщевик сибирский, цикорий, мятлик луговой                                                                                                      | 6,0–7,3  |
| 2.2. Нейтрально-базифильные            | Мать-и-мачеха, пупавка красильная, люцерна серповидная, келерия, осока мохнатая, лядвенец рогатый, гусящая лапка                                                                                                                                                                   | 6,7–7,8  |
| 2.3. Базифильные                       | Бузина сибирская, вяз шершавый, бересклет бородавчатый                                                                                                                                                                                                                             | 7,8–9,0  |

#### 1.4.8. Растения-индикаторы характера увлажнения почв и глубины залегания грунтовых вод

Для индикации глубины залегания грунтовых вод можно использовать группы видов травянистых растений (индикаторные группы). Глубину почвенно-грунтовых вод в лесных экосистемах и характер увлажнения почв можно определить по табл. 11.

Таблица 11

Растения-индикаторы глубины залегания грунтовых вод и характера увлажнения почв (по С. В. Викторову и др., 1988)

| Индикаторы          |                                                          | Глубина грунтовых вод (м) |
|---------------------|----------------------------------------------------------|---------------------------|
| тип леса            | группы растений                                          |                           |
| 1. Ельник-кисличник | Кислица заячья, седмичник европейский, майник двулистный | 3–5                       |
| 2. Ельник-черничник | Черника, кислица заячья, зеленые мхи                     | 1–3                       |

| Индикаторы                  |                                                                         | Глубина<br>грунтовых<br>вод (м) |
|-----------------------------|-------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|
| тип леса                    | группы растений                                                         |                                 |
| 3. Ельники-долгомошники     | Черника, багульник, мох политрихум                                      | до 1 м                          |
| 4. Ельники сфагновые        | Багульник, андромеда, кассандра, сфагновые мхи                          | 0–0,5                           |
| 5. Ельники дубовые          | Ясменник душистый, медуница неясная, звездчатка ланцетовидная, зеленчук | 5–10                            |
| 6. Сосново-ельник-кисличник | Кислица заячья, папоротники, зеленые мхи                                | 3–5                             |
| 7. Сосново-ельник-черничник | Черника, брусника, кислица, папоротники, зеленые мхи                    | 3–5                             |
| 8. Сосняк лишайниковый      | Кошачья лапка, ястребинка волосистая, кладонии                          | более 10                        |
| 9. Сосняк брусничный        | Брусника, зеленые мхи                                                   | 3–5                             |
| 10. Сосняк-черничник        | Черника, кислица, зеленые мхи                                           | до 2 м                          |
| 11. Сосняк орляковый        | Орляк, кислица, майник двулистный                                       | 1–3                             |
| 12. Сосняк долгомошный      | Голубика, черника, мох политрихум                                       | 0,5–1                           |
| 13. Сосняк сфагновый        | Багульник, кассандра, сфагнум                                           | 0–0,2                           |

#### 1.4.9. Листья липы в качестве биоиндикатора солевого загрязнения почвы

Для предотвращения гололедицы на проезжих частях улиц городов часто используют песчано-солевую смесь. В весеннюю пору в период таяния снега часть соли растворяется и вместе с талой водой уносится в реки, а часть соли вместе с песком оказывается на газонах, приводя к загрязнению почвы. Большинство растений не выносит хлорид-ионов и гибнет, древесные растения ослабляются, у них повреждаются листья, уменьшается фотосинтезирующая поверхность и замедляется рост, рано опадают листья. Особенно чувствительны к солевому загрязнению липы. Показателем реакции липы на солевой фактор является появление краевого хлороза на листьях. Под хлорозом понимается утрата листовой пластинкой зеленой окраски вследствие разрушения хлорофилла и появления желтой окраски, что приводит к отмиранию участков листа в целом и раннему сбрасыванию их на землю. О степени засоления почвы газонов можно судить по величине повреждения листовых пластинок липы. Исследования лучше всего вести с половины июля по август, когда лист достигнет своего полного развития. При этом следует внимательно осмотреть листья лип и выявить степень повреждения листовых пластинок. Выделяются 4 степени повреждения, соответствующие характеру засоления почв: первая степень загрязнения – на крае листа появляется узкая желтая полоска, в почве отмечаются следы соли; вторая – сильный хлороз, проявляющийся в виде широкой краевой полосы, при этом в почве отмечается среднее количество соли; третья – обширная зона краевого некроза с желтой пограничной полоской; четвертая – большая часть листовой пластинки отмирает, количество соли в почве крайне велико и граничит с пределами выносливости вида.

#### 1.4.10. Определение избыточного содержания химических элементов в почве по растениям

*Цинк* – обесцвечивание и отмирание ткани листьев, молодые листья желтеют, верхушечные почки отмирают, более старые листья могут опадать без увядания, жилки окрашиваются в красный или черный цвет (на ранних стадиях повреждение сходно с недостатком железа). Первые признаки появляются на молодых растениях, при этом поражается все растение.

*Медь* – хлороз молодых листьев, жилки остаются зелеными.

*Марганец* – первые признаки появляются на молодых растениях, поражение местное. Ткань некротическая, хлороз развивается между жилками молодых листьев, превращая их в желтые или беловатые с темно-коричневыми или почти белыми некротическими пятнами, лист искривляется и сморщивается (в этом основное отличие от голодания).

*Железо* – ткань не некротическая: хлороз развивается между жилками молодых листьев, жилки остаются зелеными, позднее весь лист становится желтым или беловатым, что сходно с голоданием.

*Кобальт* – у некоторых растений вдоль основных зеленых жилок листа появляются прозрачные, наполненные водой участки; между жилками развивается также некроз; позднее листья становятся коричневыми и опадают.

– первые признаки проявляются на взрослых растениях, повреждается все растение. Ткань некротическая, общее пожелтение листьев; желтоватые или коричневые концы и края более старых: появление ярких некротических пятен; опадение листьев, у некоторых растений сходное с калийным голоданием, у других – с избытком азота.

*Магний* – листья слегка темнеют и немного уменьшаются; иногда наблюдается свертывание и сморщивание молодых листьев, на поздних стадиях роста концы их втянуты и отмирают.

*Калий* – ткань не некротическая: на ранних стадиях слабый рост растений, удлинение междоузлий, светло-зеленая окраска листьев; на поздних стадиях рост замедляется, у листьев появляются пятна, листья вянут и опадают.

*Сера* – общее огрубление растений, листья маленькие, тускло-зеленые, стебли твердые, позднее листья могут скручиваться внутрь и покрываться наростами, края их становятся коричневыми, затем бледно-желтыми.

*Хлор* – общее огрубление растений, листья маленькие, тускло-зеленые, стебли твердые, у некоторых растений на более старых листьях появляются пурпурно-коричневые пятна, после чего листья опадают.

*Азот аммонийный* или нитратный – повреждение местное. Ткань некротическая: хлороз развивается на краях листьев и распространяется между жилками, появляется коричневый некроз, и концы листьев свертываются, затем листья опадают (повреждение у многих растений сходно с голоданием).

*Кальций* – хлороз развивается между жилками с беловатыми и некротическими пятнами, которые могут быть окрашенными или иметь наполненные водой концентрические кольца; у некоторых растений происходит рост листовых розеток, отмирание побегов и опадение листьев (по повреждению сходно с недостатком магния и железа).

#### 1.4.11. Кресс-салат как тест-объект для оценки загрязнения почвы и воздуха

Применение тест-растений (биологических индикаторов) позволяет обнаруживать фитотоксичные примеси по их прямому действию на растение. При этом оцениваются не отдельные компоненты, а весь комплекс вредных выбросов, который инструментальными методами, как правило, сделать очень трудно или невозможно. Таким образом, с помощью тест-растений можно точно диагностировать повреждения культурных растений вредными примесями.

Тест с использованием кресс-салата служит для определения действия фитотоксических веществ в почве. Чашки Петри диаметром 9 см заполняют почвой из пораженного загрязнителем и непораженного районов. В каждую чашку высевают по 50 семян салата и хорошо увлажняют. За развивающимися всходами наблюдают в течение 10–14 дней, постоянно пополняя запас влаги. В конце срока наблюдения отмечают величину, форму растений, окраску листьев. Сравнение данных, полученных в вариантах с загрязненной и нормальной почвой, позволяет выявить повышенное содержание вредных веществ, но для получения количественных сведений о виде загрязнения необходим химический анализ.

Кресс-салат как биоиндикатор удобен еще и тем, что действие стрессоров можно изучать одновременно на большом числе растений при небольшой площади рабочего места (чашка Петри, кювета, поддон и т. п.). Привлекательны также и весьма короткие сроки эксперимента. Семена кресс-салата прорастают уже на третий – четвертый день, и на большинство вопросов эксперимента можно получить ответ в течение 10–15 суток.

**Методика.** Прежде чем ставить эксперимент по биоиндикации загрязнений с помощью кресс-салата, партия семян, предназначенных для опытов, проверяется на всхожесть. Для этого семена кресс-салата проращивают в чашках Петри, в которые насыпают промытый речной песок слоем в 1 см. Сверху его накрывают фильтровальной бумагой и на нее раскладывают определенное количество семян. Перед раскладкой семян песок и бумагу увлажняют до полного насыщения водой. Сверху семена закрывают фильтровальной бумагой и неплотно накрывают стеклом. Проращивание ведут в лаборатории при температуре 20–25 °С. Нормой считается прорастание 90–95% семян в течение 3–4 суток. Процент проросших семян от числа посеянных называется всхожестью.

После определения всхожести семян приступают к проведению эксперимента, закладывая один или несколько опытов в следующей последовательности: 1. Чашку Петри заполняют до половины исследуемым субстратом (почвой, илом и т. п.). В другую чашку кладут такой же объем заведомо чистого субстрата, который будет служить в качестве контроля по отношению к исследуемому материалу. 2. Субстраты во всех чашках увлажняют одним и тем же количеством отстоянной водопроводной воды до появления признаков насыщения. 3. В каждую чашку на поверхность субстрата укладывают по 50 семян кресс-салата. Расстояние между соседними семенами должно быть по возможности одинаковым. 4. Покрывают семена теми же субстратами, насыпая их почти до краев чашек и аккуратно разравнивая поверхность. 5. Увлажняют верхние слои субстратов до влажности нижних. 6. В течение 10–15 дней на-

блюдают за прорастанием семян, поддерживая влажность субстратов примерно на одном уровне. Результаты наблюдений записывают в таблицу (табл. 12).

Таблица 12

Скорость прорастания семян кресс-салата

| Исследуемый субстрат | Число проросших семян, %. |        |        |     |         |
|----------------------|---------------------------|--------|--------|-----|---------|
|                      | 3 сут.                    | 4 сут. | 5 сут. | ... | 15 сут. |
| Опыт 1               |                           |        |        |     |         |
| Опыт 2               |                           |        |        |     |         |
| ...                  |                           |        |        |     |         |
| Контроль             |                           |        |        |     |         |

В зависимости от результатов опыта субстратам присваивают один из четырех уровней загрязнения. 1. Загрязнение отсутствует: всхожесть семян достигает 90–100%, всходы дружные, проростки крепкие, ровные. Эти признаки характерны для контроля, с которым следует сравнивать опытные образцы. 2. Слабое загрязнение: всхожесть 60–90%. Проростки почти нормальной длины, крепкие, ровные. 3. Среднее загрязнение: всхожесть 20–60%. Проростки по сравнению с контролем короче и тоньше. Некоторые проростки имеют уродства. 4. Сильное загрязнение: всхожесть семян очень слабая (менее 20%). Проростки мелкие и уродливые.

При проведении опытов с кресс-салатом следует учитывать, что большое влияние на всхожесть семян и качество проростков оказывают водно-воздушный режим и плодородие субстрата. В гумусированной, хорошо аэрированной почве (чернозем, верхний горизонт серой лесной почвы) всхожесть и качество проростков всегда лучше, чем в тяжелой глинистой почве, которая из-за малой проницаемости для воды и воздуха имеет плохой водно-воздушный режим. Поэтому в качестве субстрата для контроля следует брать почву того же типа, что и для опытов.

Кроме загрязнения почвы, на кресс-салат оказывает влияние состояние воздушной среды. Газообразные выбросы автомобилей вызывают морфологические отклонения от нормы у проростков кресс-салата, в частности отчетливо уменьшают их длину.

Кресс-салат можно выращивать на незастекленных балконах многоэтажных домов, расположенных вдоль автодорог. Газообразные выбросы автотранспорта имеют плотность более высокую, чем воздух, и скапливаются в приземном слое до высоты 2 метров. Одновременное выращивание кресс-салата на балконах нижних и верхних этажей летом, в период теплой и безветренной погоды, обычно показывает заметные различия в качестве проростков.

### 1.5. Экологический мониторинг водных объектов [3, 11, 12, 14]

**Оценка степени загрязнения воды:** по физическим, химическим свойствам воды (органолептические и физические, гидрохимические показатели, щелочность и кислотность, рН, растворенный кислород, биохимическое потребление

ние кислорода (БПК), окисляемость – химическое потребление кислорода (ХПК), сухой остаток); по растительным индикаторам, биотическому индексу, анализу донных отложений; по плотности популяций видов – биоиндикаторов состояния водоемов с оценкой обилия в баллах.

### 1.5.1. Методика отбора проб воды

Пробу воды отбирают в посуду из стекла или из полиэтилена марок, разрешенных для контакта с питьевой водой, закрывают стеклянными или пластмассовыми пробками, прокипяченными в дистиллированной воде. В общую посуду отбирают пробу на анализ только тех компонентов, которые имеют одинаковые условия консервации и хранения.

При отборе проб из *поверхностных водоемов или водотоков* следует соблюдать определенные меры безопасности: пробоотбор проводить вдвоем, чтобы в случае необходимости партнер мог оказать помощь. При отборе проб следует обращать внимание (фиксировать в журнале) на сопровождавшие отбор проб гидрологические и климатические условия, такие как осадки и их обилие, паводки, застойность водоема и др.

Количество проб в створе определяется условиями смешения речных вод со сточными водами или водами притоков: при неоднородности химического состава (это, как правило, большие реки) в створе отбирают не менее трех проб – в месте наибольшей скорости течения и на расстоянии 3–5 м от обоих берегов; при однородности химического состава (малые реки) вполне допустимо отбирать одну пробу в месте наибольшего течения.

При глубине водного объекта до 5 м отбирается одна поверхностная проба (в 0,2–0,3 м от поверхности воды летом и у нижней поверхности льда зимой); при глубине от 5 до 10 м – две (у поверхности и в 0,5 м от дна; при глубине более 10 м – три (у поверхности воды, на половине глубины и придонная – в 0,5 м от дна).

Для отбора глубинных проб используют батометр (производственного изготовления или самодельный). Самодельный батометр представляет собой бутылку емкостью 0,5–1 л с прикрепленным к ней тонким шнуром необходимой длины. Бутылку закрывают пробкой со шнуром и помещают в футляр, имеющий груз и петлю. К петле привязывают веревку с отметками, указывающими глубину погружения. На нужной глубине выдергивают пробку из бутылки и после наполнения емкости водой поднимают ее.

*Дождевая вода* собирается при помощи воронки (диаметром не менее 20 см) в мерный цилиндр (или другую подручную емкость).

*Грунтовые воды* изучают, отбирая пробы из артезианских скважин, колодцев, родников.

При отборе проб воды из *водопроводных сетей* соблюдают следующие основные правила: перед наполнением емкости воду пропускают в течение 10–15 мин.; для отбора не используют концевые участки водопроводных сетей, а также участки с трубами малого диаметра (менее 1,2 см); при отборе вода должна медленно течь в пробоотборную емкость до ее переполнения.

*Отобранную пробу нельзя долго хранить*, так как в результате протекания физико-химических и биохимических процессов могут изменяться свойства



ва воды (иногда довольно значительно), что сказывается на достоверности и точности анализа.

Для снижения скорости *биохимических процессов* воду охлаждают до температуры 4–5 °С (сохраняя ее в холодильнике). Для снижения интенсивности протекания *химических процессов* пробы воды консервируют, добавляя к ней в зависимости от определяемых компонентов соответствующие реагенты (например, если в воде предполагается определять содержание металлов, то ее подкисляют до pH 2–3; анионов – в воду следует добавить 2–4 мл хлороформа на 1 л воды). При этом необходимо помнить, что применение консервирующих средств полностью не предохраняет определяемое вещество или саму среду от изменения, поэтому даже консервированные пробы стараются анализировать как можно быстрее.

Для получения надежных результатов необходимо проводить несколько повторных (параллельных) определений из одной пробы, после чего следует провести статистическую обработку полученных результатов или в качестве конечного результата можно использовать среднее арифметическое минимум трех параллельных определений.

### 1.5.2. Определение органолептических и физических показателей воды

**Органолептические исследования.** Любое знакомство со свойствами воды начинается с определения органолептических показателей, т. е. таких, для определения которых мы пользуемся нашими органами чувств (зрением, обонянием, вкусом). Органолептическая оценка приносит много прямой и косвенной информации о составе воды и может быть проведена быстро и без каких-либо приборов. К органолептическим характеристикам относятся цветность, мутность (прозрачность), запах, вкус и привкус, пенистость. Органолептические исследования следует проводить при дневном освещении, в помещении, где нет посторонних запахов. Поскольку эти качества отчасти являются субъективными, органолептические определения рекомендуется проводить несколькими исследователями с последующим обсуждением и согласованием полученных результатов.

Органолептическая оценка качества воды – обязательная начальная процедура санитарно-химического контроля воды. Органолептические показатели являются важными для поддержания нормальных условий жизни обитателей водоемов, а также определяют пригодность воды для питьевых и хозяйственных нужд человека.

**Запах.** Запах воды обусловлен наличием в ней летучих пахнущих веществ, которые попадают в воду либо естественным путем, либо со сточными водами. Практически все загрязняющие вещества (особенно жидкие) имеют запах и передают его воде. Обычно оценивают *характер* и *интенсивность* запаха при нормальной (20 °С) и повышенной (60 °С) температуре воды. **Для питьевой воды допускается запах не более 2 баллов.**

По *характеру* запахи делятся на 2 группы: естественного происхождения – от живущих в воде и отмерших организмов, от влияния почв и т. д. (табл. 13); запахи искусственного происхождения (от промышленных выбросов и т. д.) называются по соответствующим веществам: хлорфенольный, камфорный, бензиновый и т. д.

Таблица 13

## Характер и род запаха воды естественного происхождения

| Характер запаха | Примерный род запаха                     |
|-----------------|------------------------------------------|
| Ароматический   | Огуречный, цветочный                     |
| Болотный        | Илистый, тинистый                        |
| Гнилостный      | Фекальный, сточной воды                  |
| Древесный       | Мокрой щепы, древесной коры              |
| Землистый       | Прелый, глинистый, свежевспаханной земли |
| Плесневый       | Затхлый, застойный                       |
| Рыбный          | Рыбы, рыбьего жира                       |
| Сероводородный  | Тухлых яиц                               |
| Травянистый     | Скошенной травы, сена                    |
| Неопределенный  | Не подходящий под предыдущие определения |

*Интенсивность* запаха оценивают по 5-балльной системе (табл. 14).

Таблица 14

## Шкала для определения интенсивности запаха воды

| Интенсивность запаха | Характер появления запаха                                                                     | Оценка интенсивности запаха, баллы |
|----------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|
| Нет                  | Запах не ощущается                                                                            | 0                                  |
| Очень слабая         | Запах сразу не ощущается, но обнаруживается при тщательном исследовании (при нагревании воды) | 1                                  |
| Слабая               | Запах замечается, если обратить на это внимание                                               | 2                                  |
| Заметная             | Запах легко замечается и вызывает неодобрительный отзыв о качестве воды                       | 3                                  |
| Отчетливая           | Запах обращает на себя внимание и заставляет воздержаться от употребления                     | 4                                  |
| Очень сильная        | Запах настолько сильный, что делает воду непригодной к употреблению                           | 5                                  |

*Выполнение анализа.* 100 мл исследуемой воды при комнатной температуре наливают в коническую колбу с широким горлом, накрывают часовым стеклом или притертой пробкой, встряхивают вращательным движением, открывают пробку или сдвигают часовое стекло и быстро определяют характер и интенсивность запаха. Затем колбу нагревают до 60 °С на водяной бане и таким же способом оценивают запах.

Запах воды следует определять в помещении, где воздух не имеет постороннего запаха.

**Цветность.** Цветность природных вод обусловлена главным образом присутствием гуминовых веществ и комплексных соединений трехвалентного железа. Цветность воды может определяться свойствами и структурой дна водоема, характером водной растительности, прилегающих к водоему почв, наличием в водосборном бассейне болот и торфяников и др.

Цветность воды можно оценивать *качественно*, определяя высоту столба жидкости, при котором обнаруживается окраска. Соответствующая **высота**

**столба воды не должна превышать: для воды водоемов хозяйственно-питьевого назначения – 20 см; культурно-бытового назначения – 10 см.**

**Выполнение анализа.** В пробирку наливают пробу воды высотой 10 см. Цветность определяют при рассеянном свете (смотреть сверху и сбоку стакана). Рядом следует поставить такую же пробирку с дистиллированной водой в качестве эталона (табл. 15).

Таблица 15

Шкала для определения цветности

| Окрашивание при рассмотрении    |                                                      | Цветность<br>в градусах |
|---------------------------------|------------------------------------------------------|-------------------------|
| сбоку                           | сверху                                               |                         |
| Нет                             | Бледно-желтоватое, уловимое при сравнении с эталоном | 10                      |
| Нет                             | Незначительное бледно-желтоватое                     | 20                      |
| Едва заметное бледно-желтоватое | Слабое желтоватое                                    | 30                      |
| Очень бледное желтоватое        | Желтоватое                                           | 40                      |
| Слабо желтоватое                | Светло-желтое                                        | 80                      |
| Желтоватое                      | Желтое                                               | 150                     |

Можно также провести *количественное* определение цветности (визуально или фотометрически), сравнивая окраску пробы с окраской шкалы, приготовленной из смеси дихромата калия  $K_2Cr_2O_7$  и сульфата кобальта  $CoSO_4$ . **Вода для питья** должна иметь цветность не более 20 градусов.

**Приготовление шкалы цветности**

**Раствор № 1.** Растворяют отдельно в дистиллированной воде 0,0875 г дихромата калия и 2 г семиводного сульфата кобальта (II), затем их смешивают, прибавляют 1 мл конц. серной кислоты и доводят объем до 100 мл дистиллированной водой. Этот раствор соответствует цветности 500 градусов.

**Раствор № 2.** 1 мл концентрированной серной кислоты довести дистиллированной водой до 100 мл.

Смешивая растворы № 1 и 2 в соотношениях, указанных в табл. 16, готовят шкалу цветности в пробирках.

Таблица 16

Шкала цветности

| Раствор         | Градусы цветности |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|-----------------|-------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|                 | 0                 | 10  | 20  | 30  | 40  | 50  | 60  | 70  | 80  | 90  | 100 |
| Раствор № 1, мл | 0                 | 0,2 | 0,4 | 0,6 | 0,8 | 1,0 | 1,2 | 1,4 | 1,6 | 1,8 | 2,0 |
| Раствор № 2, мл | 10,0              | 9,8 | 9,6 | 9,4 | 9,2 | 9,0 | 8,8 | 8,6 | 8,4 | 8,2 | 8,0 |

**Выполнение анализа.** В пробирку из бесцветного стекла наливают 10 мл исследуемой воды (при необходимости профильтрованной) и, просматривая сверху на белом фоне, подбирают раствор шкалы с тождественной окраской.

**Примечание:** пробу воды для анализа следует отбирать в стеклянные бутылки с пробками и проводить определение не позднее чем через 6 часов после

отбора пробы. При наличии взвешенных веществ пробу следует отфильтровать, отбросив первые порции фильтрата.

**Цвет (окраска).** При загрязнении водоема стоками промышленных предприятий вода может иметь окраску, не свойственную цветности природных вод. *Для источников хозяйственно-питьевого водоснабжения окраска не должна обнаруживаться в столбике высотой 20 см, для водоемов культурно-бытового водоснабжения – 10 см.*

**Выполнение анализа.** В цилиндр диаметром около 20 мм набирают исследуемую воду высотой сначала 10 см, а затем 20 см. Определяют окраску, рассматривая воду сверху на белом фоне.

**Мутность и прозрачность.** Мутность воды обусловлена содержанием в ней взвешенных мелкодисперсных примесей – нерастворимых или коллоидных частиц различного происхождения. Мутность можно определять *визуально* (по степени мутности столба жидкости в пробирке высотой 10–12 см), с помощью диска Секки, а также *фотометрически* (турбидиметрически или нефелометрически).

**Прозрачность** (или светопропускание) воды обусловлена ее цветом и мутностью, т. е. содержанием в ней различных окрашенных и минеральных веществ. Прозрачность определяют по высоте столба жидкости, который позволяет определить на белой бумаге стандартный шрифт или с использованием диска Секки.

Определение проводят по возможности сразу же после отбора пробы. Если же хранение неизбежно, пробу следует хранить в прохладном темном помещении (не более 24 час.), а перед анализом выдержать при комнатной температуре.

**Качественное определение.** Пробирку заполняют водой до высоты 10–12 см и определяют мутность воды, рассматривая пробирку на темном фоне при достаточном боковом освещении. Пробу описывают качественно: прозрачная; слабо опалесцирующая; опалесцирующая; слабо мутная; мутная; очень мутная.

**Количественное определение (по высоте столба жидкости).** Воду хорошо перемешивают и наливают в цилиндр, защищенный от бокового света экраном. Цилиндр устанавливают над стандартным шрифтом (высота шрифта 3,5 см, ширина линии 0,35 мм) на высоте 4 см. Просматривая шрифт сверху через столб воды и, сливая (или доливая) воду в цилиндр, находят высоту столба (с точностью до 10 мм), еще позволяющую читать шрифт. Исследование проводят в хорошо освещенном помещении, на расстоянии 1 м от окна. Результат анализа: 30 см и выше – хорошая прозрачность; 10 см и менее – вода не пригодна для питья.

**Количественное определение (с помощью диска Секки).** Это полевой метод исследования. Диск Секки – это металлический диск диаметром около 200 мм, покрытый белым пластиком или покрашенный белой краской и прикрепленный к цепи (стержню, нерастягивающемуся шнуру и т. п.). Диск обычно имеет 6 отверстий диаметром 55 мм, расположенных по кругу диаметром 120 мм. При определении мутности его опускают в воду настолько, чтобы он был едва заметен, и измеряют глубину погружения.

**Примечание:** некоторые детские коллективы при обследовании водоемов таким методом с успехом используют вместо диска Секки белую эмалированную крышку от кастрюли соответствующего диаметра.

**Взвешенные вещества.** Этот показатель качества воды определяют путем ее фильтрования. Для анализа берут 500–1000 мл воды. Бумажный фильтр перед фильтрованием взвешивают. После фильтрования осадок с фильтром высушивают в сушильном шкафу до постоянной массы при 103–105 °С, охлаждают в эксикаторе и снова взвешивают.

Количество взвешенных веществ ( $m$ , мг/л) рассчитывают по формуле:

$$m = \frac{(M_1 - M_2) \cdot 1000}{V},$$

где  $M_1$  – масса фильтра с осадком, мг;  $M_2$  – масса фильтра до опыта, мг;  $V$  – объем воды, взятый для анализа, мл.

**Пенистость.** Пенистостью называется способность воды сохранять искусственно созданную пену. Этот показатель может быть использован для качественной оценки присутствия таких веществ, как детергенты (поверхностно-активные вещества) природного и искусственного происхождения. Пенистость определяют в основном при анализе сточных и загрязненных природных вод.

**Выполнение анализа.** Колбу объемом 500 мл заполняют на 1/3 исследуемой водой, с помощью универсальной индикаторной бумаги измеряют показатель pH (он должен быть в пределах 6,5–8,5), при необходимости нейтрализуют разбавленным раствором соляной кислоты или гидроксида натрия и взбалтывают в течение 30 секунд. **Проба считается положительной, если пена сохраняется более 1 минуты.**

**Температура.** Температура является важной гидрологической характеристикой водоема, свидетельствующей о возможном тепловом загрязнении. Тепловое загрязнение происходит обычно в результате использования воды для отвода избыточного тепла и сбрасывания воды с повышенной температурой в водоем. Оно опасно тем, что вызывает интенсификацию процессов жизнедеятельности и ускорение естественных жизненных циклов водных организмов, изменение скоростей химических и биохимических реакций, протекающих в водоеме. В условиях теплового загрязнения значительно изменяется кислородный режим и интенсивность процессов самоочищения водоема, изменяется интенсивность фотосинтеза, складываются особые экологические условия, негативно сказывающиеся на животном и растительном сообществе.

Температуру поверхностных слоев определяют на глубине 15–20 см. Термометр погружают в воду непосредственно на водоеме не менее чем на 1/3 шкалы и выдерживают в погруженном состоянии на нужной глубине не менее 5 минут. Не вынимая термометр из воды, производят отсчет показаний (с точностью до половины цены деления). Измерения проводят в нескольких точках водоема и рассчитывают разницу в значениях температуры. При наличии разницы в измеренных температурах в 3 и более градусов можно говорить о тепловом загрязнении водоема.

**Примечание:** следует избегать измерения температуры в местах возможного естественного прогрева воды (на отмелях, в зарослях водных растений и т. д.), так как в таких местах температура обычно значительно превышает общий температурный фон.

### 1.5.3. Определение гидрохимических показателей проб воды

Обычно их делят на следующие основные группы.

1. *Общие показатели*: водородный показатель (рН); щелочность; кислотность; растворенный кислород; биохимическое потребление кислорода (БПК); химическое потребление кислорода (ХПК), или окисляемость.

2. *Минеральный состав* отражает результат взаимодействия воды как физической фазы с другими средами: твердой (береговыми, подстилающими, почвообразующими минералами и породами) и газообразной (воздушная среда) с содержащимися в ней минеральными компонентами и влагой. Кроме того, на минеральный состав воды большое влияние оказывают различные физико-химические и физические процессы, протекающие в разных средах (растворение, кристаллизация, пептизация, коагуляция, испарение, конденсация и т. д.), а также химические реакции с участием соединений кислорода, азота, серы и пр. В табл. 17 приведены основные компоненты, отражающие минеральный состав воды.

Таблица 17

Основные компоненты минерального состава воды

| Группа 1 («главные ионы»)                                                                                             |                                                | Группа 2                                                                                                 |                                         |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|
| Компоненты                                                                                                            | ПДК, мг/л                                      | Компоненты                                                                                               | ПДК, мг/л                               |
| 1. Катионы:<br>калий ( $K^+$ )<br>кальций ( $Ca^{2+}$ )<br>натрий ( $Na^+$ )<br>магний ( $Mg^{2+}$ )                  | 100 (50)<br>200 (180)<br>200 (120)<br>100 (40) | 1. Катионы:<br>аммоний ( $NH_4^+$ )<br>тяжелые металлы (сумма)<br>железо общее ( $Fe^{2+}$ , $Fe^{3+}$ ) | 2,5 (0,5)<br>0,001 ммоль/л<br>0,3 (0,1) |
| 2. Анионы:<br>гидрокарбонат ( $HCO_3^-$ )<br>сульфат ( $SO_4^{2-}$ )<br>хлорид ( $Cl^-$ )<br>карбонат ( $CO_3^{2-}$ ) | 1000<br>500 (100)<br>350 (300)<br>100          | 2. Анионы:<br>нитрат ( $NO_3^-$ )<br>нитрит ( $NO_2^-$ )<br>ортофосфат ( $PO_4^{3-}$ )                   | 45 (40)<br>0,1 (0,08)<br>3,5            |

*Примечание*: предельно-допустимые концентрации приведены для водоемов хозяйственно-питьевого назначения (в скобках – для рыбохозяйственных водоемов).

Таким образом, основной вклад в минеральный состав вносят «главные ионы» (соли 1-й группы), их и определяют в первую очередь. Соли 2-й группы (хотя они и вносят сравнительно небольшой вклад) также необходимо учитывать при оценке качества воды.

Содержание в воде «главных ионов» (в ммоль/л) определяет *тип химического состава воды*: в зависимости от преобладающего вида аниона (>25%) различают воды гидрокарбонатного, сульфатного и хлоридного типа. Соответственно среди катионов выделяются группы кальциевых, магниевых, калиевых или натриевых вод. Иногда выделяют воды смешанные, или промежуточные (сульфатно-хлоридные магниевые, гидрокарбонатные кальциево-магниевые и т. д.).

Кроме перечисленных катионов и анионов к минеральному составу относят общее солесодержание, сухой остаток, общую жесткость.

1. *Биогенные элементы*. К биогенным элементам традиционно относят элементы, в значительных количествах входящие в состав живых организмов:

азот, фосфор, сера, железо, кальций, магний, калий и продукты жизнедеятельности различных организмов – соединения азота (нитраты, нитриты, органические и неорганические аммонийные соединения) и фосфора (ортофосфаты, полифосфаты, фосфорорганические соединения).

2. *Металлы* – большинство металлов (особенно тяжелых) являются токсичными как для человека, так и для многих живых организмов (в том числе водных). Поскольку металлы в водных объектах, как правило, содержатся в очень незначительных количествах, их определение в школьных условиях вызывает определенные затруднения.

3. *Прочие показатели* – сюда следует отнести ряд специфических показателей: нефть и нефтепродукты, фенолы, поверхностно-активные вещества, активный хлор, фториды и т. д.

#### 1.5.4. Определение водородного показателя (рН)

Большинство природных вод имеет реакцию среды от 4,5 до 8,5 единиц. Более низкие значения рН (до 3) могут наблюдаться в кислых болотных почвах за счет повышенного содержания гуминовых кислот. Чем больше в окружающем воздухе диоксида углерода, тем ниже рН в контактирующей с воздухом воде. Летом при интенсивном фотосинтезе (особенно в период цветения) рН может повышаться до 8–9. На величину рН влияет содержание карбонатов, гидроксидов, солей, подвергающихся гидролизу, гуминовых веществ и т. д.

Согласно рекомендациям Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) для внутреннего употребления человека относительно безопасной считается вода с рН от 6,5 до 8,5; питьевая вода должна быть нейтральной (рН~7), кислотность поверхностных вод не должна выходить за пределы 6,5–8,5. Для всего живого в воде (за исключением некоторых кислотоустойчивых бактерий) минимально возможная величина рН=5.

Атмосферные осадки обычно имеют значение рН 5,6–5,7. Естественное «подкисление» атмосферных осадков обусловлено, прежде всего, взаимодействием диоксида углерода с атмосферной влагой:  $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} = \text{H}_2\text{CO}_3$ . Если же в атмосфере наряду с природными кислотообразующими оксидами присутствуют и токсичные промышленные вещества (например, диоксид серы, сероводород, оксиды азота), то их взаимодействие с атмосферной влагой приводит к повышению кислотности. Дождь, имеющий рН < 5,5, считается «кислотным дождем». Продолжительное выпадение дождей с рН 4,0–4,5 приводит к серьезным экологическим нарушениям (закислению природных водоемов и почв), становится причиной отмирания листьев на деревьях (особенно хвойных), уничтожения травянистой растительности, гибели многих видов рыб и других обитателей водоемов. Негативное влияние кислотных дождей сказывается на усилении коррозии металлов, разрушения гипсов и бетонов, мрамора и известняка. Попадание на кожные покровы человека воды с рН ниже 3,0–3,5 или выше 11 единиц вызывает зуд, покраснение и даже химический ожог.

В результате происходящих в воде химических и биохимических процессов и потерь углекислоты рН воды быстро меняется, поэтому рН рекомендуется определять на месте отбора проб. Если такой возможности нет, вода для определения

pH отбирается в отдельную емкость таким образом, чтобы под крышкой не осталось воздуха, и сразу же после доставки в лабораторию проводится ее анализ одним из предложенных ниже способов (в зависимости от наличия приборов).

1. **С помощью универсального индикатора.** В пробирку, сполоснутую несколько раз анализируемой водой, наливают 5 мл исследуемой воды, прибавляют 3–4 капли универсального индикатора, перемешивают и по окраске раствора оценивают величину pH: розово-оранжевая – pH около 5; светло-желтая – 6; светло-зеленая – 7; зеленовато-голубая – 8. Окраску следует оценивать при рассеянном свете, на белом фоне, на расстоянии 20–25 см в слегка наклоненном положении.

2. **С помощью универсальной индикаторной бумаги** – на лист универсальной индикаторной бумаги наносят несколько капель анализируемой воды, появившуюся окраску сравнивают с контрольной шкалой, которая всегда прилагается к набору бумаги.

Эти методы используются для грубой (сигнальной) оценки pH, так как точность их определения невелика.

3. **С помощью набора Алямовского или pH-метра** – получают наиболее точные значения pH (определение проводится строго по инструкции к прибору). Набор Алямовского более доступен для школ и имеет достаточную для экологических исследований точность (0,2 ед. pH).

#### 1.5.5. Определение щелочности и кислотности проб воды

**Щелочность воды** обусловлена присутствием в воде веществ, реагирующих с сильными кислотами: сильные основания (щелочи – KOH, NaOH), летучие основания ( $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ) и анионы, обуславливающие высокую щелочность в результате гидролиза ( $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{S}^{2-}$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{SiO}_3^{2-}$ ); слабые основания и анионы летучих и нелетучих слабых кислот ( $\text{HPO}_4^{2-}$ ,  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{CH}_3\text{COO}^-$ ,  $\text{HS}^-$ , анионы гуминовых кислот и др.).

Щелочность природных вод в силу их контакта с атмосферным воздухом и известняками обусловлена, главным образом, содержанием в них гидрокарбонатов и карбонатов, которые вносят значительный вклад в минерализацию воды. Щелочность воды измеряется в моль·экв/л или ммоль·экв/л и определяется количеством сильной кислоты, израсходованной на титрование (обычно используют соляную кислоту с концентрацией 0,05 или 0,1 моль/л).

Различают **свободную** и **общую** щелочность. Первая определяется при нейтрализации пробы воды до значений pH 8,0–8,2 с индикатором фенолфталеином; вторая – при нейтрализации до значений pH 4,2–4,5 с индикатором метиловым оранжевым. При pH = 4,5 пробы воды имеют **нулевую щелочность**.

**Выполнение анализа. Свободная щелочность (СвЩ):** в коническую колбу берут 100 мл исследуемой воды, прибавляют 2 капли 0,1%-ного спиртового раствора фенолфталеина и титруют 0,1 М раствором соляной кислоты до полного обесцвечивания раствора.

**Общая щелочность (ОбЩ):** в коническую колбу берут 100 мл исследуемой воды, прибавляют 2 капли 0,1%-ного водного раствора метилового оранжевого, затем продувают воздух в течение 2–3 минут и титруют 0,1 М раствором соляной кислоты до перехода окраски раствора из желтой в оранжевую.



Вновь продувают воздух в течение 2–3 мин. и, если возвращается первоначальная окраска, раствор дотитровывают. Титрование считают законченным, если после продувания воздуха окраска раствора не меняется.

#### *Вычисление результатов анализа*

Величину свободной и общей щелочности (в ммоль·экв/л) вычисляют по формулам:

$$C_{вщ} = \frac{V_1 \cdot 0,1 \cdot K \cdot 1000}{V},$$
$$Общщ = \frac{V_2 \cdot 0,1 \cdot K \cdot 1000}{V},$$

где  $V_1$  и  $V_2$  – объемы 0,1 М раствора соляной кислоты, израсходованные на титрование по фенолфталеину ( $V_1$ ) и метиловому оранжевому ( $V_2$ ), мл; 0,1 – теоретически заданная концентрация соляной кислоты, моль/л;  $K$  – поправочный коэффициент к 0,1 М раствору соляной кислоты ( $K = C_{факт.}/0,1$ ); 1000 – коэффициент перевода моль/л в ммоль/л;  $V$  – объем пробы воды, взятый для анализа, мл.

**Кислотность воды.** Естественная кислотность природных вод обусловлена содержанием слабых органических кислот природного происхождения. В нормальных ненарушенных природных условиях рН речной и озерной воды может меняться, но диапазон его изменений ограничен. Это связано с тем, что природные воды, содержащие карбонатные и гидрокарбонатные ионы, могут до определенного предела нейтрализовать избыток ионов водорода. Буферными (т. е. сохраняющими) способностями также обладают донные отложения, адсорбирующие часть ионов водорода.

Кислотность загрязненных вод вызвана содержанием в ней веществ, реагирующих с гидроксо-анионами: сильных кислот (соляной, азотной, серной); слабых кислот (уксусной, сернистой, угольной, сероводородной и др.); катионов слабых оснований ( $\text{NH}_4^+$ ). Загрязнения, придающие воде повышенную кислотность, возникают при кислотных дождях, при попадании в водоемы неочищенных кислых стоков промышленных предприятий и т. д.

Заложенные природой буферные возможности водных объектов ограничены. При избыточном поступлении кислоты в озеро или пруд в них наблюдается несколько стадий закисления воды.

1. Сначала природной буферности оказывается достаточно для нейтрализации всех поступивших ионов водорода, и рН в реке или озере не изменяется.

2. На второй стадии рН начинает заметно колебаться, быстро уменьшается (после «кислотных дождей» или других поступлений кислоты). Продолжительность «кислотного периода» возрастает.

3. Стадия умеренного закисления наступает, когда значение рН, равное 6 (или немного меньше), удерживается в течение года.

4. На стадии сильного закисления, когда рН устанавливается на уровне 4,5 или ниже, в воде появляются в повышенном количестве ионы алюминия и других металлов, вымываемые из почвы.

Изменение рН воды влечет за собой химическую и биологическую перестройку в водной экосистеме, особенно в относительно замкнутой, какой явля-

ется небольшой пруд или небольшое озеро. При рН 6,5–6,0 погибают улитки, моллюски, ракообразные, гибнет икра земноводных животных.

При рН 5,5 и ниже основная растительность озера вытесняется мхами и нитчатыми водорослями, в воду часто переселяется сфагновый мох – обитатель суши.

Когда рН снижается до 5, исчезают фитопланктон (микроскопические взвешенные в воде растения), многие насекомые, форель, лосось, плотва, окунь. Из-за повышенного содержания солей алюминия и кальция, вымываемых кислотой из донных отложений, многие породы рыб теряют способность к воспроизводству.

При рН ниже 4,5 в воде озер вымирают микроорганизмы, развиваются анаэробные (протекающие при недостатке кислорода) процессы с выделением метана и сероводорода.

Кислотность воды измеряется в моль·экв/л или ммоль·экв/л и определяется количеством сильного основания, израсходованного на титрование (обычно используют растворы NaOH или КОН в концентрациях 0,05 или 0,1 моль/л). Аналогично показателю щелочности, различают свободную и общую кислотность. *Свободная* кислотность определяется при титровании до значения рН 4,3–4,5 в присутствии в качестве индикатора метилового оранжевого (в этом диапазоне оттитровываются соляная, азотная, серная и фосфорная кислоты). *Общая* кислотность определяется при титровании до значений рН 8,2–8,4 в присутствии фенолфталеина в качестве индикатора (в этом диапазоне оттитровываются слабые кислоты и катионы слабых оснований).

**Выполнение анализа.** *Свободная кислотность (СвК):* в коническую колбу берут 100 мл исследуемой воды, прибавляют 2 капли 0,1% водного раствора метилового оранжевого и титруют 0,1 М раствором едкого натра до появления желтой окраски раствора.

*Общая кислотность (ОбК):* в коническую колбу берут 100 мл исследуемой воды, прибавляют 2 капли 0,1% спиртового раствора фенолфталеина и титруют 0,1 М раствором едкого натра до появления розовой окраски раствора, не исчезающей в течение 1 мин.

*Вычисление результатов анализа*

Величину свободной (СвК) и общей кислотности (ОбК) (в ммоль·экв/л) вычисляют по формулам:

$$СвК = \frac{V_1 \cdot 0,1 \cdot K \cdot 1000}{V},$$
$$ОбК = \frac{V_2 \cdot 0,1 \cdot K \cdot 1000}{V},$$

где  $V_1$  и  $V_2$  – объемы 0,1 М раствора NaOH, израсходованные на титрование по метиловому оранжевому ( $V_1$ ) и фенолфталеину ( $V_2$ ), мл; 0,1 – теоретически заданная концентрация едкого натра, моль/л;  $K$  – поправочный коэффициент к 0,1 М едкого натра ( $K = C_{факт.}/0,1$ ); 1000 – коэффициент перевода моль/л в ммоль/л;  $V$  – объем пробы воды, взятый для анализа, мл.

### 1.5.6. Определение окисляемости, или химического потребления кислорода (ХПК)

Присутствующие в воде органические соединения могут претерпевать не только аэробное биохимическое окисление в результате жизнедеятельности бактерий, используемое при определении БПК. При наличии соответствующих условий протекают также химические реакции окисления органических веществ. Характеристикой процесса химического окисления, а также мерой содержания в воде органических веществ является потребление в реакции кислорода, химически связанного в окислителях. Показатель, характеризующий суммарное содержание в воде органических веществ по количеству израсходованного на окисление химически связанного кислорода, называется *химическим потреблением кислорода (ХПК)*, или *окисляемостью*. Поскольку в воде помимо органических веществ могут содержаться и различные неорганические соединения, способные окисляться (соли железа (II), сульфиты, нитриты, сероводород и др.), можно сказать, что окисляемость – это общее количество содержащихся в воде восстановителей (органических и неорганических), реагирующих с сильными окислителями.

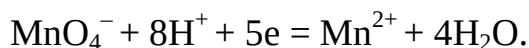
Таким образом, ХПК (окисляемость), являясь интегральным показателем, в настоящее время считается одним из наиболее информативных показателей антропогенного загрязнения вод и повсеместно используется при контроле качества природных вод, исследовании сточных вод и т. д. Результаты определения окисляемости выражаются в миллиграммах потребленного кислорода на 1 л воды (мгО/л).

В качестве окислителей на практике обычно используют дихромат калия (*дихроматная, или бихроматная, окисляемость*) или перманганат калия (*перманганатная окисляемость*). Следует заметить, что дихроматом калия достигается наиболее полное (до 95%) окисление, поэтому определение бихроматной окисляемости является основным методом определения ХПК. Именно бихроматную окисляемость часто называют «химическим потреблением кислорода».

*Примечание:* для определения перманганатной окисляемости используется более простой метод, чем для определения бихроматной окисляемости; однако он имеет определенные ограничения и рекомендуется для контроля питьевой, а также природных незагрязненных или слабозагрязненных вод. Сточные и сильнозагрязненные природные воды, содержащие значительные количества «жестко» окисляющихся органических загрязнителей, рекомендуется анализировать с применением методов определения бихроматной окисляемости.

Нормативы на ХПК в воде водоемов: для питьевой воды – 5,0 мгО/л (для перманганатной окисляемости); в зимний период ХПК не должно превышать 15 мгО/л, а в летний – 30 мгО/л (для бихроматной окисляемости).

**Качественное определение ХПК** (перманганатная окисляемость). В этом методе окрашенный перманганат-ион частично (в количестве, эквивалентном восстановителю) восстанавливается до практически бесцветного катиона марганца (II):



Чем больше в пробе содержится восстановителей (чем выше окисляемость), тем большее количество перманганат-ионов вступает в реакцию, тем сильнее обесцвечивается раствор перманганата калия. По цвету, который приобретает анализируемая проба после выполнения анализа, можно ориентировочно оценить величину окисляемости.

*Выполнение анализа.* 5 мл исследуемой воды (предварительно отфильтрованной) помещают в пробирку, добавляют 0,3 мл раствора серной кислоты (1:3) и 0,5 мл 0,01 моль·экв/л раствора перманганата калия. Смесь перемешивают, оставляют на 20 мин., после чего оценивают величину перманганатной окисляемости (табл. 18).

Таблица 18

| Ориентировочная величина перманганатной окисляемости |                     |
|------------------------------------------------------|---------------------|
| Окраска пробы воды                                   | Окисляемость, мгО/л |
| Ярко лилово-розовая                                  | 1                   |
| Лилово-розовая                                       | 2                   |
| Слабо лилово-розовая                                 | 4                   |
| Бледно лилово-розовая                                | 6                   |
| Бледно-розовая                                       | 8                   |
| Розово-желтая                                        | 12                  |
| Желтая                                               | 16                  |

### 1.5.7. Определение сухого остатка

Сухой остаток – остаток, который получается после выпаривания отфильтрованной или отстоянной (для отделения взвешенных примесей) пробы воды и высушенный до постоянной массы при 105–110 °С. Сухой остаток характеризует содержание в воде (главным образом минеральных) и частично органических примесей, которые образуют с водой истинные или коллоидные растворы и температура кипения которых превышает 105–110 °С.

Величина сухого остатка для поверхностных вод водоемов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования не должна превышать 1000 мг/л (в отдельных случаях допускается до 1500 мг/л).

*Выполнение анализа.* 500–1000 мл отфильтрованной воды помещают в предварительно подготовленную фарфоровую чашку (ее следует вымыть, выдержать в течение часа в сушильном шкафу при температуре 105–110 °С, охладить до комнатной температуры, взвесить). Чашку помещают на электрическую плитку (или, что лучше, на водяную баню) и выпаривают, добавляя воду из мерного цилиндра по мере ее испарения. Воду выпаривают досуха, после чего чашку ставят в сушильный шкаф, нагретый до температуры 105 °С, и сушат до постоянной массы.

*Вычисление результатов анализа.* Массу сухого остатка ( $M$  в мг/л) вычисляют по формуле:

$$M = \frac{(M_1 - M_2) \cdot 1000}{V},$$

где  $M_1$  – масса чашки с сухим остатком, мг;  $M_2$  – масса пустой чашки, мг;  $V$  – объем воды для анализа, мл; 1000 – коэффициент пересчета единиц измерения.

Если необходимо определить остаток после прокаливания, то фарфоровую чашку с остатком ставят в муфельную печь и прокаливают до постоянной массы при температуре 500–550 °С. Величину остатка после прокаливания рассчитывают аналогично величине сухого остатка.

Разность между величиной сухого остатка и остатка после прокаливания равна величине потерь при прокаливании – количеству летучих соединений. Величина прокаленного остатка дает ориентировочное представление о минеральном составе воды, а потери при прокаливании – о количестве органических соединений.

#### **1.5.8. Методы качественного анализа в определении состава воды**

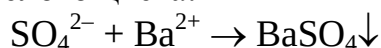
**Качественное определение свободной угольной кислоты (СО<sub>2</sub>).** В колбу берут 15 мл пробы, добавляют 5 капель 0,1%-ного спиртового раствора фенолфталеина, перемешивают. Если появилось розовое окрашивание, то свободного углекислого газа очень мало. Если розовое окрашивание не появилось, то в пробе имеется много свободного углекислого газа. Большое количество оксида углерода (IV) – свободной угольной кислоты – в воде показывает, что данный водоем засорен и в нем преобладают процессы гниения.

**Сульфаты.** Сульфаты – распространенные компоненты природных вод. Содержание их в природных водах обусловлено в основном выщелачиванием горных пород, биохимическими процессами, а также вымыванием сульфатов осадками из воздуха. В поверхностных водах сульфаты содержатся от нескольких до десятков (иногда сотен) мг/л; в дождевых водах – от 1 до 10 мг/л. Большие количества сульфатов (чаще всего аммония, натрия, кальция) попадают со сбросами сточных вод металлургических, химических, машиностроительных, текстильных, кожевенных, пищевых, стекольных, целлюлозно-бумажных, мыловаренных производств.

Сульфаты в питьевой воде не оказывают токсического воздействия на человека, однако ухудшают вкус воды: ощущение вкуса сульфатов возникает при их концентрации 250–400 мг/л. Сульфаты могут вызывать отложение осадков в трубопроводах при смешивании двух вод с разным минеральным составом (например, сульфатных и кальциевых).

ПДК сульфатов в водоемах хозяйственно-питьевого и культурно-бытового назначения – 500 мг/л; в рыбохозяйственных водоемах – 100 мг/л.

Определение сульфат-ионов (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) в воде основано на их взаимодействии с растворимыми солями бария в кислотной среде с образованием малорастворимого сульфата бария белого цвета:



**Качественное определение SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>.** В пробирку вносят 5 мл исследуемой воды, 0,3 мл раствора соляной кислоты (1:5) и 3 мл 5%-ного раствора хлорида бария, перемешивают. По характеру выпавшего осадка определяют ориентировочное содержание сульфатов: отсутствие мути – концентрация сульфат-ионов менее 5 мг/л; слабая муть, появляющаяся через несколько минут, – 5–10 мг/л; слабая муть, появляющаяся сразу, – 10–100 мг/л; сильная, быстро оседающая муть – более 100 мг/л.

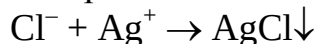
**Хлориды.** По естественному содержанию хлоридов природные воды условно делятся на океанические соленые (с содержанием хлорид-ионов более 5,5 г/л) и пресные. В поверхностных водах количество хлоридов зависит от характера пород, слагающих бассейны, и варьирует в значительных пределах – от десятых долей до тысячи мг/л.

В промышленно развитых регионах наибольший вклад в загрязнение гидросферы хлоридами вносят стоки химико-фармацевтического, металлургического и целлюлозно-бумажного производств. Большие количества хлоридов вносятся в водоемы с хозяйственно-бытовыми сточными водами. Значительный вклад вносят поверхностные стоки (удобрения, хлорорганические пестициды, солепесчаные смеси, употребляемые на дорогах для таяния снега). В природных водах хлориды способны образовывать с органическими загрязняющими веществами супертоксичные соединения.

Высокие концентрации хлоридов в питьевой воде не оказывают токсического воздействия на человека. Однако при значительных концентрациях хлориды ухудшают вкусовые качества воды, поэтому ПДК для питьевой воды установлена именно по органолептическому показателю, который в данном случае является лимитирующим показателем вредности. Следует отметить, что в питьевой воде, проходящей подготовку на станциях водоочистки, в результате дезинфекции воды хлором хлориды могут образовываться в значительных количествах. Кроме того, серьезную опасность представляют галоидпроизводные различных органических примесей, содержащихся в воде, которая подвергается хлорированию (пестициды, амины, детергенты и т. д.). Чтобы избежать накопления в воде хлорорганических веществ, необходимо освобождать ее от органических примесей до хлорирования.

ПДК хлоридов в водоемах хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования – 350 мг/л; в водоемах рыбохозяйственного назначения – 300 мг/л.

Определение хлорид-ионов ( $\text{Cl}^-$ ) в воде основано на их взаимодействии с растворимыми солями серебра с образованием белого творожистого осадка:



**Качественное определение.** В пробирку отбирают 5 мл исследуемой воды и добавляют 3 капли 1%-ного раствора нитрата серебра. Приблизительное содержание хлоридов определяют по осадку или помутнению раствора (табл. 19).

Таблица 19

Ориентировочное содержания хлоридов

| Осадок или помутнение                     | Концентрация хлоридов, мг/л |
|-------------------------------------------|-----------------------------|
| Опалесценция или слабая муть              | 1–10                        |
| Сильная муть                              | 10–50                       |
| Образуются хлопья, но осаждаются не сразу | 50–100                      |
| Белый объемистый осадок                   | Более 100                   |

**Жесткость.** Под термином «жесткость воды» понимают свойство воды, определяемое присутствием в ней растворенных солей щелочноземельных ме-

таллов, прежде всего кальция и магния. Из всех солей, относящихся к солям жесткости, выделяют гидрокарбонаты, сульфаты и хлориды (содержание других солей кальция и магния в природных водах обычно мало). Жесткость, придаваемая воде гидрокарбонатами, называется *гидрокарбонатной*, или *устраняемой (временной)*, так как гидрокарбонаты при кипячении разлагаются с образованием малорастворимых карбонатов («накипи»):



Жесткость, обусловленная хлоридами или сульфатами, называется *некарбонатной*, или *неустраняемой (постоянной)*, так как эти соли устойчивы при нагревании и кипячении воды. Временная и постоянная жесткости в сумме дают *общую* жесткость воды. Поскольку гидрокарбонат магния в природных водах встречается значительно реже, чем гидрокарбонат кальция, в пресных водах преобладает так называемая кальциевая жесткость.

Так как понятие жесткости отражает суммарное содержание различных элементов, ее принято выражать в ммоль·экв/л (мг-экв/л). По величине общей жесткости воду классифицируют следующим образом:

- < 1,5 ммоль·экв/л – очень мягкая вода
- 1,5–4 ммоль·экв/л – мягкая вода
- 4–8 ммоль·экв/л – средней жесткости
- 8–12 ммоль·экв/л – жесткая вода
- > 12 ммоль·экв/л – очень жесткая вода

Общая жесткость природных вод варьирует в широких пределах в зависимости от типа почв и пород, слагающих бассейн водосбора, а также от сезона года, погодных условий. *Например*, в озерах и реках тундры общая жесткость составляет 0,1–0,2 ммоль·экв/л, а в морях, океанах, подземных водах достигает 80–100 ммоль·экв/л и даже больше (Мертвое море).

Ежегодно реки вносят в моря и океаны около 600 млн. т кальция и магния в виде карбонатов и гидрокарбонатов. Нерастворимые карбонаты вымываются из горных пород, а растворимые гидрокарбонаты в большом количестве образуются из карбонатов благодаря поглощению водами рек углекислого газа из атмосферы. Под воздействием микроорганизмов, живущих в природной воде, гидрокарбонаты разлагаются на углекислый газ, воду и карбонаты. Карбонат кальция используется живыми организмами для строительства раковин и панцирей. *Например*, устрица, прежде чем построить раковину, должна пропустить через себя количество воды, в 50 тыс. раз превышающее ее собственную массу. Раковины морских животных содержат также карбонат магния в количестве 1–13% в зависимости от вида. В организме человека около 99% кальция находится в костной и зубной тканях, и только 1% – в крови и различных органах. Человеку в сутки требуется примерно 1 г кальция.

От содержания в воде кальция и магния зависят ее вкусовые качества. Считается, что в интервале от 0 до 7 ммоль·экв/л вода тем вкуснее, чем больше ее жесткость. Однако продолжительное употребление воды с жесткостью более 10 ммоль·экв/л (нормы, рекомендованные ВОЗ), а по данным российских ученых – с жесткостью более 7 ммоль·экв/л, может привести к серьезным заболеваниям желудка, нарушению солевого обмена, развитию мочекаменной болезни и остеохондроза.

Допустимая величина общей жесткости воды для питьевой воды и источников централизованного водоснабжения составляет не более 7 ммоль-экв/л (в отдельных случаях – до 10 ммоль-экв/л).

**Качественное определение жесткости воды.** К 5 мл пробы воды в пробирке прибавляют 2 капли 10%-ного раствора соляной кислоты, 3 капли 10%-ного раствора уксусной кислоты и 2–3 капли 0,5 моль-экв/л раствора оксалата аммония. Полученный результат сравнивают со шкалой (табл. 20).

Таблица 20

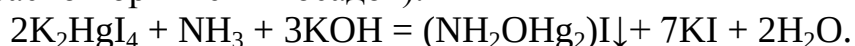
Ориентировочное определение жесткости

| Результат анализа проб воды             | Показатель жесткости |
|-----------------------------------------|----------------------|
| Едва заметная муть                      | 1–5                  |
| Слабая муть                             | 5–15                 |
| Осадок, медленно оседающий на дно       | 15–50                |
| Большой осадок, быстро оседающий на дно | Более 100            |

**Аммиак и ионы аммония.** Аммиак и катионы аммония практически всегда в небольших количествах присутствуют в природных водах. Однако в результате антропогенной деятельности их содержание в поверхностных и грунтовых водах значительно возрастает. Основные источники загрязнения окружающей среды (в том числе и вод) аммонийными солями: неправильное использование минеральных и органических удобрений, в состав которых в больших количествах входят соединения аммония; сточные воды от животноводческих ферм, стоки с пастбищ и мест скопления скота, бытовые и хозяйственно-фекальные стоки; промышленные предприятия (азотно-туковые комбинаты, предприятия по производству азотной кислоты и солей аммония и др.).

Содержание аммиака в незагрязненных природных водах составляет до 0,2 мг/л; в стоках промышленных предприятий около 1 мг/л; в бытовых стоках 1,9–7,1 мг/л; в районах, где аммиак применяется как удобрение, – до 13 мг/л. Запах в воде ощущается при концентрации аммиака около 0,04 мг/л, привкус – при 5–10 мг/л. ПДК аммиака и ионов аммония в питьевой воде и в воде водоемов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового назначения составляет 2,6 мг/л (2,0 мг/л по N); в рыбохозяйственных водоемах – 0,5 мг/л (0,4 мг/л по N).

**Качественное определение.** Определение аммиака и ионов основано на его реакции с реактивом Несслера (щелочной раствор комплексной соли тетраиодомеркурата (II) калия  $K_2HgI_4$ ) с образованием желтого соединения иодида оксодимеркураммония (в зависимости от концентрации катионов аммония в пробе интенсивность окраски раствора различна; при больших концентрациях образуется красно-коричневый осадок):



**Выполнение анализа.** В пробирку наливают 5 мл исследуемой воды, прибавляют (*осторожно!*) 2–3 капли щелочного раствора реактива Несслера. Если проба сильно окрашена, то предварительно обесцвечивают ее 2%-ным раствором сульфата алюминия. Через 10–15 мин. проводят приближенное определение аммония и его солей в пробе (табл. 21).



## Ориентировочное суммарное содержание аммиака и ионов аммония в воде

| Окраска пробы воды  | Концентрация, мг/л |
|---------------------|--------------------|
| Нет окраски         | менее 0,05         |
| Слабо-желтая        | 0,05–0,25          |
| Желтоватая          | 0,25–0,50          |
| Желтая              | 0,50–2,50          |
| Буро-желтая         | 2,50–5,00          |
| Буро-желтая, мутная | 5,00–10,0          |

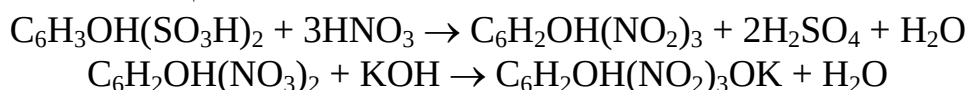
**Нитраты.** Присутствие нитрат-ионов в природных водах обусловлено следующими основными причинами: процессами нитрификации аммонийных (и отчасти нитритных ионов), протекающими внутри водоема под действием нитратообразующих (нитратофиксирующих) бактерий в аэробных условиях; вымыванием атмосферными осадками оксидов азота, которые образуются при атмосферных электрических разрядах (концентрация нитратов в атмосферных осадках достигает 0,9–1,0 мг/л); промышленными и хозяйственно-бытовыми сточными водами, особенно после биологической очистки, когда концентрация нитратов может доходить до 50 мг/л; стоком с сельскохозяйственных полей и сбросом вод с орошаемых полей, на которых применялись азотные удобрения (содержание азота в поверхностном стоке с полей колеблется от 40 до 5500 мг/л, а с одного гектара орошаемых земель в водные системы может выноситься до 8–10 кг соединений азота).

Повышенная концентрация нитратов ухудшает качество воды в водоеме, стимулируя массовое развитие водной растительности (в первую очередь – синезеленых водорослей) и является, чаще всего, показателем несвежего загрязнения водоема.

ПДК нитратов в водоемах рыбохозяйственного назначения составляет 40 мг/л (9,1 мг/л по N), в питьевой воде и водоемах – источниках водоснабжения – 45 мг/л по  $\text{NO}_3^-$  (10,2 мг/л по N).

В поверхностных водах нитраты находятся в растворенной форме. Концентрация нитратов в поверхностных водах подвержена заметным сезонным колебаниям: минимальная в вегетационный период, она увеличивается осенью и достигает максимума зимой, когда при минимальном потреблении азота происходит разложение органических веществ и переход азота из органических форм в минеральные. Амплитуда сезонных колебаний может служить одним из показателей эвтрофирования водного объекта. Главными процессами, направленными на понижение концентрации нитратов в водоемах, являются потребление их фитопланктоном и денитрофицирующими бактериями, которые при недостатке кислорода используют кислород нитратов на окисление органических веществ.

**Качественное определение (с дисульфифеноловой кислотой).** Метод основан на реакции между нитратами и дисульфифеноловой кислотой с образованием нитропроизводных фенола, которые со щелочами дают соединения, окрашенные в желтый цвет:



**Выполнение анализа.** 50 мл отфильтрованной исследуемой воды выпаривают досуха в фарфоровой чашке, добавляют 5 капель дисульфифеноловой кислоты, перемешивают. Через 10 мин. добавляют 15 мл дистиллированной воды и 5 мл 10%-ного раствора аммиака. Содержимое переливают в мерную колбу на 100 мл, доводят объем до метки дистиллированной водой. Концентрацию нитрат-ионов определяют по шкале (табл. 22).

Таблица 22

Ориентировочное содержание нитратов

| Окрашивание раствора при рассматривании сбоку | Содержание нитратов, мг/л |
|-----------------------------------------------|---------------------------|
| Едва уловимая                                 | 10                        |
| Едва заметно желтоватая                       | 20                        |
| Очень слабо-желтоватая                        | 60                        |
| Слабо-желтоватая                              | 100                       |
| Слабо-желтая                                  | 200                       |
| Светло-желтая                                 | 500                       |
| Желтая                                        | 1000                      |
| Сильно желтая                                 | 2000                      |

**Нитриты.** Благодаря способности нитритов достаточно легко превращаться в нитраты, концентрация их в природных незагрязненных водах обычно невысока (около 1 мг/л) даже при высоком содержании нитратов. Поэтому наличие в анализируемой воде повышенного содержания нитритов свидетельствует о загрязнении воды (причем высокие их концентрации указывают, как правило, на свежее загрязнение водоема).

Источники антропогенного поступления нитритов в водоемы весьма разнообразны (в результате чего нитриты в них могут накапливаться в значительных количествах): нитриты часто используются в промышленности как ингибиторы коррозии, в пищевой промышленности как консерванты. Кроме того, к нитритному загрязнению водоемов приводит интенсивное использование азотсодержащих удобрений, сточные воды с животноводческих ферм, городские и транспортные отходы, бытовые сточные воды. Большое количество нитрит-ионов содержат сточные воды производств химико-фармацевтического, текстильного, лакокрасочного.

ПДК нитритов в воде водоемов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового назначения составляет 3,3 мг/л (1 мг/л по N); в рыбохозяйственных водоемах – 0,08 мг/л (0,02 мг/л по N).

**Качественное определение (с реактивом Грисса).** Метод основан на способности нитрит-ионов давать окрашенные диазосоединения с первичными ароматическими аминами. С сульфаниловой кислотой и  $\alpha$ -нафтиламином (реактив Грисса) нитрит-ионы образуют азокраситель красного цвета:

Определению нитритов мешают взвешенные вещества, мутность и окраска воды. Устранение мешающего влияния обеспечивается прибавлением 0,5 г активированного угля или гидроксида алюминия к 300 мл воды. Затем пробу отстаивают 15–20 мин. и фильтруют. В сильнозагрязненных водах это обеспечивается разбавлением пробы дистиллированной водой.

**Выполнение анализа.** В пробирку отбирают 5 мл фильтрата, прибавляют 0,5 мл реактива Грисса и нагревают примерно до 60 °С на водяной бане (или в химическом стакане, наполовину наполненном водой). Через 10 мин. появившуюся окраску сравнивают со шкалой (табл. 23).

Таблица 23

Ориентировочное содержание нитритов

| Окрашивание раствора при рассмотрении |                            | Содержание нитритов, мг/л |
|---------------------------------------|----------------------------|---------------------------|
| сбоку                                 | сверху                     |                           |
| Нет окраски                           | Нет окраски                | Менее 0,003               |
| Нет окраски                           | Чрезвычайно слабое розовое | 0,003                     |
| Едва заметное розовое                 | Очень слабое розовое       | 0,007                     |
| Очень слабое розовое                  | Слабо-розовое              | 0,013                     |
| Слабо-розовое                         | Светло-розовое             | 0,050                     |
| Светло-розовое                        | Розовое                    | 0,100                     |
| Розовое                               | Сильно-розовое             | 0,200                     |
| Сильно-розовое                        | Красное                    | 0,500                     |
| Красное                               | Ярко-красное               | 1,000                     |

**Определение суммы тяжелых металлов.** Говоря о повышенной концентрации в воде металлов, как правило, подразумевают ее загрязнение *тяжелыми металлами* (с плотностью более 8 г/см<sup>3</sup>). Формально под эту классификацию попадает большое количество элементов. Однако в работах, посвященных проблемам загрязнения окружающей среды и экологического мониторинга, на сегодняшний день к тяжелым металлам относят более 40 элементов периодической системы Д.И. Менделеева с атомной массой более 50: ванадий, хром, марганец, железо, кобальт, никель, медь, цинк, молибден, кадмий, олово, ртуть, свинец, висмут и др. Важнейшими условиями отнесения того или иного металла к тяжелым рассматриваются высокая токсичность соответствующих соединений для живых организмов в относительно низких концентрациях, а также способность элемента к биоаккумуляции. Практически все металлы, отнесенные к тяжелым, активно участвуют в биологических процессах, входят в состав многих ферментов.

Тяжелые металлы, попадая в воду, могут существовать в виде растворимых токсичных солей и комплексных соединений (иногда очень устойчивых), коллоидных частиц, осадков (свободных металлов, оксидов, гидроксидов и др.). Главными источниками загрязнения воды тяжелыми металлами являются гальванические производства, предприятия горнорудной, черной и цветной металлургии, машиностроительные заводы и т. д. Тяжелые металлы в водоеме вызывают целый ряд серьезных негативных последствий: попадая в пищевые цепи и нарушая элементный состав биологических тканей, они оказывают тем самым прямое или косвенное токсическое воздействие сначала на водные организмы, а через них и на организм человека.

Тяжелые металлы по характеру биологического воздействия можно подразделить на *токсиканты* и *микроэлементы*, имеющие принципиально различный характер влияния на живые организмы. Токсиканты оказывают отрицательное воздействие на организм при любой концентрации, в то время как микроэлементы

имеют область недостаточности (вызывают отрицательный эффект при его недостатке) и область необходимых для жизни концентраций, при превышении которых снова возникает отрицательный эффект. Типичными токсикантами являются кадмий, свинец, ртуть; микроэлементами – марганец, медь, кобальт и др.

Ориентировочное предельно допустимое значение содержания в водах суммы металлов составляет 0,001 ммоль/л (ГОСТ 24902).

**Свинец.** Свинец и его соединения относятся к основным загрязнителям окружающей среды. Главными источниками загрязнения соединениями свинца окружающей среды являются: *автотранспорт*, работающий на этилированном бензине; *предприятия цветной металлургии*; *теплоэлектростанции* (в золе электростанций содержится до 150 мг/кг свинца).

Концентрация этого металла в воздухе и дождевой воде на территории промышленных центров нередко в 2–3 раза превышает допустимый уровень. На концентрацию свинца в природной воде сильно влияет ее кислотность: чем она выше, тем больше в воде растворимых соединений свинца. В подземных водах содержание свинца составляет от 0,1 до 20 мкг/л, в воде океанов и морей – в среднем 0,35 мкг/л.

ПДК свинца в питьевой воде и в водоемах хозяйственно-питьевого назначения – 0,03 мг/л; в рыбохозяйственных водоемах – 0,1 мг/л.

**Качественное определение (с дихроматом калия).** Метод основан на способности катионов свинца в уксуснокислой среде образовывать с дихроматом калия желтый малорастворимый хромат свинца:



**Выполнение анализа:** 0,5 л исследуемой воды, подкисленной 5 мл раствора азотной кислоты (1:2), упаривают примерно до 10 мл, приливают еще 5 мл раствора азотной кислоты (1:2), нагревают на водяной бане в течение 10 мин. Фильтруют и выпаривают в фарфоровой чашке досуха (*осторожно!*). К сухому остатку приливают 2 мл 0,5%-ного раствора ацетата натрия и доводят общий объем до 10 мл дистиллированной водой. Фильтруют и переливают в пробирку.

Готовят стандартную шкалу (табл. 24).

Во все пробирки шкалы и в пробирку с исследуемой водой вносят по 0,1 мл 50%-ной уксусной кислоты и по 0,5 мл 10%-ного раствора дихромата калия, встряхивают и через 10 мин. приступают к определению (содержимое пробирок рассматривают сверху на черном фоне).

Таблица 24

Стандартная шкала для определения свинца

| Раствор                         | Номер пробирки            |      |      |      |      |
|---------------------------------|---------------------------|------|------|------|------|
|                                 | 1                         | 2    | 3    | 4    | 5    |
| Стандартный раствор, мл         | 0                         | 0,1  | 0,3  | 0,5  | 0,8  |
| 0,5%-ный р-р ацетата натрия, мл | по 0,2 мл во все пробирки |      |      |      |      |
| Дистиллированная вода, мл       | 8,0                       | 7,9  | 7,7  | 7,5  | 7,2  |
| Содержание свинца, мг/л         | 0                         | 0,01 | 0,03 | 0,05 | 0,08 |

**Приготовление стандартного раствора.** В мерной колбе на 250 мл растворяют 0,02 г нитрата свинца (в 1 мл раствора содержится 0,05 мг свинца). Раствор следует готовить непосредственно перед употреблением.

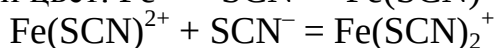
**Железо (общее).** В малых концентрациях (до 1 мг/л) железо встречается практически во всех природных водах. Оно может находиться в различных формах: в виде *истинных растворов* (аквакомплексов)  $[\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_6]^{2+}$ , содержащих железо (II). На воздухе железо (II) быстро окисляется до железа (III), растворы которого имеют бурую окраску; в виде *коллоидных растворов* из-за пептизации (распада агрегированных частиц) гидроксида железа под воздействием органических соединений; в виде *комплексных соединений* с органическими и неорганическими лигандами (карбонилы, гексацианоферраты и др.); в *нерастворимой форме* железо может быть представлено в виде взвешенных в воде твердых минеральных частиц различного состава.

Большое количество железа в поверхностные водоемы поступает со сточными водами химических производств (концентрация железа в них может достигать 500 мг/л).

ПДК железа, не влияющая на санитарный режим водоема, – 0,5 мг/л; предельная концентрация железа в питьевой воде и воде источников водоснабжения – 0,3 мг/л, в водоемах рыбохозяйственного назначения – 0,1 мг/л.

Поскольку соединения железа в воде могут существовать в различных формах как в растворе, так и во взвешенных частицах, точные результаты могут быть получены только при определении суммарного железа во всех его формах, так называемого *общего железа*. Раздельное определение железа (II) и железа (III), их нерастворимых и растворимых форм, дает менее достоверные результаты относительно загрязнения воды соединениями железа, хотя иногда возникает необходимость определения железа в его индивидуальных формах.

**Качественное определение общего железа (с роданид-ионами).** Метод основан на взаимодействии ионов меди (II) с диэтилдитиокарбаматом натрия в слабоаммиачной среде с образованием диметилдитиокарбамата меди, окрашенного в желто-коричневый цвет:  $\text{Fe}^{3+} + \text{SCN}^- = \text{Fe}(\text{SCN})^{2+}$



Определение проводят после предварительного окисления железа (II) в кислой среде до железа (III).

**Выполнение анализа.** К 5 мл исследуемой воды, помещенной в пробирку, прибавляют 3 капли раствора соляной кислоты (1:2) и 2–3 капли пероксида водорода, 4 капли 30%-ного раствора роданида аммония (или калия) перемешивают и сравнивают окраску пробы со шкалой (табл. 25).

Таблица 25

| Ориентировочное определение железа |                                |                           |
|------------------------------------|--------------------------------|---------------------------|
| Окраска при рассмотрении           |                                | Концентрация железа, мг/л |
| Сбоку                              | сверху                         |                           |
| Нет окраски                        | Нет окраски                    | Менее 0,05                |
| Едва заметная желтовато-розовая    | Очень слабая желтовато-розовая | 0,10                      |
| Очень слабая желтовато-розовая     | Слабая желтовато-розовая       | 0,25                      |
| Слабая желтовато-розовая           | Светлая желтовато-розовая      | 0,50                      |
| Светлая желтовато-розовая          | Желто-розовая                  | 1,00                      |
| Желто-розовая                      | Желто-красная                  | 2,00                      |
| Желтовато-красная                  | Ярко-красная                   | Более 2,00                |

**Алюминий.** Присутствие алюминия в *водопроводной воде* объясняется тем, что на станциях водоподготовки для очистки воды (*осветления*) от взвешенных веществ, тяжелых металлов, частично нефтепродуктов и радионуклидов используются коагулянты (чаще всего сульфат и гидроксохлорид алюминия). Поскольку в ходе процесса осветления большая часть внесенного алюминия выпадает в осадок при коагуляции, то говорят об остаточном содержании алюминия в воде, а соответствующий показатель осветленной воды часто называют «остаточный алюминий».

К источникам поступления алюминия в *природные воды* можно отнести частичное растворение глин и алюмосиликатов, атмосферные осадки, сточные воды различных производств (электротехническая, авиационная, химическая, нефтеперерабатывающая промышленность, машиностроение, строительство и др.).

В природной воде алюминий присутствует в ионной, коллоидной и взвешенной формах, миграционная способность которых невысока. С участием алюминия образуются довольно устойчивые комплексы, в том числе органоминеральные, находящиеся в воде в растворенном или коллоидном состоянии. Растворимость алюминия в воде является функцией pH: при значении  $\text{pH} < 4,5$  в растворе преобладают катионы  $\text{Al}^{3+}$ , при  $\text{pH} > 7$  – комплексные анионы  $[\text{Al}(\text{OH})_4]^-$ . Естественное содержание алюминия в водоисточниках колеблется в широких пределах (от единиц до сотен мкг/л); в некоторых кислых водах его концентрация иногда достигает нескольких граммов в 1 литре. Это объясняется тем, что при закислении водоема нерастворимые формы алюминия переходят в растворимые, что способствует резкому повышению его концентрации в воде.

ПДК алюминия в природных водах или оставшегося в воде после ее обработки не должна превышать 0,5 мг/л (по рекомендациям ВОЗ – 0,2 мг/л), для рыбохозяйственных водоемов – 0,04 мг/л.

**Нефтепродукты.** Нефтепродукты относятся к числу наиболее распространенных и опасных веществ, загрязняющих поверхностные воды. Большие количества нефтепродуктов в поверхностные воды поступают при перевозке нефти водным путем, транспортировке по трубопроводам, со сточными водами предприятий нефтеперерабатывающей, химической, металлургической и других отраслей промышленности.

В результате протекающих в водоеме процессов испарения, сорбции, биохимического и химического окисления и пр. концентрация нефтепродуктов может существенно снижаться, при этом значительным изменениям может подвергаться их химический состав. Нефтепродукты находятся в различных миграционных формах: растворенной, эмульгированной, сорбированной на твердых частицах взвесей и донных отложений, в виде пленки на поверхности воды. Обычно в момент поступления в водоем основная масса нефтепродуктов сосредоточена в пленке. По мере удаления от источника загрязнения либо с течением времени происходит перераспределение нефтепродуктов между основными формами, при этом постепенно повышается доля растворенных, эмульгированных и сорбированных нефтепродуктов. В присутствии нефтепродуктов вода приобретает специфический вкус и запах, изменяются ее цвет и pH, ухудшается газообмен с атмосферой, нарушаются процессы самоочищения водоема.

При санитарно–химическом контроле при анализе нефтепродуктов определяют суммарную их концентрацию во всех формах, существующих в отобранной пробе.

ПДК нефти и нефтепродуктов для водоемов-источников питьевого водоснабжения составляет 0,3 мг/л, для водоемов рыбохозяйственного назначения – 0,05 мг/л.

**Визуальный метод определения пленочной нефти.** Обнаружение загрязнения водоемов пленочной нефтью проводят визуально-описательным методом по приведенной ниже шкале (табл. 26).

Таблица 26

Оценка загрязнения водоемов пленочной нефтью

| Внешний вид водоема                                                                                                                                                      | Балл |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| Отсутствие пленок и пятен                                                                                                                                                | 1    |
| Отдельные пятна и серые пленки на поверхности воды                                                                                                                       | 2    |
| Пятна и ирризирующие пленки на поверхности воды. Отдельные промазки нефти по берегам и прибрежной растительности. Купаться неприятно из-за нефти                         | 3    |
| Нефть в виде пятен и пленок покрывает большую часть поверхности водоема. Берега и прибрежная растительность вымазаны нефтью. Купаться невозможно из-за присутствия нефти | 4    |
| Поверхность реки покрыта нефтью, видимой и во время волнения. Берега и прибрежная растительность вымазаны нефтью. Купаться невозможно                                    | 5    |

**Качественное определение нефтепродуктов** (методом бумажной хроматографии). Метод определения содержания масла и нефтепродуктов в воде основан на их предварительной концентрации путем экстрагирования из водной среды неполярным растворителем (четырёххлористым углеродом) в кислой среде (рН 3–4) с последующим анализом экстракта. Чувствительность метода 1 мг/л.

Пробу воды рекомендуется отбирать сразу в тот сосуд, в котором будет проводиться экстракция нефтепродуктов, так как часть их может адсорбироваться стенками емкости и в дальнейшем потеряется. При этом проба должна занимать не более 1/3 объема сосуда. При ожидаемой концентрации нефтепродуктов в анализируемой воде до 5 мг/л рекомендуется отбирать пробу объемом 500 мл; при больших концентрациях (до 20 мг/л и выше) – достаточно 200 мл.

**Проведение экстракции.** В делительную воронку (или сосуд достаточной вместимости) с анализируемой пробой добавляют 2–3 капли раствора соляной кислоты до рН 3–4 (по универсальной индикаторной бумаге) и 10 мл четыреххлористого углерода. Содержимое сосуда интенсивно перемешивают в течение 3–5 мин. (для экстрагирования нефти) и оставляют на 10–20 мин. для расслоения жидкости. Нижний органический слой с небольшим количеством воды переносят в делительную воронку на 10 мл (верхний водный слой отбрасывают). Через 10–20 мин. выдержки в вертикальном положении отделяют экстракт от остатков воды, слив его в склянку с пробкой (экстракт можно хранить до 2 месяцев в прохладном месте).

**Качественное определение ПАВ.** Определение основано на способности анионоактивных ПАВ образовывать с метиленовым голубым растворимое в хлороформе окрашенное соединение, которое экстрагируют в щелочной среде и промывают кислым раствором метиленового голубого (для устранения мешающего влияния хлоридов, нитратов и белков).

*Выполнение анализа.* В большую пробирку отбирают 10 мл анализируемой воды, последовательно добавляют по 1 мл 3%-ного пероксида водорода, фосфатного буферного раствора и раствора метиленового голубого, перемешивают. Затем прибавляют 3 мл хлороформа (осторожно перемешивают в течение 1 мин.) и 1 мл 0,3%-ного раствора серной кислоты (перемешивают в течение 1 мин.).

После разделения слоев проводят визуальное колориметрирование, сравнивая окраску нижнего (хлороформного) слоя с окраской контрольной шкалы (табл. 27).

Таблица 27

Приготовление контрольной шкалы для определения ПАВ

| Раствор                         | Номер эталонного раствора |       |      |      |      |
|---------------------------------|---------------------------|-------|------|------|------|
|                                 | 1                         | 2     | 3    | 4    | 5    |
| Рабочий стандартный раствор, мл | 0                         | 0,5   | 1,0  | 2,0  | 5,0  |
| Вода дистиллированная, мл       | 10,0                      | 9,5   | 9,0  | 8,0  | 5,0  |
| Раствор пероксида водорода      | По 1,0 мл в каждую пробу  |       |      |      |      |
| Буферный раствор                | По 1,0 мл в каждую пробу  |       |      |      |      |
| Раствор метиленового голубого   | По 1,0 мл в каждую пробу  |       |      |      |      |
| Хлороформ                       | По 3,0 мл в каждую пробу  |       |      |      |      |
| 0,3%-ный раствор серной кислоты | По 1,0 мл в каждую пробу  |       |      |      |      |
| Содержание ПАВ в пробе, мг      | 0                         | 0,005 | 0,01 | 0,02 | 0,05 |
| Концентрация ПАВ, мг/л          | 0                         | 0,5   | 1,0  | 2,0  | 5,0  |

*Приготовление основного стандартного раствора.* Навеску лаурилсульфата натрия массой 0,1000 г растворяют в 1000 мл дистиллированной воды (раствор стабилизируют добавлением 1 мл хлороформа). Полученный раствор содержит 0,10 мг/мл ПАВ.

*Приготовление рабочего стандартного раствора.* 10 мл основного стандартного раствора помещают в мерную колбу на 100 мл и доводят объем раствора до метки дистиллированной водой. Полученный раствор содержит 0,01 мг/мл ПАВ (раствор готовят в день проведения анализа).

**Фенолы.** Фенолы являются одними из наиболее распространенных загрязнителей. Они применяются для производства фенолформальдегидных смол, капролактама, всевозможных красителей, пестицидов, лекарств, как антисептик для дезинфекции. Фенолы поступают в поверхностные воды со стоками предприятий нефтеперерабатывающей, лесохимической, коксохимической, анилиноокрасочной промышленности и др. В сточных водах этих предприятий содержание фенолов может превышать 10–20 мг/л. В незагрязненных или слабозагрязненных речных водах содержание фенолов обычно не превышает 20 мкг/л.



В поверхностных водах фенолы могут находиться в растворенном состоянии в виде фенолятов, фенолят-ионов и свободных фенолов. Фенолы в водах могут вступать в реакции конденсации и полимеризации, образуя сложные гумусоподобные и другие довольно устойчивые соединения. Фенолы – соединения нестойкие и подвергаются биохимическому и химическому окислению, причем простые (одноатомные) фенолы подвергаются, главным образом, биохимическому окислению. При концентрации более 1 мг/л разрушение фенолов протекает достаточно быстро (убыль фенолов составляет 50–75% за трое суток), при концентрации несколько десятков мкг/л этот процесс замедляется, и убыль за это же время составляет 10–15%. Многоатомные фенолы разрушаются в основном путем химического окисления. Следует отметить, что концентрация фенолов в поверхностных водах подвержена сезонным изменениям: в летний период содержание фенолов падает, так как с ростом температуры увеличивается скорость их распада.

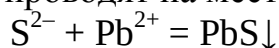
При санитарно-химическом контроле качества воды определяют суммарное содержание летучих фенолов, так как они более токсичны и, как правило, преобладают в общем количестве фенолов, обычно присутствующих в поверхностных водах.

ПДК фенолов варьирует от 0,1 мг/л в нехлорированной питьевой воде до 0,001 мг/л в хлорированной. Такая разница не случайна: при хлорировании воды фенол, содержащийся в ней превращается в пентахлорфенол (в 250 раз более токсичный, чем фенол) и 2,4,6-трихлорфенол (канцероген). Дальнейшее превращение этих веществ ведет к образованию диоксина, самого токсичного вещества (он в 150 тыс. раз ядовитее цианистого калия).

Для водоемов рыбохозяйственного назначения ПДК фенолов составляет 0,001 мг/л.

**Качественное определение фенола.** В коническую колбу вносят 100 мл исследуемой воды и добавляют раствор хлорной извести (или хлорную воду) в небольшом объеме. Через 10 мин определяют (сначала на холоде, а затем при нагревании), появился ли характерный для хлорфенолов «аптечный» запах.

**Качественное определение сероводорода и сульфидов.** Метод основан на реакции сероводорода и сульфидов с ионами свинца с образованием темного сульфида свинца (определение проводят на месте отбора проб):



*Выполнение анализа.* В коническую колбу, наполненную на 3/4 исследуемой водой, помещают полоску свинцовой бумаги, смоченную дистиллированной водой, зажимая ее между пробкой и горлышком. Потемнение бумаги указывает на присутствие сероводорода. При отрицательной реакции воду подкисляют. Потемнение бумаги при подкислении указывает на наличие сульфидов.

### 1.5.9. Гидробиологические методы исследования

#### *Мониторинг загрязнения водоемов по состоянию макрозообентоса*

Биологический мониторинг водных объектов должен базироваться на экосистемном подходе, критерием которого является экологическое благополучие экосистем.

Объектом биологического мониторинга могут выступать любые компоненты водных биоценозов (зообентос, фитопланктон, зоопланктон, макрофиты, перифитон, рыбы), но при определении качества воды в обязательном порядке следует использовать оценку по зообентосу. Зообентос представлен донными беспозвоночными животными, которые полностью или часть жизненного цикла проводят в воде и участвуют практически во всех пищевых цепях внутри водоема.

Значительная часть отходов промышленного производства в водной среде не разрушается из-за своей устойчивости и накапливается в донных отложениях. Бентофауна определенного участка водоема подвергается длительному воздействию одних и тех же загрязняющих веществ. Поэтому изменения, которые происходят в донных биоценозах, отражают характер и степень загрязнения, как водных масс, так и грунта. Все это позволяет рассматривать зобентос как универсальный объект мониторинга.

Наиболее удобным для неспециалиста объектом биомониторинга является макрозообентос – макроскопические (длиной более 2 мм) беспозвоночные, обитающие на дне водоемов и в зарослях водных растений. Это, главным образом, водные личинки и имаго насекомых, моллюски, пиявки, малощетинковые черви и высшие ракообразные.

Наиболее характерный тип загрязнения природных водоемов – сброс в них больших масс разлагающихся органических веществ либо биогенных элементов (также способствующих возрастанию массы органики в водоеме). Такое загрязнение приводит, в первую очередь, к заилению дна, увеличению кормовой базы детритоядных животных и микроорганизмов, снижению количества растворенного в воде кислорода. Именно эти факторы непосредственно изменяют состав сообщества. Для количественной оценки органического загрязнения введена шкала сапробности (ксено-, олиго-, б-мезо-, а-мезо- и полисапробные водоемы).

Параллельно с обычной органикой, но в меньших дозах, человечество загрязняет водоемы ядохимикатами, нефтепродуктами, солями металлов, теплом, шумом, радиацией и электромагнитным излучением. Общая картина загрязнения водоемов довольно сложна, но показано, что виды, устойчивые к органическому загрязнению, в целом более устойчивы и к остальным типам загрязнений. Поэтому устойчивость живых организмов к загрязнению измеряют, как правило, по единой шкале сапробности.

Ошибочно мнение, что на состав населения водоема в первую очередь влияет загрязнение воды. Не менее важны для биоценоза естественные условия: тип дна, глубина, проточность и скорость течения, сезон года, географическое положение водоема и многие другие факторы. Именно они определяют разнообразие пресноводных сообществ. Воздействие субстрата, течения и других характеристик местообитания на состав сообщества изучено еще довольно слабо и во многих работах по оценке качества воды незаслуженно игнорируется. Между тем, эти факторы имеют прямое отношение к результатам оценок загрязненности водоемов.

В частности, ускорение течения, стимулируя обогащение воды кислородом и устраняя заиливание дна, вызывает сдвиг состава сообщества в сторону оли-

госапробной зоны, замедление течения – в сторону полисапробной. С другой стороны, в сообщества сильно загрязненных рек часто встраиваются прудово-озерные виды, а прибойная зона олигосапробных озер бывает населена речными представителями бентоса.

Фауна плотных субстратов (камней, коряг, листового опада), а также фауна водных растений в том же водоеме представлена более олигосапробными видами, чем фауна мягких субстратов (ила, детрита и песка).

Не стоит считать, что в отсутствие антропогенных загрязнений концентрация органических веществ в водоеме (сапробность) всегда близка к нулю. Каждому водоему присущ свой естественный «фон» сапробности. Он тем выше, чем богаче продукцией и беднее водой окружающий ландшафт, чем меньше поступает в водоем кислорода, и чем теплее вода. Кроме того, стоячие водоемы богаче органическим веществом по сравнению с текучими, а непроточные – богаче по сравнению с проточными. Так, в тундре и в горах незагрязненные водоемы почти не имеют свободной органики – ксеносапробны. Жизнь в них качественно довольно разнообразна, а количественно очень бедна. Хозяйственное загрязнение легко увеличивает концентрацию органики в десятки раз, вызывая резкую перестройку сообщества (часто – с полной сменой видов).

В лесной зоне реки и ручьи несут немного свободной органики (олиго- и б-мезосапробны), а озера и пруды с грунтовым питанием довольно богаты ей (часто а-мезосапробны). Сельскохозяйственные стоки обычно повышают сапробность тех и других на одну-две ступени, вызывая лишь частичную перестройку сообщества с сохранением основных жизненных форм и видового разнообразия. Только при очень сильном антропогенном прессе (до полисапробной стадии) изменение сообщества носит катастрофический характер. В загрязненные реки, кстати, часто вселяются прудово-озерные виды, для которых улучшение условий питания компенсирует отрицательное воздействие течения.

Начинать гидробиологические исследования следует с рекогносцировочного обследования, позволяющего получить предварительную картину экологического состояния водоема и определить места закладки точек отбора проб. Рекогносцировочное обследование основывается на визуальном наблюдении, при этом обращается внимание на источники антропогенного загрязнения, производится фотосъемка.

Количество и местоположение точек отбора проб зообентоса определяется задачами исследования. Как правило, число их должно быть не менее трех на каждом исследуемом водоеме. Места закладки располагаются в 500 м выше и ниже предполагаемого источника загрязнения или же в 1 км выше и ниже пункта водопользования. Для установления самоочистительных свойств реки может быть заложена еще одна точка пробоотбора, находящаяся в 15–20 км ниже источника загрязнения. На каждую точку в полевом дневнике заполняется бланк рекогносцировочного обследования.

Отбор проб зообентоса производится скребком или водным сачком. Водный сачок имеет проволочный каркас треугольной формы, который насаживается на деревянную ручку длиной 1,5–2 м. Каркас обшивается плотной тканью, к которой крепится сам сачок, выполненный из мельничного газа № 17–19. Со

дна водоема отбираются пробы грунта, которые промываются прямо в сачке или скребке путем прополаскивания до просветления промывных вод. Возможно промывание в эмалированном тазу с применением приема отмучивания.

Отбор проб производят по поперечному разрезу реки в разных биотопах. Основных биотопов 3: собственно грунт, камни на дне и заросли макрофитов (высшей водной растительности). Каждому из биотопов соответствует свое население. При взятии проб зообентоса на каменистом грунте извлеченные из воды камни споласкивают в сачке или скребке, смывая прикрепившиеся к ним организмы. Площадь обловленных камней должна составлять не менее 0,5 квадратных метра.

В каждой точке следует отбирать не менее 4–5 проб, причем 3 из них должны быть отобраны с собственно грунта по левому и правому берегам и на стрежени. Пробы зообентоса помещаются в специальные банки или полиэтиленовые пакеты и этикетируются. На этикетке указывается дата отбора, название водоема, номер точки, место отбора пробы, биотоп.

Как правило, среди бентосных беспозвоночных рек и ручьев в значительном количестве встречаются личиночные стадии насекомых, которые по окончании развития покидают водоем. С вылетом насекомых связано временное снижение вероятности обнаружения их личинок, что ошибочно может быть объяснено как результат загрязнения. Поэтому наиболее благоприятными периодами для обследования рек является весна и начало осени, когда вылет насекомых не начался или закончился, а их личинки достигли сравнительно крупных размеров. При необходимости обследования рек в летний период вероятность обнаружения личинок насекомых можно повысить за счет увеличения количества проб (до 8–10) и площади облова.

Собранный материал подвергают разборке. Так как живые организмы более заметны и легче поддаются выборке, желательно разбор проб производить сразу. При отсутствии возможности выполнить это в день отбора допускается хранение проб в холодильнике в течение 2 суток. При обработке проб небольшие порции грунта помещаются в светлые кюветы с водой, из которых беспозвоночные выбираются пинцетом.

С помощью определителей (Приложение 3) производится установление таксономической принадлежности животных. Для первичной ориентировки можно пользоваться кратким определителем, представленном в данном пособии. (Приложение 3). В случае необходимости хранения для последующего детального определения возможна фиксация проб 4% раствором формалина.

По результатам определения составляется фаунистический список, устанавливаются биоиндикационные показатели, дается оценка качества воды.

### ***Гидробиологическая индикация***

Известно несколько десятков методик оценки качества воды по составу макрозообентоса. Большинство из них имеют два крупных недостатка: требуют сбора и обработки количественных проб (очень трудоемких и требующих специального оборудования) и предполагают определение животных до вида (обычно доступное лишь для специалистов-систематиков).

Далее приводятся несколько наиболее простых биоиндикационных методик.

**Индекс Гуднайта-Уитлея.** Этот показатель вычисляется очень просто, если имеются количественные данные по макробентосу. Он равен процентному отношению численности малощетинковых червей (олигохет) к численности всего макробентоса. Считается, что доля олигохет тем больше, чем сильнее загрязнена вода и дно (т. е. чем больше органических веществ). Индекс удовлетворительно работает лишь на мягких грунтах (илах и песках), где вообще могут жить олигохеты, и очень чувствителен к типу грунта.

**Метод и индекс Вудивисса.** Для биологического анализа загрязненных вод по составу донных животных наиболее простым и достаточно удобным представляется метод Вудивисса. Он основан на уменьшении разнообразия фауны в условиях загрязнения и на характерной последовательности исчезновения из водоема разных групп животных по мере увеличения загрязнения. Этот метод предполагает сбор только качественных проб, без учета обилия животных и допускает определение животных до отрядов и семейств.

Таблица 28

Вычисление индекса Вудивисса

| Найденные группы          | Всего найдено групп |     |      |       |      |
|---------------------------|---------------------|-----|------|-------|------|
|                           | 0–1                 | 2–5 | 6–10 | 11–15 | > 15 |
| Веснянки > 1 вида         | –                   | 7   | 8    | 9     | 10   |
| 1 вид                     | –                   | 6   | 7    | 8     | 9    |
| Поденки > 1 вида          | –                   | 6   | 7    | 8     | 9    |
| 1 вид                     | –                   | 5   | 6    | 7     | 8    |
| Ручейники > 1 вида        | –                   | 5   | 6    | 7     | 8    |
| 1 вид                     | 4                   | 4   | 5    | 6     | 7    |
| Бокоплав                  | 3                   | 4   | 5    | 6     | 7    |
| Водяной ослик             | 2                   | 3   | 4    | 5     | 6    |
| Трубочник или мотыль      | 1                   | 2   | 3    | 4     | –    |
| Виды с воздушным дыханием | 0                   | 1   | 2    | –     | –    |

Список групп Вудивисса: планарии *Tricladida* (каждый вид), малощетинковые черви *Oligochaeta*, пиявки *Hirudinea*, моллюски *Mollusca*, высшие ракообразные *Malacostraca*, веснянки *Plecoptera*, поденки *Ephemeroptera*, ручейники *Trichoptera* (каждое семейство), вислоккрылка *Sialis*, личинки хирономид *Chironomidae*, личинки мошек *Simuliidae*, прочие личинки двукрылых *Diptera*, водные жуки *Coleoptera*, водные клопы *Heteroptera*, водные клещи *Hydracarina*. Кроме того, Вудивисс предложил считать отдельными группами олигохету *Nais*, поденку *Baetis rhodani* и хирономиду *Chironomus thummi*; однако их определение для неспециалиста затруднительно.

Значение индекса Вудивисса изменяется от 0 (наиболее загрязненная вода) до 10 (вода высшего качества). Для вычисления индекса нужно найти подходящую строку в табл. 28 (двигаясь по ней сверху вниз – т. е. самую верхнюю из подходящих строк). Затем остается подсчитать общее число найденных групп из прилагаемого списка и по правой части таблицы найти значение индекса.

Например, в пробе не встречено личинок веснянок, но обнаружен один вид личинок поденок. Значит, нас интересует четвертая сверху строка в таблице. Допустим, что, кроме этого, в пробе найдены пиявки, улитки, водяной ослик, два семейства ручейников и хирономиды. Всего имеем (считая поденку) 7 групп. Соответственно, индекс Вудивисса равен 6.

Потенциально число групп Вудивисса довольно велико (за счет неограниченного числа видов планарий и большого числа семейств ручейников). На практике, однако, число этих групп редко превышает 15. При невозможности определения семейств ручейников и видов планарий можно считать отдельно каждую их новую форму (в частности, планарий разных цветов и ручейников с разными типами домиков).

Метод Вудивисса довольно чувствителен к объему пробы. В общем случае рекомендуется выловить не менее 50 животных, в противном случае значение индекса может быть занижено.

Метод и индекс Вудивисса предназначены для рек, однако применяются для оценки сапробности самых разных водоемов, для которых не разработано более адекватных показателей. Следует учитывать, что на мягких грунтах (иле, песке) в том же водоеме индекс Вудивисса намного ниже, чем на камнях, корягах и макрофитах. Индекс сравнительно неплохо отражает уровень сильных и очень сильных загрязнений, но малочувствителен к слабым и средним загрязнениям, особенно на жестких грунтах. Так, для быстрой речки с каменистым дном в Подмоскowie индекс Вудивисса колеблется от 7 до 9 даже при значительных органических загрязнениях. Это связано, в первую очередь, с наличием устойчивых к загрязнению видов даже среди личинок веснянок (*Nemoura cinerea*, *Nemurella pictetii*) и поденок (*Baetis vernus*, *Heptagenia sulphurea*).

**Метод Николаева.** Для малых и средних рек Европейской России известна шкала и метод оценки качества вод Николаева. Это – упрощенный вариант оценки сапробности по Пантле-Букку. Метод предполагает сбор качественных данных со всех донных субстратов реки и определение беспозвоночных до родов или семейств. По Николаеву, речные воды делятся на 6 классов по качеству, приблизительно соответствующих грациям сапробности: очень чистые (ксеносапробные), чистые (олигосапробные), умеренно загрязненные (b-мезосапробные), загрязненные (a-мезосапробные), грязные (b-полисапробные), очень грязные (a-полисапробные).

При оценке по методу Николаева нужно для каждого класса качества вод в табл. 29 подсчитать число найденных таксонов, умножить его на значимость таксона (последняя строка) и выбрать класс качества вод, набравший наибольшее число очков. Особняком стоит 6-й класс, критерием принадлежности к которому является полное отсутствие макробентоса.

Метод Николаева удовлетворительно работает для рек шириной 7–10 м и более, для средних и сильных загрязнений. К слабым загрязнениям он малочувствителен. Не рекомендуется применять его и для стоячих водоемов, в которых большинство использованных таксонов-индикаторов не встречаются вообще.

## Определение качества вод по Николаеву

| Таксоны                                                                 | Классы качества воды |   |   |   |    |
|-------------------------------------------------------------------------|----------------------|---|---|---|----|
|                                                                         | 1                    | 2 | 3 | 4 | 5  |
| Ручейник <i>Rhyacophila</i>                                             | *                    | * |   |   |    |
| Веснянки, кроме <i>Nemoura</i>                                          | *                    | * |   |   |    |
| Личинки мухи <i>Atherix</i>                                             | *                    | * |   |   |    |
| Бокоплав <i>Gammarus</i>                                                | *                    | * | * |   |    |
| Губки                                                                   |                      | * | * |   |    |
| Беззубки ( <i>Anodonta</i> , <i>Pseudoanodonta</i> )                    |                      | * |   |   |    |
| Жаберные улитки ( <i>Viviparus</i> , <i>Bithynia</i> , <i>Valvata</i> ) |                      | * | * |   |    |
| Речные раки ( <i>Astacus</i> , <i>Pontastacus</i> )                     |                      | * | * |   |    |
| Ручейники: <i>Neureclipsis</i> , <i>Molanna</i> , <i>Brachycentrus</i>  |                      | * | * |   |    |
| Стрекозы: <i>Calopteryx</i> , <i>Plathycnemis</i>                       |                      | * | * |   |    |
| Поденки: <i>Ephemera</i> , <i>Polymitarcys</i>                          |                      | * | * |   |    |
| Пиявки: <i>Glossiphoniidae</i>                                          |                      | * | * | * |    |
| Перловицы ( <i>Unio</i> , * <i>Crassiana</i> )                          |                      | * | * | * |    |
| Водные клопы                                                            |                      | * | * | * |    |
| Поденки: <i>Heptageniidae</i>                                           |                      | * | * | * |    |
| Вислокрылка <i>Sialis</i>                                               |                      | * | * | * |    |
| Мошки <i>Simuliidae</i>                                                 |                      | * | * | * |    |
| Ручейники: <i>Hydropsyche</i> , <i>Anabolia</i>                         |                      |   | * | * |    |
| Стрекозы: <i>Gomphidae</i>                                              |                      |   | * | * |    |
| Пиявки: <i>Erpobdella</i> , <i>Haemopsis</i> , <i>Piscicola</i>         |                      |   | * | * |    |
| Горошинки и шаровки ( <i>Pisidiidae</i> )                               |                      |   | * | * |    |
| Водяной ослик <i>Asellus aquaticus</i>                                  |                      |   | * | * | *  |
| Трубочник ( <i>Tubificidae</i> ), в массе                               |                      |   |   | * | *  |
| Мотыль ( <i>Chironomus</i> ), в массе                                   |                      |   |   | * | *  |
| Личинка мухи <i>Eristalis</i> (крыска)                                  |                      |   |   | * | *  |
| Значимость каждого таксона                                              | 25                   | 6 | 5 | 7 | 20 |

**Метод оценки загрязнения по литореофилам.** Специально для оценки низких уровней загрязнения ручьев и малых рек с быстрым течением (шириной от 1 до 10 м) средней полосы Европейской России предлагается данный метод и индекс. Он также предполагает сбор качественных данных по макробентосу, причем с плотных субстратов (предпочтительно камней, в худшем случае коряг и листового опада). Эти субстраты населяют литореофилы – виды, наиболее требовательные к содержанию кислорода в воде и чувствительные к заилению. Определение нужно вести до семейств или родов. В качестве индикаторных таксонов используются личинки насекомых (веснянок, поденок и ручейников) и некоторые пиявки. Индикаторные таксоны разбиты на две группы: А (чувствительные к загрязнению и недостатку кислорода) и В (устойчивые к недостатку кислорода и увеличивающие обилие при органическом загрязнении и заилении).

Для определения индекса нужно подсчитать в пробе число чувствительных к загрязнению таксонов (А) и устойчивых таксонов (В).

Если  $A+B < 5$ , то проба либо собрана некачественно, либо не на плотных субстратах, либо в речке с болотным питанием, либо загрязнение очень велико (для работ с такими водоемами рекомендуется индекс Вудивисса).

Если  $A + B = 5$  или больше, оцениваем  $A/B$ ,

$A/B$  равно 5 и более: водоем очень бедный органическим веществом сам по себе (без следов загрязнения человеком). В средней полосе такие водоемы встречаются крайне редко.

3–5: водоем незагрязненный, несущий естественный «фон» органического вещества. Таковы большинство быстрых речек и ручьев средней полосы Европейской России в лесных массивах без населенных пунктов.

2–3: водоем несет слабое, обычно косвенное антропогенное загрязнение, или естественный «фон» органики повышен (вырубки в окружающем лесу, частичное заболачивание долины, бобровые запруды и т. п.).

1–2: налицо заметное, но не сильное антропогенное загрязнение.

0,5–1: загрязнение средней силы.

0–0,5: сильное загрязнение, с большой вероятностью имеет промышленный характер; начиная с этого уровня рекомендуется использовать другие методы оценки загрязненности.

Таблица 30

Литореофилы – индикаторы загрязнения

| Чувствительные таксоны (группа А)                                                                                                                                                                    | Устойчивые таксоны (группа В)                                                                                                                                                             |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Веснянки:<br>сем. <i>Perlodidae</i><br>сем. <i>Capniidae</i><br>сем. <i>Leuctridae</i>                                                                                                               | Веснянки:<br><i>Nemoura</i> ( <i>Nemuridae</i> )                                                                                                                                          |
| Поденки:<br><i>Ecdyonurus</i> ( <i>Heptageniidae</i> ) <i>Habrophlebia</i> ( <i>Leptophlebiidae</i> )                                                                                                | Поденки:<br>сем. <i>Baetidae</i><br>сем. <i>Caenidae</i><br><i>Heptagenia</i> ( <i>Heptageniidae</i> )                                                                                    |
| Ручейники:<br>сем. <i>Rhyacophilidae</i><br>сем. <i>Goeridae</i><br>сем. <i>Glossosomatidae</i><br><i>Polycentropus</i> ( <i>Polycentropodidae</i> )<br><i>Potamophylax</i> ( <i>Limnephilidae</i> ) | Ручейники:<br>сем. <i>Leptoceridae</i><br><i>Hydropsyche</i> ( <i>Hydropsychidae</i> )<br><i>Neureclipsis</i> ( <i>Polycentropodidae</i> )<br><i>Limnephilus</i> ( <i>Lymnephilidae</i> ) |
|                                                                                                                                                                                                      | Пиявки:<br><i>Erpobdella</i> ( <i>Erpobdellidae</i> )<br>сем. <i>Glossiphoniidae</i>                                                                                                      |

**Соответствие различных показателей.** Поскольку приведенные выше индексы и методы призваны измерять одно и то же, их величины должны соответствовать друг другу, что и отражает табл. 31. На практике, в силу сложности природы и несовершенства любой из методик, соответствие наблюдается далеко не всегда. Сравнивать оценки, полученные с помощью разных методов, нужно с большой осторожностью.



Соответствие разных индексов качества воды

| Класс вод по Николаеву    | Характеристика сапробности | Индекс Пантле-Букка | Индекс Гуд-найта-Уитлея | Индекс Вудивисса* | Индекс литореофилов |
|---------------------------|----------------------------|---------------------|-------------------------|-------------------|---------------------|
| 1 – очень чистые          | ксено-сапробные            | < 1,0               | 0–20%                   | 8–10              | >3                  |
| 2 – чистые                | олиго-сапробные            | 1–1,5               | 21–35%                  | 5–7               | 2–3                 |
| 3 – умеренно загрязненные | b-мезо-сапробные           | 1,5–2,5             | 36–50%                  | 3–4               | 1–2                 |
| 4 – загрязненные          | a-мезо-сапробные           | 2,5–3,5             | 51–65%                  | 1–2               | 0–1                 |
| 5 – грязные               | b-поли-сапробные           | 3,5–4,0             | 66–85%                  | 0–1               | –                   |
| 6 – очень грязные         | a-поли-сапробные           | > 4,0**             | 86–100%**               | 0**               | –                   |

\* – для мягких грунтов (для твердых существенно выше)

\*\* – макробентос может отсутствовать вообще.

**Оборудование для гидробиологических исследований.** Микроскоп учебный, бинокулярная лупа, ручные лупы, предметные и покровные стекла, чашки Петри, кристаллизаторы, пинцеты, пипетки (типа «глазных»), иглы препаровальные, термометр водный, банки разной емкости, водный сачок, водный скребок, широкая посуда с белым дном (таз, поддон), формалин, лампа настольная, определители.

Методика биоиндикации водоема по ряске. **При выполнении этой работы нужно изготовить карту-схему района (для указания сбора информации) и листы анкеты №1 (по числу точек сбора информации).**

Для сбора информации потребуется: ведро объемом 5 литров, шумовка или столовая ложка; закрывающаяся плотно посуда объемом около 0,2 литра (или полиэтиленовые пакеты), количество которых определяется числом проб; для анализа материала нужно приготовить: плоскую неглубокую посуду (чашки Петри, блюдца), лупу с увеличением в 2–4 раза, лучше штативную, препаровальные иглы, тонкий пинцет; при выборе маршрута заранее определите точки сбора информации; на участках, где можно предполагать наличие слабого однородного загрязнения, точки обследования могут располагаться на расстоянии 2–3 м друг от друга. Каждая точка получает свой номер, повторные точки обозначаются буквой (17а, 17б). Обследование всего водоема проводят в течение 2–4 дней; наиболее показательным сроком для средней полосы является вторая половина июля; дополнительно можно повторить работу в конце августа – начале сентября.

Ведром соберите ряски с поверхности примерно 0,5 м<sup>2</sup>. Все плавающие растения из ведра соберите шумовкой и вместе с небольшим количеством воды поместите в сосуд или полиэтиленовый пакет, на котором написан номер точки сбора и пробы.

Одновременно в анкете № 1 нужно записать характеристики водоема, береговой и водной растительности, дату сбора. Дальнейший анализ проводится после возвращения с маршрута или на длительной стоянке.

### *Разбор пробы.*

Разделить пробу на примерно равные 4 части (если растений мало – можно взять 1/2 или даже всю пробу) с таким расчетом, чтобы в 1/4 (1/2) было примерно 150–200 растений. Разделить взятую часть по видам, пользуясь следующей схемой-определителем: 1. Корней на материнском щитке или на крупных дочерних – несколько (больше одной); если корни неразвиты, материнский щиток крупный (5–10 мм); многокоренник обыкновенный, если корень один – см.п. 2.2. Щиток вытянутый, на верхушке заостренный – ряска тройчатая; если щиток круглый, см.п. 3.3. С нижней стороны щитка отчетливо выраженное вздутие – ряска горбатая, если вздутия на нижней стороне нет – ряска малая.

После разборки пробы по видам нужно сосчитать и записать в анкете число растений каждого вида, общее число щитков (материнских и деток) и среди них – число щитков с повреждениями. К повреждениям относятся черные и бурые пятна (некроз) и пожелтение (хлороз).

Количество и размеры пятен не учитываются.

Для экспресс-оценки полученных результатов можно использовать самый массовый вид (обычно это ряска малая). Определение качества воды проводится по табл. 32, в которой римскими цифрами обозначены: I – очень чистая, II – чистая, III – умеренно загрязненная, IV – загрязненная, V – грязная.

*Таблица 32*

#### Определение качества воды по биоиндикатору – ряске малой

| % щитков<br>с повреждениями | Отношение числа щитков к числу особей |     |     |     |     |
|-----------------------------|---------------------------------------|-----|-----|-----|-----|
|                             | 0                                     | 1   | 1,3 | 1,7 | 2   |
| 0                           | I–II                                  | II  | III | III |     |
| 10                          | III                                   | III | III | III | III |
| 20                          | III                                   | IV  | III | III | III |
| 30                          | IV                                    | IV  | IV  | III | III |
| 40                          | IV                                    | IV  | IV  | III | –   |
| 50                          | IV                                    | IV  | IV  | –   | –   |
| 60                          | V                                     | V   | –   | –   | –   |

Первая колонка в таблице 32 соответствует тем случаям, когда в целой пробе не удалось набрать 30 экземпляров даже наиболее массового вида.

Для более подробного анализа все разобранные по видам ряски разделить на 3 группы: мелкие, средние, крупные щитки.

У всех видов ряски средними считаются щитки 3–4 мм длиной, у многокоренника – 5–8 мм (соответственно, щитки с длиной меньше средней считаются мелкими, более средней – крупными).

Подсчитывается общее число щитков каждой размерной группы и число щитков с повреждениями среди них.

Напоминаем: число экземпляров – это число отдельных растений (одно растение – материнский щиток с прикрепленными к нему «детками», если «детки» есть), число щитков включает и материнские, и «детки» (суммарное количество). При подсчете и определении размерных групп удобнее брать пин-

цетом по одному растению и перекладывать в плоскую посуду, сверяя экземпляры растений по размерам.

Определив размер щитка и наличие (отсутствие) на нем повреждений, сразу сделать отметку в соответствующей графе анкеты. Удобнее всего делать это «конвертиком», где каждая точка и черточка соответствует одному щитку, например: :: = 4.

После просмотра всех особей одного вида, эти пометки переводим в цифры: если получилось: /\*\* □ – это означает 8/5, то есть в данном размерном классе всего 22 нитки, из них 5 – с повреждениями.

При желании обследовать водоем можно более детально. Такая работа включает описание береговой и прибрежной растительности. С характеристикой полного видового состава и ее картирование. При этом нужно собрать гербарий всех видов встреченных растений для уточнения их определения. В описании рясковых проводится подробный анализ каждой пробы с полным подсчетом числа особей и щитков всех видов.

Кроме того, описывается случайная выборка в 30 растений каждого вида по следующим признакам: 1. Длина материнского щитка и его повреждения (0 – нет, 1 – меньше 1/3 поверхности, 2 – больше 1/3, хлороза и некроза – отдельно). 2. Длина корня многокоренника – число корней и длина максимально-го). 3. Число «деток». 4. Длина щитков «деток» (начиная с самых крупных). (Естественно, что общий объем работы сильно возрастает, поэтому ее удобнее разделить на части: описание береговой растительности, описание прибрежно-водной растительности, анализ рясковых). 5. Можно ссылаться на данные, полученные в других частях исследования. Наиболее интересные данные могут быть получены при включении в обследуемый район участков с различной степенью и характером загрязнения, например, при сопоставлении частей водоема с преобладанием загрязнения за счет смыва с сельскохозяйственных угодий и стоков от животноводческих сооружений и таких, на которых представлено промышленное или транспортное загрязнение. Желательно найти и обследовать участки с минимальным загрязнением (контрольные).

Проанализировав полученные результаты, можно сделать предварительную оценку экологической ситуации на изучаемом объекте, что позволит предположить причину загрязнения и составить план более тщательных обследований с привлечением специалистов.

**Исследование видового состава беспозвоночных в водных объектах.** Видовой состав беспозвоночных исследуется в начале июня одновременно с отбором проб воды из водных объектов. Для родников биотический индекс не определяется (в связи с невысокой температурой воды и низким содержанием органических соединений возможно присутствие лишь мелких моллюсков).

Для исследования рек по видовому составу беспозвоночных необходимо осуществлять их поиск в заводях, под камнями, в зарослях камыша. Первоначально определяют количество групп беспозвоночных, а затем их видовой состав с использованием определителя. Далее по таблице (№ 46 «Определение биотического индекса пресноводных экосистем по донным беспозвоночным» из книги «Экология родного края» под ред. Т. Я. Ашихминой) находится значе-

ние биотического индекса (БИ) и дается оценка степени чистоты водного объекта: БИ = 9–10 – водоем чистый, БИ = 7–8 – водоем относительно чистый, БИ = 5–6 – водоем слабо загрязненный, БИ = 3–4 – водоем загрязненный, БИ = 0–2 – водоем сильно загрязненный. В связи со сложностью определения видов беспозвоночных, рекомендуем согласование результатов исследований по видовому составу беспозвоночных со специалистом (ихтиологом, зоологом).

### **1.6. Исследование видового состава птиц**

Одновременно с выходом в июне на водные объекты населенного пункта можно проводить исследование видового состава птиц (по голосам и внешнему виду). Рекомендуется выход на объекты не позднее 8–30 часов утра, когда пение птиц наиболее активно. Необходимо иметь с собой бинокль и определитель птиц, желателен фотоаппарат. Видовое разнообразие птиц говорит о степени экологической чистоты исследуемой территории. Наличие хорошей кормовой базы также может привлечь птиц, и поэтому необходим комплексный подход при подготовке выводов исследования [18].

## **2. ПРОГРАММА ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО ПРАКТИКУМА «ШКОЛЬНЫЙ ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ»**

Программа исследовательского практикума «Школьный экологический мониторинг» разработана для учащихся 9–11-х классов и рассчитана на углубление знаний в области теории и практики изучения экологического состояния своей местности, активное участие в природоохранной деятельности, а также целесообразна для профессиональной ориентации школьников.

### **Раздел 1: «Моя малая родина» (9-й класс, 34 часа)**

#### **Введение**

Исследовательская деятельность школьников в системе экологического образования. Место и роль экологического практикума «Школьный экологический мониторинг» в экологическом образовании учащихся.

**Тема 1. Теоретические аспекты практикума «Школьный экологический мониторинг».** Основные термины и понятия: «экология», «экологические проблемы», «биота», «видовое разнообразие», «биоиндикация», «экологический мониторинг», «школьный экологический мониторинг», «охрана природы». Основные экологические законы, правила, теории в системе «природа-человек». Вклад ученых-естествоиспытателей, специалистов природоохранных служб и ведомств в развитие науки, природоохранной деятельности в области экологии. Ученые-исследователи природы Вятского края. Экологический мониторинг его цели и задачи. Концепция школьного экологического мониторинга. Основные принципы планирования и организации эксперимента. Характеристика методов и приемов биоэкологических исследований по изучению ок-

ружающей природной среды: наблюдение, эксперимент, измерение, картирование и т. д.). Методы биоиндикации, используемые для оценки состояния природных сред по растительным и животным организмам. Методы качественного физико-химического анализа в оценке экологического состояния природного комплекса. Методы картирования и статистической обработки полученных данных. Основные приемы работы с литературой.

**Тема 2. Содержание практических занятий практикума «Школьный экологический мониторинг».** Тематика исследовательских проектов в рамках практикума «Школьный экологический мониторинг» – 9 класс. Экскурсии в лес, на луга, водоемы. Выбор и характеристика объектов исследования на занятиях лабораторного практикума ШЭМ на вариативной основе с учетом интересов учащихся. Приемы отбора, подготовки и хранения проб почвы, воды, природных объектов для анализа. Правила составления и хранения гербария. Методы и приемы биоиндикации в оценке состояния биоты, почв, водных объектов, воздуха. Особенности природы своей местности. Видовое разнообразие растительного и животного мира. Влияние хозяйственной деятельности человека на природу. Физико-географическая характеристика территории. Методы исследования экологического состояния природных сред (воздух, вода, почва).

**Практическая работа № 1** (2 час.). Обсуждение тематики исследовательских проектов в рамках практикума «Школьный экологический мониторинг». Технология выполнения и оформления индивидуальных проектов, работа по составлению экологического паспорта микрорайона школы. Презентация проектно-исследовательской конкурсной работы учащихся 10–11-х классов.

С целью составления физико-географической характеристики территории микрорайона школы, описания видового разнообразия растительного и животного мира, выбора объекта исследования с учетом интересов учащихся проводятся 3 ознакомительных экскурсии в лес, на луга и на водоем. Экскурсии целесообразно проводить в воскресенье с приглашением родителей учащихся.

**Практическая работа № 2** (3 час.). Обзорная экскурсия в лес. Изучение биоценоза леса. Фенологическая съемка. Оценка состояния древостоя леса с использованием простейшей шкалы. Определение объектов исследования и биоиндикаторов лесных экосистем. Обследование древостоя сосны (количество побегов, длина центрального побега, прирост последнего года). Отбор проб лесных почв, шишек сосны, хвои сосны, листьев рябины, березы, мха, лишайников для анализа в лаборатории.

**Практическая работа № 3** (3 час.). Обзорная экскурсия на луга. Фенологическая съемка. Изучение биоценоза луга, состояния растительности. Определение объектов исследования и биоиндикаторов луговых экосистем. Выявление растений-индикаторов: плодородия и водного режима почв, глубины залегания грунтовых вод, кислотности почв. Отбор проб луговых почв, листьев белого клевера, образцов растительности для анализа и составления гербария.

**Практическая работа № 4** (3 час.). Обзорная экскурсия на водоем. Фенологическая съемка. Характеристика водоема, методы изучения его состояния, определение объектов исследования и биоиндикаторов водных экосистем, отбор проб воды, прибрежной растительности для анализа.

**Практическая работа № 5** (2 час.). Подготовка проб почвы, воды, растительных и животных образцов для физико-химического анализа и биологических исследований. Приготовление растворов.

**Практическая работа № 6** (2 час.). Установление физических свойств воды (прозрачность, цветность, запах, взвешенные вещества). Исследование проб воды методами биоиндикации. Определение животных индикаторов чистоты водоема по биотическому индексу, класса качества воды по методу автографии на фотобумаге. Заполнение соответствующей таблицы экопаспорта микрорайона школы.

**Практическая работа № 7** (2 час.). Изучение чистоты воздуха методом лишеноиндикации – по сосне обыкновенной. Определение накипных, листоватых, кустистых лишайников, установление их встречаемости, степени покрытия. Определение относительной чистоты атмосферного воздуха. Заполнение соответствующей таблицы экопаспорта микрорайона школы.

**Практическая работа № 8** (2 час.). Биодиагностика чистоты воздуха по состоянию сосны обыкновенной. Исследование повреждения и усыхания хвои сосны, длины и диаметра шишек. Определение индекса продолжительности жизни хвои. Заполнение соответствующей таблицы экопаспорта микрорайона школы.

**Практическая работа № 9** (2 час.). Биоиндикация состояния природной среды по частотам встречаемости фенов клевера ползучего (белого). Оценка загрязненности почвы по фенотипам белого клевера. Установление процента растений с рисунком: острый угол, тупой угол и другие рисунки. Определение частоты встречаемости отдельных фенов и суммарной частоты встречаемости всех форм с рисунком индекса соотношения фенов (ИСФ). Заполнение соответствующей таблицы экопаспорта микрорайона школы.

**Практическая работа № 10** (2 час.). Изготовление гербария из растений луга, леса и коллекций видового разнообразия животного мира.

**Практическая работа № 11** (2 час.) Описание экосистем леса, луга, водоема. Заполнение соответствующих таблиц экопаспорта микрорайона школы. Составление карты-схемы исследуемой территории. Подготовка докладов.

**Практическая работа № 12** (1 час.). Контрольно-обобщающее повторение по итогам проведения экологического практикума

**Творческая работа. Заключительное занятие № 13.** Тема «Изучаем свою малую Родину». Проводится в форме открытого урока, с приглашением учащихся других классов, членов экологического Совета школы, родителей. Готовится выставка работ, гербариев, коллекций. Доклады представляются от групп учащихся, занимающихся исследованием природных сред и объектов не только в урочное, но и во внеурочное время.

**Требования к уровню экологической подготовки учащихся 9-го кл.**

**Учащиеся должны знать:** 1. Понятия: «экология», «экологические проблемы», «биота», «видовое разнообразие», «биоиндикация», «экологический мониторинг», «школьный экологический мониторинг», «охрана природы». 2. Особенности окружающей природной своей местности. 3. Экологическое состояние природных сред своей местности, причины их изменения. 4. Иметь

представление о природоохранных организациях, их деятельности и специалистах. Знать ученых, занимающихся исследованиями и изучением природы своего края.

**Учащиеся должны уметь:** 1. Описывать особенности природы своей местности. 2. Исследовать экологическое состояние природных сред. 3. Использовать методы биоиндикации в оценке экологического состояния природных сред и объектов. 4. Провести отбор, хранение и приготовление проб к анализу. 5. Изготовить гербарий и коллекцию. 6. Уметь пользоваться методической и справочной литературой. 7. Участвовать в обустройстве и озеленении своего населенного пункта, в мероприятиях по охране природы.

**Темы учебных исследований, рефератов.** 1. История моего села, поселка. 2. История села, поселка через судьбы людей. 3. История моей школы. 4. Охраняемые растения и животные моей малой Родины. 5. Оценка экологического состояния окружающей природной среды микрорайона школы. 6. Методы биоиндикации в оценке экологического состояния атмосферного воздуха. 7. Методы биоиндикации в оценке экологического состояния почв. 8. Методы биоиндикации в оценке экологического состояния водных объектов. 9. Биодиагностика чистоты воздуха по состоянию сосны обыкновенной. 10. Изготовление гербария охраняемых растений моей местности. 11. Изготовление коллекций насекомых моей местности. 12. Составление списка видового разнообразия растительности и животного мира моей местности. 13. Составление картосхемы села, поселка, микрорайона школы. 14. Написание рефератов «Чистая вода», «Мой дом – земля», «Чистый воздух». «Взрослые, услышьте нас», «Как прекрасен этот мир» и т. д. 15. Выполнение проектов: «Чистый двор», «Зимний сад», «Грачи прилетели», «Чисто – это хорошо», «Какую воду пьем», «Не губите лес» и т. д. 16. Профессии людей, занятых в сельском хозяйстве, промышленности, деятельности природоохранных служб и ведомств.

## **Раздел 2: Здоровье и окружающая среда (10-й класс, 34 часа)**

### **Введение**

Здоровье и окружающая среда. Влияние экологических факторов на здоровье населения. Исследовательская деятельность школьников по областной программе «Школьный экологический мониторинг» (раздел «Оценка физического развития школьников»).

**Тема 1. Теоретические аспекты практикума «Школьный экологический мониторинг» (Раздел 2: Здоровье и окружающая среда).** Основные термины и понятия: «охрана здоровья», «демографические показатели», «продолжительность жизни», «физическое развитие», «наследственность», «морфологические характеристики», «изменчивость», «антропометрические измерения». Основные экологические законы, правила, теории в системе «природа-человек». Проблемы здоровья. Наследственность и среда. Среда жизнедеятельности человека. Антропогенные, техногенные и биогенные воздействия на среду жизнедеятельности. Факторы здорового образа жизни. Взаимодействие факторов здоровья. Вклад ученых, врачей, специалистов системы здравоохранения в развитие науки и практики по сохранению здоровья человека. Ученые, врачи

Вятского края, внесшие большой вклад в развитие медицинской науки и сохранение здоровья населения Кировской области. Мониторинг здоровья, его цели и задачи. Концепция школьного мониторинга физического развития учащихся. Основные принципы планирования и организации эксперимента. Характеристика методов и приемов антропометрических измерений по изучению физического развития школьников. Методы наблюдения, измерения, описания социальных условий проживания, анкетирования. Правила физиометрических исследований. Определение соматотипа и гармоничности физического развития детей по центильным величинам. Методы статистической обработки полученных результатов. Основы научно-библиографической работы.

**Тема 2. Содержание практических занятий практикума «Школьный экологический мониторинг».** Тематика исследовательских проектов в рамках практикума «Школьный экологический мониторинг» (раздел 2: «Здоровье и окружающая среда») – 10-й класс. Выбор и характеристика объектов и методов исследования на занятиях лабораторного практикума ШЭМ на вариативной основе с учетом интересов учащихся. Приемы и методы изучения физического развития школьника (антропометрические и физиометрические исследования, определение весо-ростового показателя). Выявление социальных условий проживания. Методы оценки состояния воздуха школьных кабинетов, радиационного и шумового фона, качества питьевой воды. Экологическая оценка классной комнаты и рабочего места. Изучение экологического состояния территории микрорайона школы. Оценка атмосферного воздуха по автотранспортной нагрузке, запыленности листьев. Определение содержания свинца в листьях растений. Изучение состояния растительности, почв в местах размещения свалок и отходов. Картографирование местности с указанием источников техногенного загрязнения. Участие в мероприятиях Всероссийской акции «Дни защиты от экологической опасности». Проведение «Дня здоровья», «Праздника чистой воды», «Дня защиты зеленого друга», «Дня земли» и т. д.

**Практическая работа № 1** (2 час.). Обсуждение тематики исследовательских проектов практикума «Школьный экологический мониторинг» (раздел 2: «Здоровье и окружающая среда»). Технология выполнения и оформления индивидуальных проектов. Презентация проектно-исследовательской работы учащегося 11-го класса, занимающегося изучением здоровья школьника. С целью составления социально-экологической характеристики территории микрорайона школы целесообразно провести экскурсию с описанием источников техногенного воздействия на атмосферный воздух, почву, поверхностные и подземные воды на территории микрорайона школы и нанести их на карту-схему. Экскурсию целесообразно проводить в воскресенье с приглашением родителей учащихся.

**Практическая работа № 2** (4 час.). Обзорная экскурсия по местам размещения источников загрязнения природного комплекса на территории микрорайона школы. Изучение источников загрязнения атмосферного воздуха, почв, водных объектов и мест расположения питьевых скважин, колодцев, а также свалок, промышленных, сельскохозяйственных и бытовых отходов. Отбор проб почвы, воды, листьев, коллекции сорных трав. Составление карты-схемы источников техногенного воздействия на территории микрорайона школы.



**Практическая работа № 3** (4 час.). Обзорная экскурсия на водоем, в котором население поселка купается, использует воду для бытовых нужд. Характеристика водоема, методы изучения его состояния, определение объектов исследования и биоиндикаторов водных экосистем, отбор проб воды, прибрежной растительности для анализа. Проведение природоохранной акции по очистке от мусора берега водоема, размещение аншлагов о соблюдении порядка и чистоты на водоеме.

**Практическая работа № 4** (2 час.). Определение физических свойств воды (прозрачность, цветность, запах, взвешенные вещества, температура), органолептических характеристик и химических показателей (рН, сухой остаток, жесткость, окисляемость, содержание карбонатов, гидрокарбонатов, аммиака, ионов аммония, нитритов, нитратов, хлоридов, сульфатов, количества растворенного кислорода). Изучение проб воды методами биоиндикации. Определение сапробности водоема, биотического индекса, класса качества воды по методу автографии на фотобумаге. Заполнение соответствующей таблицы экопаспорта микрорайона школы.

**Практическая работа № 5** (2 час.). Методы оценки состава атмосферного воздуха. Оценка атмосферного воздуха по автотранспортной нагрузке. Определение содержания в воздухе углекислого газа. Оценка запыленности воздуха по листьям, определение кислотности атмосферных осадков, содержания свинца в листьях растений. Заполнение соответствующих таблиц экологического паспорта микрорайона школы.

**Практическая работа № 6** (2 час.). Оценка состояния воздуха в школьных кабинетах по содержанию в них диоксида углерода, диоксида серы, соединений хлора. Определение гигиенической оценки вентиляции, свежести и чистоты воздуха. Изучение естественной освещенности класса, радиационного и шумового фона школьных комнат. Заполнение соответствующих таблиц экологического паспорта микрорайона школы.

**Практическая работа № 7** (2 час.). Оценка рабочего места в классе. Изучение размеров рабочего стола и стула. Исследование освещенности рабочего места в классе. Определение уровня шума на рабочем месте. Гигиеническая оценка учебника. Оценка теплового самочувствия на рабочем месте.

**Практическая работа № 8** (2 час.). Методы оценки состояния почв на территории микрорайона школы. Определение общих физических свойств почв. Оценка экологического состояния почв по кислотной солевой вытяжке и по солевому составу водной вытяжки. Микробиологическая активность почв: дыхание почвы, разложение целлюлозы. Заполнение соответствующих таблиц экологического паспорта микрорайона школы.

**Практическая работа № 9** (2 час.). Проведение исследований по изучению физического развития школьников разных возрастов (антропометрические и физиометрические исследования, определение весо-ростового показателя). Выявление социальных условий проживания. Заполнение соответствующих таблиц экологического паспорта микрорайона школы.

**Практическая работа № 10** (2 час.). Картографирование местности, с нанесением на карту-схему объектов социально-хозяйственного назначения, источников техногенного загрязнения.

**Практическая работа № 11** (4 час.). Встреча с долгожителем села (поселка), любителями здорового образа жизни, спортсменами. Проведение общешкольного «Дня здоровья».

**Творческая работа. Заключительное занятие № 12** (2 час.). Научно-практическая конференция «Здоровье и окружающая среда» с приглашением местных врачей, специалистов Центра санэпиднадзора, родителей.

Участие в районных и поселковых мероприятиях, посвященных Всероссийской акции «Дни защиты от экологической опасности» в празднике «Чистая вода», в проведении праздников: «День защиты зеленого друга», «День земли», «День защиты детей» и т. д.

#### **Требования к уровню экологической подготовки учащихся 10-го кл.**

**Учащиеся должны знать:** 1. Понятия: «охрана здоровья», «демографические показатели», «продолжительность жизни», «физическое развитие», «наследственность», «морфологические характеристики», «изменчивость», «антропометрические измерения», «мониторинг здоровья», «рациональное природопользование». 2. Основные экологические законы, правила, теории в системе «природа-человек». 3. Проблемы и пути решения окружающей среды и здоровья населения. 4. Методы изучения физического развития школьников. 5. Требования к оценке рабочего места школьника, школьных комнат. 6. Методы исследования природных сред и объектов. 7. Правила личного поведения в природе.

**Учащиеся должны иметь представление:** 1. Об органах здравоохранения села, поселка, их деятельности, врачах-специалистах, ученых своего края, работающих в области медицины. 2. О демографической ситуации в селе, поселке. 3. О состоянии окружающей природной среды своей местности.

**Учащиеся должны уметь:** 1. Описывать особенности природного комплекса своего района. 2. Описывать использование природных ресурсов на фоне исторического развития района. 3. Участвовать в исследовательской работе по программе ШЭМ. 4. Наблюдать за состоянием природных сред, исследовать источники загрязнения. 5. Оценивать экологическое состояние природных ресурсов своего района. 6. Сделать санитарно-гигиеническую оценку рабочего места, школьной комнаты. 7. Составить анкету и провести социологический опрос местного населения об отношении к окружающей среде, своему здоровью. 8. Вести статистическую обработку полученных материалов. 9. Выполнять картографирование в виде карт-схем своей местности. 10. Участвовать в экологическом просвещении и охране природы.

**Темы учебных исследований и рефератов.** 1. История происхождения села (поселка, города). 2. Биографии долгожителей населенного пункта. 3. История наследственных династий села (поселка, города). 4. План села в прошлом и настоящем. 5. Памятники природы моей малой Родины. 6. Характеристика и описание рек, озер, прудов на территории (вблизи) села, поселка, города. Использование рек в хозяйственной жизни в прошлом и настоящем. Экологическое состояние водоемов. 7. Описание предприятий, действующих на исследуемой территории. 8. Экологические проблемы района и пути их решения. 9. Особо охраняемые природные территории, памятники и объекты района. 10. Оценка состояния здоровья населения. Пути решения, проблемы. 11. Сани-

тарно-гигиеническая оценка рабочего места. 12. Санитарно-гигиеническая оценка классной комнаты. 13. Оценка физического развития учащихся ..... класса. 14. Характеристика социальных условий проживания. 15. Демографические показатели и оценка состояния здоровья населения. 16. Система оздоровительных мероприятий. 17. Комплексное исследование окружающей природной среды своего района. 18. Написание рефератов: «Природа наш дом, где мы живем», «Наш дом – Земля», «Лекарственные растения», «Поликлиника доктора Нехворайкина», «Земля – наша чистая планета и т. д. 19. Выполнение проектов: «Природа и мы», «В мире флоры и фауны», «Чистая самая зеленая улица», «Автотранспортная нагрузка моего села», «Экологическая тропа», «Времена года», «Лес – легкие нашей планеты» и т. д. 20. Профессии людей, занятых в медицине, в деятельности природоохранных служб и ведомств.

### **Раздел 3: Региональная экология (11-й класс, 34 часа)**

#### **Введение**

Физико-географическая характеристика территории. Экономическое положение региона. Характеристика природы своего района. Ученые – исследователи природы Вятского края. (1 час.)

**Тема 1. Теоретические аспекты практикума «Школьный экологический мониторинг».** Основные термины и понятия – «региональная экология», «экологические проблемы локального, регионального, глобального масштаба», «экологическая безопасность», «экологическая ситуация», «экологический риск», «экологический мониторинг», «ресурсы», «недра», «рациональное природопользование», «охрана природы». Особенности природы своей местности. Биологические ресурсы, их особенности, изменения под влиянием хозяйственной деятельности человека. Видовое разнообразие растительного и животного мира. Лесные ресурсы: состояние, видовой состав, использование, восстановление, охрана. Влияние хозяйственной деятельности человека на природу. Основы рационального природопользования. Заповедные уголки Вятского края. Категории охраняемых территорий и акваторий района (заповедники, заказники, национальные и природные парки, памятники природы, дендропарки, лесопарки, экологические тропы). Закон «Об особо охраняемых природных территориях Кировской области». Участие заповедников в международных и федеральных программах. Земельные ресурсы: структура земельного фонда, сельскохозяйственные угодья и их использование. Зональные типы почв, их характеристики, экологическое состояние. Деградация почв, эрозия, засоление, закисление, загрязнение, дегумификация почв, подтопление, зарастание пашень, влияние хозяйственной деятельности человека. Проблемы почвенного плодородия в регионе. Устойчивость фитоценозов, зооценозов, почв, водных объектов, фации, ландшафта к антропогенному воздействию. Показатели устойчивости. Агрофитоценоз, видовая структура, разнообразие. Продуктивность и урожайность агрофитоценоза. Причины снижения урожайности сельскохозяйственных культур. Основные направления селекции агрокультур. Перспективные районированные сорта сельскохозяйственных растений и современные технологии их возделывания. Антропогенное воздействие на окружающую среду.

Природные источники загрязнения. Антропогенные загрязнения окружающей среды. Классификация загрязнителей по физико-химической природе и областям их воздействия, по степени их вредности. Экологическая ситуация в регионах России. Экологические проблемы Кировской области. Экологическое состояние атмосферы, водных объектов, почв. Особо охраняемые природные территории в регионе. Специфические экологические проблемы. Пути их решения. Основные источники загрязнения в регионе. Источники загрязнения окружающей среды в регионе: электроэнергетика, промышленность, металлургия и металлообработка, химические производства, транспорт, лесная и деревообрабатывающая промышленность, сельское и коммунальное хозяйство. Экология атмосферы. Основные загрязнители воздуха: состав и источники. Кислотные дожди. Озоновый слой. Парниковый эффект. Проблемы деградации лесов. Системы очистки промышленных выбросов. Вода в природе и ее круговорот. Водные ресурсы, водообеспеченность села, поселка, города. Питьевая вода. Проблемы питьевой воды. Экологические проблемы водопользования. Загрязнение водных объектов. Виды загрязнителей. Очистка питьевой воды и сточных вод. Индивидуальные средства доочистки воды. Меры по охране водных источников. Проблемы хранения отходов. Полигоны, санкционированные и несанкционированные свалки. Классификация отходов. Способы утилизации загрязняющих веществ и переработки отходов. Проблемы хранения и уничтожения химического оружия в России и в Кировской области. Оценка воздействия объекта хранения и объекта уничтожения на окружающую природную среду. Экологический мониторинг локального, регионального и глобального уровня. Экологический мониторинг источников природных сред и объектов, техногенного воздействия. Методы количественного физико-химического анализа в оценке экологического состояния природного комплекса. Характеристика методов и приемов биоэкологических исследований по изучению окружающей природной среды. Экологическое законодательство РФ. Основные нормативно-правовые и законодательные документы в области охраны окружающей среды. Региональные законодательные и нормативно-правовые акты в области охраны окружающей среды. Действие правового экологического законодательства на территории района. Природоохранные организации.

**Тема 2. Содержание практических занятий практикума «Школьный экологический мониторинг».** Тематика исследовательских проектов практикума «Школьный экологический мониторинг» (раздел 3. «Региональная экология») – 11-й класс. Выбор и характеристика объектов и методов исследования на занятиях лабораторного практикума ШЭМ на вариативной основе с учетом интересов учащихся 11-го класса. Технология проектной и исследовательской деятельности. Экскурсии на промышленные предприятия, водоочистные станции, химико-аналитические лаборатории. Встречи со специалистами природоохранных служб и ведомств, представителями промышленных и сельскохозяйственных предприятий. Приемы и методы комплексного изучения природных сред и объектов на территории микрорайона школы. Наблюдение, оценка, картографирование, прогноз. Изучение состояния растительности, почв в местах размещения свалок и отходов. Биоиндикация и биотестирование. Методы физико-химиче-

ского анализа. Математическая и компьютерная обработка результатов исследований. Опыт составления картосхем устойчивости ландшафтов к антропогенному воздействию. Картографирование местности, с указанием источников техногенного загрязнения. Основные приемы работы с научной литературой. Проведение по материалам исследований тематических конференций. Участие в мероприятиях Всероссийской акции «Дни защиты от экологической опасности», проведение операции «Наш дом – Земля», праздников – «День земли», «День воды», «День птиц», конкурсов, конференций, олимпиад. Проведение акций «Чистая земля», «Чистый двор», «Чистый родник», экологических субботников. Организация экологических троп. Участие в озеленении своего села, поселка, города.

**Семинарское занятие № 1** (1 час). Обсуждение тематики исследовательских проектов по региональной экологии. Выбор и характеристика объектов и методов исследования на занятиях лабораторного практикума ШЭМ на вариативной основе с учетом интересов учащихся 11-го класса. Технология проектной и исследовательской деятельности.

**Практическая работа № 2** (2 час.). С целью ознакомления с предприятиями своей местности, организаторами и специалистами производства, видами выпускаемой продукции, источниками загрязнения, принимаемыми мерами по обеспечению экологической безопасности окружающей природной среды проводятся ознакомительные экскурсии на промышленные предприятия, в химико-аналитические лаборатории.

**Практическая работа № 3** (2 час.). Обзорная экскурсия на водоочистные станции, сооружения. Изучение производства очистки питьевых вод. Очистка сточных вод. Отбор проб воды для анализа.

**Практическая работа № 4** (2 час.). Экскурсия в природу с целью географического описания и характеристики ландшафта. Картирование местности, с указанием памятников природы, охранных зон, нанесением на карту-схему источников техногенного загрязнения. Математическая и компьютерная обработка полученных результатов. Опыт составления компьютерных картосхем устойчивости ландшафтов к антропогенному воздействию.

**Практическая работа № 5** (2 час.). Экскурсия по местам размещения полигонов и свалок с целью изучения состояния растительности, почв, грунтовых вод в местах их размещения. Нанесение на карту-схему. Выполнение почвенного разреза, характеристика почвенных горизонтов. Определение признаков избытка микро- и макроэлементов в почве методом биоиндикации. Заполнение соответствующей таблицы экопаспорта микрорайона школы. Отбор проб почвы, воды, растительности для анализа в лаборатории. Выявление растительных индикаторов техногенного загрязнения, отбор образцов сорных трав для составления гербария.

**Практическая работа № 6** (2 час.). Подготовка проб почвы, воды, растительности для физико-химического анализа и биологических исследований. Приготовление растворов различной концентрации. Изучение листьев липы в качестве биоиндикатора солевого загрязнения почв.

**Практическая работа № 7** (1 час). Определение микробиологической активности почв по выделению углекислого газа, разложению целлюлозы. Оп-

ределение плодородия почв по численности и биомассе дождевых червей. Приемы биотестирования проб почвы по водорослям.

**Практическая работа № 8** (2 час.). Физико-химический анализ проб почвы. Определение кислотности, влагосодержания, общего солесодержания, механического состава почв. Заполнение соответствующей таблицы экопаспорта микрорайона школы.

**Практическая работа № 9** (2 час.). Физико-химический анализ проб воды. Определение pH, жесткости, растворенного кислорода, окисляемости, нитратов, нитритов, аммиака, хлоридов, сульфатов, свинца. Обнаружение нефтепродуктов, фенолов. Качественное определение тяжелых металлов. Заполнение соответствующей таблицы экопаспорта микрорайона школы.

**Практическая работа № 10** (2 час.). Биоиндикация качества воды с использованием водорослей и по животному населению. Оценка качества воды малых рек и озер по биотическому индексу. Определение степени загрязнения водоема по индексу Гуднайта и Уотлея. Биотестирование токсичности природных вод с помощью дафний. Заполнение соответствующей таблицы экопаспорта микрорайона школы.

**Практическая работа № 11** (1 час). Изготовление гербария, коллекций видового разнообразия животного и растительного мира.

**Практическая работа № 12** (1 час). Математическая и компьютерная обработка результатов исследований. Оценка среднего значения и его погрешности. Оценка достоверности различия средних значений. Анализ и оформление полученных результатов. Построение диаграмм, графиков. Составление констатационных и аналитических карт местности.

**Практическая работа № 13** (1 час). Описание экосистем разного уровня и техногенных источников загрязнения данных территорий. Заполнение соответствующих таблиц экопаспорта микрорайона школы. Составление карты-схемы исследуемой территории. Подготовка докладов.

**Практическая работа № 14** (1 час). Контрольно-обобщающее повторение: Разработка и защита проекта по обустройству и озеленению территории своего села, поселка, города.

**Творческая работа. Заключительное занятие № 15** (2 час.). Тема «Экологические проблемы региона, пути их решения». Проводится в форме круглого стола, дискуссии, с приглашением учащихся школы, членов экологического Совета школы, родителей, специалистов природоохранных служб. Готовится выставка работ, гербариев, коллекций, карт. Рекомендуются по материалам исследований подготовить несколько сообщений учащихся.

### **Требования к уровню экологической подготовки 11-й кл.**

**Учащиеся должны знать:** 1. Термины и понятия: региональная экология, экологические проблемы локального, регионального, глобального масштаба, экологическая безопасность, экологическая ситуация, экологический риск, экологический мониторинг, ресурсы, недра, рациональное природопользование, охрана природы. 2. Биологические ресурсы своего региона. Видовое разнообразие растительного и животного мира. 3. Лесные ресурсы, проблемы рационального их использования. Экологическое состояние природных ресурсов своего района. 4. Заповедные уголки Вятского края. Памятники природы ре-

гиона. 5. Состояние и проблемы почвенного плодородия в регионе. 6. Природные и техногенные источники загрязнения окружающей среды своей местности. 7. Основные экологические проблемы Кировской области. 8. Основные нормативно правовые и законодательные документы в области охраны окружающей среды. Региональные законодательные и нормативно-правовые акты в области охраны окружающей среды. 9. Природоохранные организации, занимающиеся вопросами организации экологического просвещения, образования, контроля и мониторинга окружающей природной среды. 10. Правила личного поведения в природе.

**Учащиеся должны уметь:** 1. Описывать особенности природы своего района. 2. Провести комплексное изучение природных сред и объектов на территории микрорайона школы. 3. Провести анализ, выполнить оценку, сделать прогноз на основе полученных материалов. 4. Владеть приемами биоиндикации и биотестирования в оценке состояния окружающей среды. 5. Применять методы физико-химического анализа в оценке состояния окружающей природной среды. 6. Провести математическую и компьютерную обработку результатов исследований. 7. Составлять картосхемы с нанесением природных объектов, и источников техногенного загрязнения. 8. Работать с методической литературой и статистическими данными. 9. Подготовить сообщение по материалам исследования и выступить перед учащимися, родителями, населением. 10. Участвовать в экологическом просвещении и природоохранных мероприятиях.

**Темы учебных исследований и рефератов.** 1. Экологические проблемы района и пути их решения. 2. Особо охраняемые природные территории района. 3. Химические предприятия Кировской области, экологические аспекты. 4. Промышленные предприятия источники поступления соединений серы, азота, фосфора тяжелых металлов в окружающую среду. 5. Экологические аспекты сельскохозяйственного производства. 6. Очистка питьевых и сточных вод. Проблемы, пути решения. 7. Картографирование территории. Изготовление констатационных и аналитических картосхем местности. 8. Разработка проекта размещения полигона промышленных и бытовых отходов. 9. Составление карты-схемы несанкционированных свалок на исследуемой территории. Характеристика природного комплекса вокруг свалок. 10. Выявление растительных индикаторов техногенного загрязнения. 11. Изучение листьев липы в качестве биоиндикатора солевого загрязнения почв. 12. Определение микробиологической активности почв по выделению углекислого газа, разложению целлюлозы. 13. Определение плодородия почв по численности и биомассе дождевых червей. 14. Приемы биотестирования проб почвы по водорослям. 15. Физико-химический анализ проб почвы. Определение кислотности, влагосодержания, общего солесодержания, механического состава почв. 16. Физико-химический анализ проб воды. Определение pH, жесткости, окисляемости, количества растворенного кислорода. 17. Определение содержания в воде нитратов. 18. Определение содержания в воде нитритов. 19. Определение содержания в воде аммиака. 20. Определение содержания в воде хлоридов. 21. Определение содержания в воде сульфатов. 22. Определение содержания в воде свинца. 23. Обнаружение в воде нефтепродуктов, фенолов. 24. Качественное определение в воде тяжелых металлов. 25. Биоиндикация качества воды с использованием водо-

рослей и по животному населению. Оценка качества воды малых рек и озер по биотическому индексу. 26. Определение степени загрязнения водоема по индексу Гуднайта и Уотлея. 27. Биотестирование токсичности природных вод с помощью дафний. 28. Изготовление гербария сорных трав с полигонов и свалок. 29. Описание экосистем разного уровня и техногенных источников загрязнения на данных территориях. 30. Разработка и защита проекта по обустройству и озеленению территории своего села, поселка, города. 31. Разработка операции «Наш дом – Земля». 32. Разработка сценария праздников – «День земли», «День воды», «День птиц», «День земли» и их проведение. 33. Разработка и проведение акций «Чистая земля», «Чистый двор», «Чистый родник». 34. Разработка экологической тропы. 35. Разработка проектов «Зеленая улица», «Зеленый двор», «Зеленые скверы нашего поселка». 36. Разработка и организация конкурсов «Моя зеленая школа», «Экологически чистый зеленый класс».

Реализация программы ШЭМ способствует воспитанию и росту молодых исследователей природы, многие из них поступают и учатся в вузах естественнонаучного профиля, выполняют дипломные работы, защищают дипломные проекты, кандидатские диссертации.

Основными формами школьного экомониторинга в учебной деятельности являются: элементы урока в виде практических или лабораторных работ по экологии, химии и биологии, факультативные занятия, практикумы; а во внеклассной работе – кружки, научно-исследовательские группы, практикумы, летние экологические лагеря, экскурсии, экспедиции, конкурсы, олимпиады. Удачной формой для выполнения работ по программе ШЭМ являются летние экологические лагеря, и в особенности для учащихся старших классов исследовательские практикумы.

### **3. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ К ВЫБОРУ ТЕМЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И СОСТАВЛЕНИЮ БИБЛИОГРАФИИ**

**Как выбрать тему и название исследования.** Для того чтобы исследовательская работа достигла данных целей необходимо, прежде всего, правильно определить тему исследования и ее название.

Для выбора темы исследования целесообразно выделить основные критерии: тема не должна вызывать очень больших сложностей у ее автора; выбирать такую тему, по которой уже имеются определенные наработки; необходимо или желательно наличие у самого исследователя определенного опыта работы именно в этой области познаний и способностей; тема должна представлять интерес для учащегося не только на текущий момент, но и вписываться в его общую перспективу профессионального развития, т. е. иметь непосредственное отношение к предварительно выбранной им будущей специальности, соответствовать способностям и знаниям исследователя; выбор темы должен быть обоюдно мотивирован интересом к ней и ученика, и педагога одновременно; предпочтительно брать тему сравнительно узкого плана, которую предстоит разработать глубоко и всесторонне; тема должна быть очень конкретной, сосредоточенной на особен-



ностях какого-либо процесса или явления, их влияния одного на другое, сравнения и т. п.; нельзя брать слишком масштабные или сложные темы. Такие темы могут оказаться непосильными для их раскрытия в рамках исследования; нельзя брать тему, уже изученную другими исследователями и являющуюся неизвестной только лишь для некоторых начинающих исследователей; обязательно учитывать возможности материальной базы, специальной техники и наличие методики исследования, то есть тема также должна быть реализуема в имеющихся условиях; изучаемая проблема должна быть уже частично освещена в научных работах, краеведческой и специальной литературе; тема должна быть актуальной и соответствовать требованиям науки и практики. Искусственные, оторванные от жизни темы исследовательских работ не оправдывают себя с научной точки зрения и могут вызвать лишь ироническое отношение к ним со стороны учителей-практиков, членов жюри; необходимо избегать тем с неоднозначными проблемами, которые имеют своих сторонников и противников. Неизвестно, кем может оказаться оппонент, как и некоторые члены жюри, вполне возможно – противником; не стоит выбирать такую тему, проблемы которой активно обсуждаются в прессе и требуют незамедлительного решения.

Тема формулируется по возможности лаконично, но при этом не должна быть слишком короткой, а используемые при ее формулировке понятия должны быть логически взаимосвязаны.

**Как изучать литературу по теме исследования.** После предварительного выбора темы исследователю необходимо провести библиографический поиск по выбранной теме исследования. Это необходимо сделать для того, чтобы получить точное представление о том, что было сделано до Вас по изучаемому вопросу. Работа по выявлению библиографических источников, их изучение и составление предварительного библиографического списка является вторым этапом в исследовательской работе.

Работу с источниками нужно проводить в следующем порядке: предварительный выбор по каталогам, реферативным обзорам, тематическим спискам литературы, сборникам материалов различных научных конференций; поиск самих источников в соответствии со сформированным списком по сборникам научных трудов, периодические издания (журналы и газеты); анализ первоисточников, их отбор, ксерокопирование, конспектирование; составление окончательного библиографического списка.

Поиск необходимо начинать с просмотра тематических каталогов областной, городских, районных библиотек. Наиболее распространены библиографические издания, которые содержат упорядоченную совокупность библиографических описаний, извещающих специалистов об изданной литературе. Если Вы живете в сельской местности или районном центре, процесс сбора первичной информации может усложниться. В таком случае, попробуйте с помощью интернета привлечь каталог областной научной библиотеки им. А. И. Герцена.

В Кировской области значительная часть районных библиотек, по примеру краеведческого отдела научной библиотеки им. А. И. Герцена, составляют библиографические списки публикаций о районе по областной и районной периодической печати и даже издают специальные краеведческие библиографические издания-указатели. Они обычно содержат упорядоченные библиографи-

ческие записи; в них указывается, что издано по тому или иному вопросу истории, культуры, здравоохранения, образования, экономики, природы района.

Если таких краеведческих справочников нет, то необходимо проводить просмотр журналов и газет. Начинать просмотр журналов лучше всего с последнего номера за каждый календарный год. Как правило, в последнем номере публикуется содержание опубликованных статей за весь предшествующий год. Некоторые газеты также публикуют подобные списки статей.

Следует выявлять как научную общую литературу, так различные энциклопедические словари, справочники по направлению исследовательской работы. Нельзя забывать о существовании методической литературы, которая поможет грамотно проводить эксперименты, опыты, составить опросный лист и так далее. При работе с материалом большую помощь в написании исследовательской работы могут оказать различного рода определители.

В ходе изучения литературных источников необходимо делать выписки, ксерокопии. Обязательно подписывать, откуда были сделаны выписки и ксерокопии, иначе впоследствии будет неизвестно, кому принадлежит текст.

Работая над чужими текстами, нельзя заимствовать напрямую чужой материал. Следует обдумывать уже имеющуюся научную информацию, вырабатывать собственные идеи, подходы и концепции, фиксировать собственные мысли. Переписывание чужого текста массивами или без ссылок на первоисточник превращает работу в плагиат.

При анализе материала можно выяснить, что намеченная для исследования проблема уже изучена, описана и широко применяется на практике. Таким образом, основательное изучение литературы позволит избежать напрасной работы над уже разрешенной проблемой.

**Как составить план (структуру) исследовательской работы.** План может быть простым или сложным. Простой план содержит перечень основных вопросов. В сложном плане каждая глава разбивается на параграфы, а параграфы могут содержать отдельные пункты. Иногда составляют комбинированный план, где одни главы разбиваются на параграфы, а другие оставляют без дополнительной рубрикации. Понятно, что главная часть не может состоять из одного параграфа и всего одного пункта.

При составлении плана следует стремиться, чтобы: а) его параграфы и пункты соответствовали выбранной теме и не выходили за ее пределы; б) главы, параграфы, пункты располагались в логической последовательности; в) в план обязательно были включены вопросы, отражающие основные аспекты исследования; г) выбранная тема была исследована всесторонне.

**Как написать введение в исследовательскую работу.** Подготовка введения требует особой тщательности потому, что в нем в концентрированной форме представлены основные идеи любого научного исследования. Весь ход научного исследования можно представить в виде следующей логической схемы: 1. Обоснование выбора темы исследования с указанием ее актуальности и определением проблемы. 2. Описание степени изученности темы по литературным источникам (обзор литературы). 3. Определение объекта и предмета исследования. 4. Постановка цели и конкретных задач исследования. 5. Выбор

методов (методики) проведения исследования. 6. Можно указать гипотезу, новизну исследования, значимость полученных результатов.

Тема исследования, как правило, обязательно выбирается с учетом ее **актуальности** – с учетом степени важности в данный момент. Обосновать актуальность – значит объяснить необходимость изучения данной темы в контексте общего процесса научного познания. Актуальность тесно связана с ее злободневностью. Кроме этого, актуальность исследования содержит положения и доводы, свидетельствующие в пользу значимости выполненной работы.

Актуальность применительно к исследовательским работам школьников заключается в том, что ранее подобные работы школьниками не выполнялись.

После того, как было доказано, что данная тема исследования, несмотря на ее актуальность, слабо изучена, логично перейти к определению объекта и предмета исследования.

**Объект исследования** представляет область научных изысканий, в пределах которой выявлена и существует исследуемая проблема. То есть, на что направлена исследовательская деятельность.

**Предмет исследования** – это указание на особую проблему, которую он собирается поставить и решить. Он более узок и конкретен. Это конкретная часть объекта, внутри которой ведется поиск. Именно предмет исследования определяет тему работы.

**Цель исследования** – это конечный результат, которого хотел бы достичь исследователь при завершении своей работы. Цель исследования определяет тактику действий юного исследователя, то есть последовательность конкретных шагов (исследовательских задач), посредством которых проблема может быть решена.

В качестве цели не следует указывать «сделать то, то». Правильно будет использовать глаголы: раскрыть, определить, установить, показать, выявить, изучить, уточнить, разработать, обосновать, обобщить и др. К примеру, «выявить закономерности процесса...», обобщить собранный материал», установить время возникновения...» и т. д.

Целью исследования может быть определение характеристик явлений, не изученных ранее; выявление взаимосвязи неких явлений; изучение развития явлений; описание нового явления; обобщение, выявление общих закономерностей; создание классификаций.

Далее формулируются задачи исследования, которые будут решаться соответственно определенной цели. **Задачи исследования** – это выбор путей и средств для достижения цели в соответствии с выдвинутой гипотезой. Задачи лучше всего формулировать в виде утверждения того, что необходимо сделать, чтобы цель была достигнута. Формулировать задачи необходимо очень тщательно, так как описание их решения в дальнейшем составит содержание глав. Заголовки глав рождаются именно из формулировок задач. Обычно они даются в форме перечисления: «изучить...», «описать...», «раскрыть...», «выявить...», «определить...», «исследовать...», «выяснить...», «проанализировать...», «ознакомиться в ходе...» и т. д.

Методы исследования также являются элементом введения к любой исследовательской работе. Чаще всего используются следующие методы: анализ,

моделирование, наблюдение, обобщение, обследование, синтез, сравнение, статистическая обработка материалов, экспериментальные исследования и т. д.

Ни одна серьезная исследовательская работа не может быть подготовлена без научного предвидения, которое помогает предусмотреть и свести к минимуму возможные ошибки и неудачи. Конкретной формой научного предвидения является гипотеза. Обычно выделяют следующие типы гипотез: сравнительные, аналитические, дедуктивные, классификационные, причинно-следственные, оценочные, алгоритмические, системные, индуктивные (обобщения), технологические и т. д.:

Вопрос новизны является одним из наиболее сложных моментов исследовательской работы. Исследователь должен уметь определить новизну своего научного результата.

Для работ школьников новизна темы может достигаться следующими способами: введением в научный оборот новых, не использованных ранее источников с их последующим анализом; новой трактовкой известных источников с коррекцией старого научного знания; изучением на основе известных источников малоизученных аспектов старого знания; уточнение, конкретизация известных данных, распространение известных результатов на новый класс объектов, систем; практическое применение (какими органами и организациями, в какой форме используются и могут быть использованы результаты выполненного исследования и рекомендации, высказанные в работе).

Значимость полученных результатов чаще всего заключается в возможностях практического применения результатов исследования.

**Требования к заключительной части исследования.** Заключение – завершающий раздел текста исследовательской работы, содержащий краткое изложение основных итогов и выводов работы. По тому, как написана заключительная часть, судят о Вашем умении обобщать, выделять то существенное, что достигнуто в результате проведенного исследования.

Заключение обычно содержит следующее: 1. Данные о выполнении поставленных задач. 2. Выводы по исследованию. 3. Данные о подтверждении гипотезы (при ее наличии). 4. Рекомендации. 5. Данные о выполнении поставленной цели.

Формально любая исследовательская работа требует выводов. Выводы нужны для того, чтобы кратко охарактеризовать основные результаты, к которым пришел автор в процессе работы. Выводы «вытекают» из содержания основной части исследовательской работы.

В заключительной части работы следует показать, в чем состоит новизна содержания работы, иными словами, то новое и существенное, что составляет научную и практическую ценность данной работы.

Рекомендации, которые даются в исследовательской работе, надо формулировать предметно, то есть указать, что и кому (конкретное лицо или организация) надо делать. В заключительной части исследования можно предложить перспективы для дальнейших поисков по представленной теме.

**Библиографический список** является обязательным элементом исследовательской работы. Именно на библиографический список делаются все сноски по тексту исследования. Он содержит библиографические описания использо-

ванных источников и помещается после заключения. Библиографическое описание документов, отобранных для включения в библиографический список литературы, следует выполнять в соответствии с требованиями ГОСТа 7.1–2006. «Библиографическая запись. Библиографическое описание: Общие требования и правила составления». Обычно применяется алфавитный список. То есть список, расположенный в строгом алфавитном порядке авторов и заглавий публикаций (если фамилия автора не указана, либо авторов четыре и более). При этом работы одного автора располагают по алфавиту названий работ, работы авторов-однофамильцев – по алфавиту инициалов.

Составление библиографического списка начинается одновременно с изучением литературы и заканчивается фактически с чистовым написанием исследовательской работы. Он составляется **по единым правилам**. 1. Объектами составления библиографического описания являются все виды опубликованных и неопубликованных документов на любых носителях. 2. Описание книги производится по титульному листу. Недостающие сведения заимствуют из иных мест книги: обложки, оборота титульного листа, предисловия, оглавления, выпускных данных и др., а также из источников вне документа. 3. Язык библиографического описания, как правило, соответствует языку выходных сведений документа. Предпочтение отдают выходным сведениям на официальном языке страны. Если выходные сведения в документе на всех языках неполные, то выбирают язык, на котором даны наиболее полные сведения. 4. При составлении библиографического описания соблюдают нормы современной орфографии. 5. В библиографическом списке используется сквозная нумерация всех источников. 6. Включаются все материалы, на которые имеются ссылки в тексте. 7. Если цитируется несколько работ одного автора, их располагают по алфавиту заглавий. 8. Библиографическое описание содержит сведения о документе, приведенные по определенным правилам и предназначенные для идентификации и общей характеристики документа и входит в библиографическую запись. 9. При составлении библиографического описания в целях обеспечения его компактности можно применять сокращение слов и словосочетаний, пропуск части элемента, объединение различных записей в одну библиографическую запись и другие приемы сокращения. Правила сокращения слов и словосочетаний приведены в ГОСТе. Сокращение слова или словосочетания не допускается, если при расшифровке сокращения возможно различное понимание текста библиографического описания. Не допускается сокращать любые заглавия в любой области. 10. В библиографическом списке необходимо соблюдать следующее расположение материалов: Конституции СССР, РСФСР, РФ; законы России до 1917 г., законы СССР, законы РСФСР, федеральные законы РФ, региональные законы; указы и распоряжения Президента РФ; акты правительств страны: России до 1917 г., СССР, РСФСР, РФ (декреты, постановления, решения, распоряжения, положения, правила); нормативные акты субъектов РФ (постановления, решения, распоряжения, положения, правила); акты министерств и ведомств (решения, распоряжения, положения, правила); решения органов местного самоуправления (решения, распоряжения, положения, правила); нормативные акты зарубежных государств; научная литература в алфавите авторов и заглавий документов; архивные документы, фондовые музейные коллекции.

## Примеры библиографических описаний

### **Законодательные акты:**

#### *Законы:*

Устав лесной Российской империи // Свод законов Российской империи. – Т. 8. – СПб., 1842.

Об охране природы в РСФСР: закон РСФСР // Правда. – 1960. – 28 окт.

Об особо охраняемых природных территориях Кировской области: закон Киров. обл. // Вестник Кировской областной Думы и администрации области. – Киров, 1996. – Вып. 5. – С. 3–37.

#### *Декреты, постановления и решения:*

О лесах: декрет ВЦИК от 27 мая 1918 г. // Об охране окружающей среды: сб. док. партии и правительства: 1917–1981 гг. – М., 1981.

Об утверждении Положения о порядке охраны и использования объектов природного и культурного наследия на территории Кировской области: решение малого совета Киров. обл. Совета нар. депутатов // Вестник Кировского областного Совета народных депутатов. – Киров, 1992. – № 12. – С. 25–36.

О порядке признания водных объектов памятниками природы : постановление Совета Министров РСФСР от 12 сентября 1974 г. № 129 // Собрание Постановлений правительства РСФСР 3 23. – С. 429–430.

#### *Стандарт, СанПиН, СНиП*

ГОСТ Р 517721–2001. Аппаратура радиоэлектронная бытовая. Входные и выходные параметры и типы соединений. Технические требования. – Введ. 2002–01–01. – М.: Изд-во стандартов, 2001. – 27 с.

СНиП 2.06.15-85. Инженерная защита территории от затопления и подтопления.

### **Научная и методическая литература:**

#### *Один автор:*

Соловьев, А. Н. Сокровища вятской природы [Текст] / А. Н. Соловьев. – Киров, 1986.

#### *Два автора:*

Беляев, И. В. Вятский водопровод [Текст] / И. В. Беляев, В. В. Жуйков. – Киров, 2000.

#### *Три автора:*

Алалыкина, Н. М. Фенология и региональный экологический мониторинг [Текст] / Н. М. Алалыкина, Т. Я. Алалыкина, Л. В. Кондакова. – Сыктывкар, 2004.

#### *с редактором:*

Животный мир Кировской области Т. 5 [Текст] / под ред. Н. М. Алалыкиной. – Киров, 2001.

#### *с составителем:*

Экскурсии по памятникам природы г. Кирова и области [Текст]. Ч. 2. / сост. И. М. Зарубина. – Киров, 2007.

#### *Статьи из газет:*

Хохлов, А. А. О возрождении часовни [Текст] / А. А. Хохлов // Киров. правда. – 1990. – 23 сент. – С. 4.

#### *Статья из журнала :*

Хохлов, А. А. Вятская академия наук [Текст] / А. А. Хохлов // Панорама. – 1991. – № 10. – С. 27–28.

#### *Статья из сборника научных трудов:*

Ворончихин, Л. И. Улучшение породного состава лесов Кировской области [Текст] / Л. И. Ворончихин // Региональные и муниципальные проблемы природопользования : материалы 5-й науч.-практ. конф. – Кирово-Чепецк, 1998. – С. 48–49.

### **Электронные ресурсы:**

Хохлов, А. А. Впервые в нашем городе (памятники науки и техники. [Электрон. ресурс] / А. А. Хохлов – Киров, изд-во «Киров – детям» , 2009. – 1 CD-ROM.

### **Архивные документы, фондовые музейные коллекции:**

Государственный архив Кировской области (ГАКО) Ф. 575. Оп. 1. Д. 170.

Фонды Кировского областного краеведческого музея (КОКМ) основной фонд (ОФ) КОМК 17651

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Алалыкина Н. М., Ашихмина Т. Я., Кондакова Л. В. Фенология и региональный экологический мониторинг: учебное пособие. Сыктывкар, 2004. 104 с.
2. Алексеев С. В., Груздева Н. В., Муравьев А. Г., Гущина Э. В. Практикум по экологии: учебное пособие / под ред. С. В. Алексеева. М.: АО МДС, 1996. 192 с.
3. Ашихмина Т. Я. Школьный экологический мониторинг: учебно-методическое пособие. М.: Агар, 2000. 386 с.
4. Вронский В. А. Экология: словарь-справочник. Ростов н/Д: Феникс, 1997.
5. Красная книга Кировской области. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2001.
6. По страницам Красной книги Кировской области: учебное пособие по экологии. Киров: Изд-во ВятГГУ, 2004. 144 с.
7. О состоянии окружающей природной среды Кировской области: региональные доклады. Киров: Департамент ОС и природопользования, 1996–2003.
8. Население и хозяйство Кировской области. Киров, 1997.
9. Афанасьев Ю. А., Фомин С. А., Меньшиков В. В. и др. Мониторинг и методы контроля окружающей среды: учебное пособие: в 2 ч.: Ч. 2. Специальная. М.: Изд-во МНЭПУ, 2001.
10. О состоянии окружающей среды Кировской области в 2010 году: региональный доклад / под общ. ред. А. В. Албеговой. Киров: ООО «Триада плюс», 2011. 188 с.
11. Экология родного края / под ред. Т. Я. Ашихминой. Киров: Вятка, 1996. 720 с.
12. Экологический мониторинг / под ред. Т. Я. Ашихминой. М.: Академический проект, 2005. 416 с.
13. Экологическая безопасность региона (Кировская область на рубеже веков) / под ред. Т. Я. Ашихминой, М. А. Зайцева. Киров: Вятка, 2001. 416 с.
14. Мониторинг природных сред и объектов / под ред. Т. Я. Ашихминой. Киров, 2006. 251 с.
15. Рабочая тетрадь школьника по экологии / под ред. Н. М. Алалыкиной, Т. Я. Ашихминой. Киров: ВятГГУ, 2005. 176 с.
16. Ашихмина Т. Я., Алалыкина Н. М., Огородникова С. Ю., Кантор Г. Я., Кондакова Л. В. Юные экологи изучают родной край. Киров: ООО «Типография «Старая Вятка», 2007. 43 с.
17. Сборник учебных программ элективных курсов по экологии в условиях профильного обучения школьников (7–11 кл.). Киров, 2006. 224 с.
18. Беме Р. Л., Динец В. Л., Флинт В. Е., Черенков А. Е. Птицы / под общ. ред. В. Е. Флинта; Изд. 2-е, доп. и перераб. М., 1998. 432 с.
19. Природа Кировской области: учебное пособие для 8 класса. Киров: Вятка, 1999.

20. Природа, хозяйство, экология Кировской области. Киров, 1996.
21. Прокашев А. М. Руководство по полевой диагностике и экологической оценке почв Кировской области. Киров, 2000.
22. Снакин В. В. и др. Экологический мониторинг: методическое пособие для учителей средних учебных заведений. М.: РЭФИА, 1996. 92 с.
23. Тарарина Л. Ф. Экологический практикум для студентов и школьников. М.: Аргус, 1997. 80 с.
24. Энциклопедия земли вятской. Природа. Т. 7. Киров: Вятка, 1997.
25. Эстрин Э. Р. Пособие по основам агрохимии: материалы к лабораторным занятиям для студ. пед. вузов. Киров: Изд-во ВГПУ, 1998. 56 с.
26. Алексеев Н. Г., Леонтович А. В., Обухов А. В., Фомина Л. Ф. Концепция развития исследовательской деятельности учащихся // Исследовательская работа школьников. 2002. № 1. С. 24–33.
27. Исаева О. В., Пятибратова Т. Б. Некоторые вопросы организации научно-исследовательской деятельности учащихся // Исследовательская работа школьников. 2002. № 2. С. 167–169.
28. Крылова Н. Б. Проектная деятельность школьников и новые задачи педагогов // Дополнительное образование и воспитание. 2007. № 3. С. 109–115.
29. Магазов О. А., Магазова Л. Н. Правила оформления результатов исследовательской работы по экологии: методическое пособие. М.: Экосистема, 1996. 17 с.
30. Нинбург Е. А. Технология научного исследования (методические рекомендации) // Исследовательская работа школьников. 2007. № 1. С. 55–65; 2007. № 2. С. 36–47.
31. Основы ученического исследования (методические рекомендации для предпрофильной и профильной подготовки школьников, ориентированных на ученическую исследовательскую работу) / сост. С. И. Пятибратова. СПб., 2005.
32. Состояние и перспективы развития исследовательской деятельности учащихся // Исследовательская работа школьников. 2002. № 2. С. 65–72.
33. Счастливая Т. Н. К вопросу о методологии научного творчества // Исследовательская работа школьников. 2003. № 1. С. 52–63.
34. Счастливая Т. Н. Применение логических законов и правил в научной работе // Исследовательская работа школьников. 2003. № 2. С. 50–63.
35. Шкляр М. Ф. Основы научных исследований: учебное пособие. М.: Издательско-торговая корпорация «Дашков и К°», 2008. 244 с.



*Учебное издание*

**Ашихмина Тамара Яковлевна**  
**Серия тематических сборников и DVD-дисков**  
**«Экологическая мозаика»**  
**Сборник 15. ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ**

*Учебно -методическое пособие*

Редактор *Т.Н Котельникова*  
Технический редактор *С.Н Тимофеева*

Фото на 1-й стр. обложки Соколова М.Б.  
«Кувшинка – индикатор чистоты водоема»  
Фото на посл. стр. обложки Пестова В.Н. «Муравейник»

Подписано в печать 10.12.12.  
Формат 60×84 1/16.  
Гарнитура «Times New Roman».  
Бумага офсетная. Усл. п. л. 6,0.  
Заказ № 533/12.

Отпечатано в ООО «Типография “Старая Вятка”»  
610004, г. Киров, ул. Р. Люксембург, 30, т. 65-36-77.



*Занятия по изучению ландшафта в природном комплексе проводит сотрудник МВК «Природа» Меланина Н.М.*



*Учащиеся Лицея естественных наук г. Кирова изучают состав и качество питьевой воды и воды р. Вятки*



*Учащиеся Богородской школы исследуют качество природных вод*



*МОУ ООШ д. Пушкино Яранского района.  
Исследования Никулятского озера. Вычисление площади зеркала*



*Определение осы по руководству для натуралистов  
МОУ СОШ д. Пушкино Яранского района*



*Определение азимута, метража и состояния растительности  
в природном комплексе. МОУ ООШ д. Пушкино Яранского района*





*Участники семинара «Школьный экологический мониторинг»,  
учителя Кировской области на практическом занятии, которое  
проводит В.М. Рябов в природном комплексе базы «Вишкель»*



*Изучение состояния водоема*



ISBN 978-5-91061-316-8



9 785910 613168