Tacis Phare

Tacis Cross-Border Co-operation Small Project Facility

PEOPLE AND ENVIRONMENT – HAND IN HAND FOR THE FUTURE
EDUCATION TOWARDS SUSTAINABLE DEVELOPMENT IN KARELIA AS A MODEL FOR NORTH-WEST RUSSIA

THE ELIMINATION OF PUBLIC ENVIRONMENT ILLITERACY THROUGH THE LOCAL ADMINISTRATIVE STRUCTURES IS A RIGHT WAY TO HEALTH, DEVELOPMENT AND HAPPINESS
(ECOPROMT)

This project is co-financed by the European Union's Tacis programme through the Phare/Tacis CBC Project Facility. The European Union's Tacis programme provides grant finance for knowhow to foster the development of market economies and democratic societies in the New Independent States and in Mongolia.

Проект Тасис

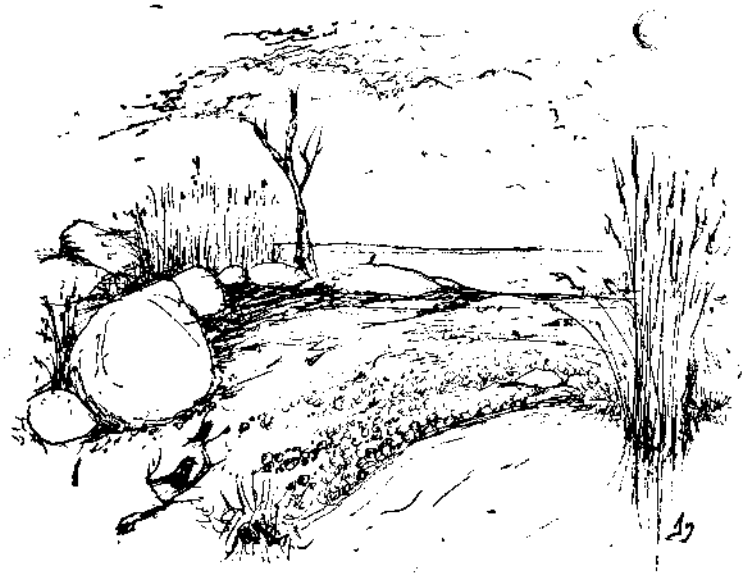
ЛЮДИ И ОКРУЖАЮЩАЯ СРЕДА – РУКА ОБ РУКУ В БУДУЩЕЕ: ЧЕРЕЗ ОБРАЗОВАНИЕ К УСТОЙЧИВОМУ РАЗВИТИЮ КАК МОДЕЛЬ ДЛЯ СЕВЕРО-ЗАПАДА РОССИИ

ЛИКВИДАЦИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗГРАМОТНОСТИ НАСЕЛЕНИЯ ЧЕРЕЗ СТРУКТУРЫ ПРИ МЕСТНЫХ АДМИНИСТРАЦИЯХ – ПРЯМОЙ ПУТЬ К ЗДОРОВЬЮ, РАЗВИТИЮ И БЛАГОПОЛУЧИЮ
(ЭКОПРОМТ)

Данный проект финансируется программой Тасис Европейского Союза в рамках программы Фар/Тасис по приграничному сотрудничеству. Программа Тасис Европейского Союза проводит финансирование грантов для передачи технологий, направленных на развитие рыночной экономики и демократического общества в новых независимых государствах и Монголии.

KARELIAN RESEARCH CENTRE
OF RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES
NORTHERN WATER PROBLEMS INSTITUTE

THE WATER ENVIRONMENT OF KARELIA: RESEARCH, MANAGEMENT AND CONSERVATION



Petrozavodsk
2003

КАРЕЛЬСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК
ИНСТИТУТ ВОДНЫХ ПРОБЛЕМ СЕВЕРА

ВОДНАЯ СРЕДА КАРЕЛИИ: ИССЛЕДОВАНИЯ, ИСПОЛЬЗОВАНИЕ И ОХРАНА



Петрозаводск
2003

ВОДНАЯ СРЕДА КАРЕЛИИ: ИССЛЕДОВАНИЯ, ИСПОЛЬЗОВАНИЕ И ОХРАНА. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2003. 142 с.

Данный сборник статей, подготовленных научными сотрудниками Института водных проблем Севера Карельского научного центра РАН, является продолжением вышедшей в 1999 г. книги «Экологические исследования природных вод Карелии». В сборнике представлена информация о современном состоянии некоторых водоемов Карелии, о подземных водах и возможности их использования для водоснабжения, о влиянии рубки леса, о видах зоопланктона и высшей водной растительности озер республики.

Особое внимание уделено водоемам Сегежского и Пудожского районов. Администрации этих районов являются партнерами проекта Тасис «Люди и окружающая среда – рука об руку в будущее: через образование к устойчивому развитию как модель для Северо-Запада России. Ликвидация экологической безграмотности населения через структуры при местных администрациях – прямой путь к здоровью, развитию и благополучию», при финансовой поддержке которого издается данный сборник.

Практический раздел содержит рекомендации по организации исследований с использованием доступных материалов и организмов, которые, несомненно, будут востребованы в условиях средних школ и полевых лагерей.

В сборнике выделен раздел, посвященный опыту проведения научных исследований, анализу полученных результатов и подготовки публикаций, начиная от работы учащихся средних школ до аспирантов высших учебных заведений. Представленный материал показывает, что проведение собственных научных исследований под руководством научных сотрудников является важных шагом в развитии экологического образования в Республике Карелия.

Сборник предназначен для школьников, студентов, преподавателей географии, биологии, родителей, заинтересованных в воспитании детей, ответственных за окружающий мир, для всех читателей, занимающихся проблемами экологии и охраны природы.

The present volume of collected papers written by researchers from the Northern Water Problems Institute, Karelian Research Centre, Russian Academy of Science is a continuation of the informational series «Ecological studies of natural waters in Karelia» (Petrozavodsk 1999). The volume throws light upon the current status of some watercourses and reservoirs of Karelia, its groundwater resources and their potential for water supply, the effects of logging, the species of zooplankton and higher aquatic vegetation in the republic's lakes.

We focus specifically on water bodies of the Segezha and Pudozh districts. The district administrations are partners in the Tacis project «People and environment – hand in hand for the future: education towards sustainable development in Karelia as a model for North-West Russia. The elimination of public environmental illiteracy through the local administrative structures is a right way to health, development and happiness», which is the sponsor of the edition.

The practical section offers advice on how to organise research using available materials and organisms, which will no doubt be of value to secondary schools and field camps.

The volume includes a section which describes the experience of scientific research, analyses its results and publication plans, from the works of schoolchildren to post-graduate students. The material shows that own scientific research under professional supervision is an essential step in the development of environmental education in Republic of Karelia.

The volume is meant for schoolchildren, students, teachers of geography and biology, parents eager to raise environment-aware and responsible children, for all categories of readers dealing with ecological and nature conservation problems.

Редакционная коллегия:

П. А. Лозовик, *кандидат химических наук*
Т. И. Регеранд, *кандидат биологических наук*

Рецензент

С. Б. Потахин, *кандидат географических наук*

ISBN 5-9274-0007-6

© Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН, 2003
© Редакционно-издательский отдел КарНЦ РАН, 2003

СОДЕРЖАНИЕ

Введение 7

ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

Н. Н. Мартынова, П. А. Лозовик
БОЛЬШИЕ И МАЛЫЕ ОЗЕРА ПУДОЖСКОГО РАЙОНА 9

Л. П. Петрова
ВОДЛОЗЕРСКОЕ ВОДОХРАНИЛИЩЕ И ЕГО БИОЛОГИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ 17

П. А. Лозовик
ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ СЕГЕЖСКО-НАДВОИЦКОГО ПРОМЦЕНТРА 26

Т. П. Куликова
ЗООПЛАНКТОН ВОДОЕМОВ КАРЕЛИИ 34

Н. М. Калинкина, В. И. Кухарев, А. К. Морозов, А. В. Рябинкин
СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ВОДОЕМОВ СИСТЕМЫ РЕКИ КЕНТИ 53

Т. М. Тимакова
ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ КОНДОПОЖСКОЙ ГУБЫ ОНЕЖСКОГО ОЗЕРА 59

Л. Е. Назарова
ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ СОЛНЕЧНОГО СИЯНИЯ В КАРЕЛИИ 63

Г. С. Бородулина, В. В. Тренин
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОДЗЕМНЫХ ВОД КАРЕЛИИ ДЛЯ ВОДОСНАБЖЕНИЯ 66

Н. Л. Бондарик
ВЛИЯНИЕ РУБОК ЛЕСА НА РЕЧНОЙ СТОК КАРЕЛИИ 72

А. В. Фрейндлинг
МАКРОФИТЫ КАК ИНДИКАТОР ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ 75

ПРАКТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

Ю. А. Сало, Л. Е. Назарова
ПРАКТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ИЗМЕНЧИВОСТИ ГОДОВОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА НА ТЕРРИТОРИИ КАРЕЛИИ 88

Л. В. Дубровина, Т. Н. Полякова
ПРОВЕДЕНИЕ ТОКСИКОЛОГИЧЕСКИХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДОСТУПНЫХ МАТЕРИАЛОВ И ОРГАНИЗМОВ 91

Н. М. Калинкина, Н. В. Пименова
ВЫРАЩИВАНИЕ ЛАБОРАТОРНЫХ КУЛЬТУР ВЕТВИСТОУСЫХ РАЧКОВ DAPHNIA MAGNA STRAUS И SIMOCEPHALUS SERRULATUS KOCH 103

А. В. Литвиненко
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК РЕЧНОГО СТОКА 111

Т. А. Чекрыжева
ПЛАНКТОННЫЕ ВОДОРОСЛИ КАК ИНДИКАТОРЫ КАЧЕСТВА ВОД ВОДОЕМОВ 118

ИЗ ОПЫТА МОЛОДЫХ КОЛЛЕГ

А. А. Коросов
ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ОБРАБОТКИ КОСМИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ 121

Д. С. Юдина
СРАВНЕНИЕ РАЗЛИЧНЫХ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ВОДЫ ПО БЕНТОСНЫМ СООБЩЕСТВАМ 125

А. Сазонова, И. Смирнова, А. Колобова, О. Мюлляри
ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЧИВОСТИ ПОКАЗАТЕЛЯ КИСЛОТНОСТИ РЕКИ НЕГЛИНКИ В ЗИМНЕ-ВЕСЕННИЙ ПЕРИОД. 130

Е. Майорова
ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ВОДЫ ПРИБРЕЖЬЯ ОЗЕРА ЛОГМОЗЕРО ПО ОРГАНИЗМАМ МАКРОЗООБЕНТОСА 133

CONTENTS

Introduction 7

THEORETICAL SECTION

N. Martynova, P. Lozovick
LARGE AND SMALL LAKES OF THE PUDOZH DISTRICT 9
L. Petrova
VODLOZERO AND ITS BIOLOGICAL RESOURCES 17
P. Lozovick
ECOLOGICAL PROBLEMS OF THE SEGEZHA-NADVOITSY INDUSTRIAL HUB 26
T. Kulikova
ZOOPLANKTON IN KARELIAN WATERS 34
N. Kalinkina, V. Kukharev, A. Morozov, A. Ryabinkin
CURRENT STATE OF WATER BODIES IN THE KENTI RIVER SYSTEM 53
T. Timakova
ECOLOGICAL STATUS OF THE KONDOPOGA BAY, LAKE ONEGA 59
L. Nazarova
SUNSHINE DURATION IN KARELIA 63
G. Borodulina, V. Trenin
USING GROUNDWATER FOR WATER SUPPLY IN KARELIA 66
N. Bondarik
EFFECTS OF LOGGING ON STREAMFLOW IN KARELIA 72
A. Freindling
MACROPHYTES AS AN INDICATOR OF THE NATURAL ENVIRONMENT 75

PRACTICAL SECTION

Yu. Salo, L. Nazarova
APPLIED RESEARCH INTO ANNUAL AIR TEMPERATURE VARIABILITY IN KARELIA . . . 88
L. Dubrovina, T. Polyakova
STAGING TOXICOLOGICAL EXPERIMENTS USING AVAILABLE MATERIALS AND ORGANISMS 91
N. Kalinkina, N. Pimenova
CULTURE PROCEDURE AND NORMAL CHARACTERISTICS OF THE CLADOCERANS DAPHNIA MAGNA STRAUS AND SIMOCEPHALUS SERRULATUS KOCH. 103
A. Litvinenko
DEFINING STREAMFLOW PARAMETERS 111
T. Chekryzheva
PLANKTONIC ALGAE AS INDICATORS OF WATER QUALITY 118

SOME FINDINGS BY YOUNGER COLLEAGUES

A. Korosov
GEOGRAPHICAL METHODS AND TOOLS FOR SATELLITE DATA INTERPRETATION . . . 121
D. Yudina
COMPARING DIFFERENT METHODS FOR WATER QUALITY ASSESSMENT THROUGH EVALUATION OF BENTHIC COMMUNITIES 125
A. Sazonova, I. Smirnova, A. Kolobova, O. Myllari
A STUDY OF THE WATER ACIDITY VARIATION IN RIVER NEGLINKA IN THE WINTER-SPRING PERIOD 130
E. Mayorova
LAKE LOGMOZERO WATER QUALITY ASSESSMENT USING MACROZOOBENTHOS ORGANISMS 133

Введение

Последние десятилетия XX века и первые годы нынешнего тысячелетия характеризуются интенсивным развитием системы непрерывного экологического образования и воспитания в нашей стране, что находит свое отражение и в Республике Карелия.

Экологический всеобуч складывается из отдельных тем, различных курсов школьной программы и в таком виде существует уже на протяжении десятилетий. На уроках биологии, географии, физики и химии изучаются отдельные вопросы взаимодействия человека и природы. На уроках литературы обсуждаются публицистические статьи на тему окружающего мира. Образ природы выступает как носитель положительных эмоций, объект восхищения и изучения. Учащиеся знакомятся с влиянием человека на окружающий мир и познают зависимость человека от окружающей природы. Строится комплексное восприятие окружающего мира через интегрированные уроки, включающие в себя все краски от ярких зрительных и звуковых ощущений до детального анализа отдельного уголка природы. При этом знакомство и познание окружающего мира всегда сочетается с непосредственным общением с природой, его составными компонентами, анализом ситуации и изучением результатов влияния человека на окружающий мир.

Экология, выделенная в самостоятельный предмет, не вмещает того необходимого количества информации, который может быть востребован при изучении состояния отдельного уголка природы. Потому все чаще мы наблюдаем не только выделение названного предмета, но и введение информации в другие предметы, выделение блоков знаний, связанных с системой человек – природа.

Дифференциация образования на третьей ступени позволяет в рамках учебного плана школы выделять или расширять преподавание дисциплин биологического ряда, вводить за счет школьного компонента мини-курсы, организовывать практикумы, сезонные наблюдения за природой, экспедиции и школьные лагеря профильной ориентации.

В таких городах, как Петрозаводск (школы № 3, 5, 7, 43, гимназия № 17, лицей № 40 и др.), Костомукша, Кондопога, созданы целые системы экологического образования и воспитания, которые включают в себя не только ряд школьного предметного преподавания, но и организацию внеклассной работы с экспедициями, трудовым десантом по восстановлению природных комплексов и краткосрочными лагерями экологической направленности. Школьники этих городов под руководством педагогов, ученых активно участвуют в международных проектах по экологическому воспитанию, включаясь в работу по оценке ситуации по вопросам природопользования с зарубежными сверстниками. При этом идет формирование глобальных представлений о проблемах окружающего мира и формирование личной ответственности каждого жителя планеты за будущее мира.

Информатизация системы обучения позволяет сегодня с учетом новых компьютерных технологий оперативно собирать и обрабатывать материалы, обмениваться полученной информацией, непосредственно включаться в глобальные процессы сохранения окружающей среды.

Реализация программ экологического воспитания немыслима без организации практических работ школьников, студентов, учителей. Последние годы сформирована система востребованности научных разработок, выполненных учащимися и студентами под руководством учителей и представителей отечественной науки, позволяющих изучить вопросы экологической обстановки на малых территориях республики. Результаты экологического воспитания и образования молодого поколения ежегодно представляются в виде интереснейших работ на конкурсах «Шаг в будущее», олимпиадах и соревнованиях «молодых ученых». И первые международные награды Республика Карелия имела именно по этим направлениям.

Организация подобной работы требует дополнительной подготовки и преподавательского состава. Речь идет не только о предметной курсовой переподготовке, но и об активном участии педагогов в различных проектах, предполагающих повышение их квалификации и уровня практических

навыков комплексного осуществления научных исследований. Сегодня отработана система проведения экспедиций по изучению природных сообществ, создания экологических троп, биологических музеев, выпуск газет и журналов экологической направленности, организация мониторингов по оценке состояния окружающей среды.

Совершенно очевидно, что в данной ситуации роль ученых в подготовке и переподготовке педагогических кадров, в работе с учащимися и студентами недооценить нельзя. Происходит переориентация не только всего педагогического сообщества, но, что особенно важно, и научных работников, занятых данной проблемой.

Примером этого является Центр экологического просвещения, созданный в Институте водных проблем Севера (ИВПС) Карельского научного центра Российской академии наук. За последние пять лет в институте сложилась система семинарских и лекционных занятий, совместная организация выездных мероприятий в виде школ-лагерей полевого практикума, организация научного руководства проектами и практическими работами учащихся и педагогов. Все это, несомненно, дает значимый положительный результат в деле повышения квалификации педагогов с точки зрения как увеличения теоретического багажа их знаний, так и совершенствования их практического воплощения.

Особое значение имеют публикации, подготовленные научными сотрудниками ИВПС Карельского научного центра РАН по данному направлению. Сотрудники института, участники проекта «Экологическое просвещение», совершенно правильно считают, что интерес к экологическим проблемам с целью их дальнейшего решения должен основываться на действительных фактических материалах, научно обоснованных, изложенных в доступной для общественности форме с ясными выводами и практическими рекомендациями. Реальное представление проблемы, в том числе и экологической, является залогом правильного ее решения. Новый сборник, подготовленный в ИВПС, дает возможность преподавателям естественных предметов, студентам и старшеклассникам, а также всем заинтересованным в сохранении окружающей среды расширить свои знания относительно экологического состояния водоемов Карелии и подготовиться к проведению практических исследований.

Сближение науки и педагогической практики создает предпосылку организации единой управляемой, планируемой системы подготовки нового поколения, умеющего положительно и продуктивно общаться с окружающей природой с осознанием ответственности за ее состояние. Роль учителя при этом существенно изменяется. Он становится не только информатором знаний в области экологии, но и берет на себя миссию воспитания социума, создания системы отношений человека и окружающего мира. Помощь со стороны науки и научных сотрудников при этом является основополагающим элементом.

Т. М. Анохова,
Заместитель главы самоуправления г. Петрозаводска
по образованию, культуре, делам молодежи, физической культуре и спорту

ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ 9

Большие и малые озера Пудожского района

Н. Н. Мартынова, П. А. Лозовик

Пудожский район по праву считается одной из глубинок Карелии. Он расположен на восточном побережье Онежского озера. Центральная и южная части района размещаются на Восточно-Онежской равнине, имеющей общий уклон в сторону Онежского озера, которая отличается более ровной поверхностью. На севере она переходит в Водлозерско-Андомскую холмистую область и зону тектонических разломов, являющуюся Беломорско-Балтийским водоразделом (Бискэ, 1959). В северной и центральной частях района преобладает озово-камовый ландшафт. Длинные узкие холмы – «сельги» – чередуются с впадинами (лесными ламбами, болотами).

В настоящее время основной отраслью района является лесная и деревообрабатывающая промышленность, а также сельское хозяйство и рыбный промысел. Определенные перспективы открываются перед районом в связи с возможностью разработки Аганозерского месторождения хромитовых руд.

Вследствие низкой плотности населения и незначительной освоенности территории антропогенное влияние на его водные объекты выражено слабо.

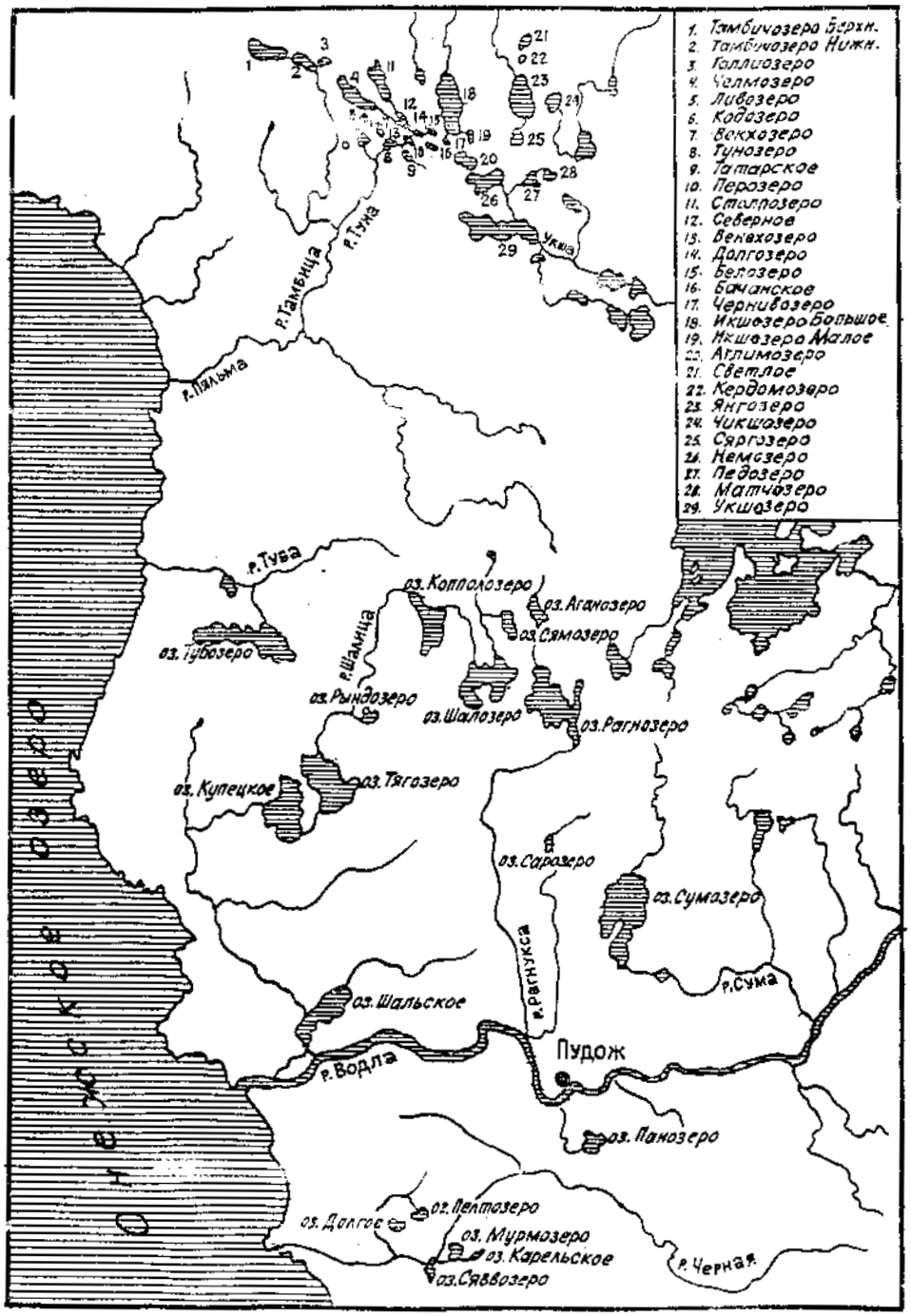
На территории Пудожского района расположен национальный природный парк «Водлозерский», созданный в 1991 г., который стал первым охраняемым объектом такого типа на Европейском Севере России. Его южная часть расположена в Карелии, а северная – в Архангельской области.

Территория Водлозерского парка (около 0,5 млн. га) является уникальным для Европы участком нетронутой природы столь больших размеров. В парке сохраняются природные комплексы средней европейской тайги: чистые озера и реки, естественные хвойные леса и болота, населенные коренными обитателями тайги, в том числе редкими и исчезающими видами (Природное и культурное наследие.., 1995).

Водлозерский национальный парк почти целиком находится в бассейне Онежского озера и расположен в его северо-восточной части. Главным объектом, определяющим лицо парка, является Водлозеро (водохранилище). Основной водосбор Водлозера расположен к северу от него – это р. Илекса, вытекающая из оз. Калгачинского и впадающая в Водлозеро. Ее длина составляет 155 км. Река Илекса является верхним звеном озерно-речной системы Невы (р. Илекса – оз. Водлозеро – р. Водла – оз. Онежское – р. Свирь – оз. Ладожское – р. Нева – Финский залив).

В геологическом отношении территория Пудожского района является восточной окраиной Балтийского кристаллического щита. Подстилающие породы представлены архейскими гнейсами, гнейсогранитами и гранитами, на отдельных участках встречаются карбонатные породы. Почвы Пудожского района главным образом подзолистые и дерново-подзолистые. Поверхность водосбора покрыта смешанным лесом (ель, сосна, береза, осина, ольха), преобладают хвойные породы.

Климатические условия этой части Карелии (Романов,1961) характеризуются некоторой



Р и с. 1. СХЕМА РАСПОЛОЖЕНИЯ ОЗЕР ВОСТОЧНОГО ПРИОНЕЖЬЯ

континентальностью климата с более продолжительным безморозным периодом по сравнению с северными и западными районами республики. Преобладающими в году направлениями ветра являются южное, юго-западное и западное, а в летний перид – юго-западное и восточное.

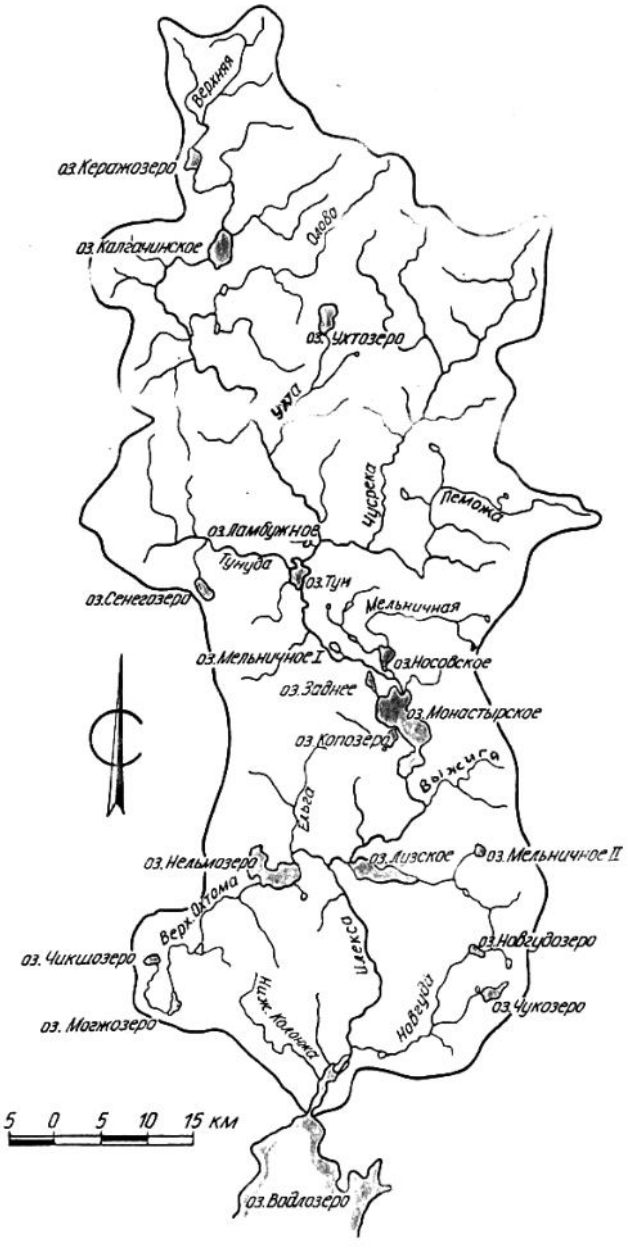
ГИДРОЛОГИЯ ВОДОЕМОВ

На территории Пудожского района расположено большое количество озер и рек. Наиболее крупными реками являются Водла, Илекса, Пяльма, Туба, Черная и Шала (приток р. Водлы).

В бассейнах рек Пяльмы, Тубы, Черной общей площадью около 4 тыс. км^2 насчитывается 276 водоемов, что составляет 6% от общей численности (42644) озер Карелии. Из них 200 не имеют видимого стока («бессточные»). Размещение водоемов на этой территории района не равномерно (рис. 1). Преобладающее их число находится с одной стороны северо-западнее оз. Водлозеро, где озера цепочкой вытянуты по южному склону Беломорско-Балтийского водораздела, с другой – юго-западнее

озера в области развития моренных волнистых равнин. Котловины водоемов относятся к типу ледниковых и ледниково-тектонических.

На территории бассейна р. Илексы озер значительно меньше (рис. 2). Многие из них являются плесовым расширением самой реки или же верхними небольшими озерами, из которых берут начало реки.



Р и с. 2. БАССЕЙН Р. ИЛЕКСЫ

Крупнейшим озером Пудожского района является Водлозеро, площадь которого составляет 322 км². Средняя глубина его 3–4 м при максимальной 16,3 м.

Наиболее крупные озера (с площадью более 10 км²) расположены в южной части района. Это Сумозеро – 24,42 км², Рагнозеро – 14,9, Тягозеро – 14,57, Тубозеро – 14,56 и Купецкое – 12,14 км², а в бассейне р. Илексы – Монастырское, имеющее площадь 25,9 км² (включая оз. Ик, которое является его южным плесом), Нельмозеро – 14,4, Лузское – 12,1 км².

Большей частью на территории района и в бассейне р. Илексы преобладают небольшие водоемы площадью менее 1 км². Средняя глубина от 0,6–2,0 м (Чикшозеро, Аганозеро и все озера бассейна р. Илексы) до 5,0–11,9 м (Купецкое, Северное), а наибольшая достигает 31,5 м в оз. Бачанском.

Морфометрические данные по ряду озер Пудожского района приведены в таблицах 1 (Фрейндлинг, 1970) и 2 (Григорьев, Грицевская, 1959; Рыбохозяйственное исследование.., 1973). Подробная характеристика оз. Водлозеро содержится в статье Л. П. Петровой настоящего сборника.

Таблица 1

ГИДРОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА НЕКОТОРЫХ ОЗЕР ПУДОЖСКОГО РАЙОНА

Озеро	Площадь водосбора, км²	Площадь озера, км²	Средняя глубина, м
Чернивозеро	0,5	0,14	4,0
Икшозеро Малое	13,1	0,40	1,6
Икшозеро Большое	8,1	8,3	1,7
Светлое	3,3	0,98	2,2
Кердомозеро	5,1	0,76	1,0
Сяргозеро	14,5	1,35	1,7
Янгозеро	30,2	6,24	1,4
Ливозеро	2,7	0,91	1,9
Векхозеро	2,7	0,27	2,1
Челмозеро	28,0	2,70	6,5
Столпозеро	13,0	1,79	8,3
Северное	25,0	0,34	11,9
Белозеро	1,0	0,25	3,4
Долгозеро	1,6	0,18	6,1
Венехозеро	32,9	0,71	4,8
Перозеро	75,9	0,16	1,7
Татарское	16,8	0,59	1,7
Тунозеро	85,4	0,53	1,9
Кодозеро	4,3	1,58	4,4
Тамбичозеро Верхнее	7,7	1,33	3,0
Тамбичозеро Нижнее	16,4	1,17	1,4
Галлиозеро	6,0	0,27	4,6
Бачанское	1,4	0,25	10,5
Аглимозеро	4,8	1,16	3,1
Немозеро	3,6	1,91	5,0
Матчозеро	2,0	0,54	5,0
Педозеро	3,6	0,45	3,4
Укшозеро	101,1	7,40	3,7
Чикшозеро	16,4	1,59	0,6
Сумозеро	188,8	24,42	2,8
Тягозеро	390,0	14,57	5,2
Тубозеро	104,3	14,56	4,0
Рагнозеро	101,1	14,90	4,2
Купецкое	467,9	12,14	5,0
Шалозеро	97,5	11,53	3,5
Шальское	1018,3	9,34	1,2
Копполозеро	153,3	6,54	4,6
Панозеро	18,0	2,42	2,7
Сямозеро	12,6	2,35	0,6
Аганозеро	6,6	2,44	2,0
Мурмозеро	7,4	1,15	5,8
Рындозеро	60,0	1,01	1,9
Черное Большое	20,4	0,49	1,6
Сарозеро	4,1	0,37	2,3
Долгое	2,3	0,38	4,4
Карельское	30,0	0,80	1,2
Сяввозеро	5,8	0,04	1,2

Таблица 2

ГИДРОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ОЗЕР ВОДЛОЗЕРСКОГО НАЦИОНАЛЬНОГО ПАРКА

Озеро	Площадь бассейна, км^2	Площадь озера, км^2	Средняя глубина, м
Калгачинское	393	8,20	1,5
Ухтозеро	27,4	4,56	1,4
Мельничное I	3,3	0,99	2,4
Заднее	2,9	1,78	0,5
Носовское	107	3,23	1,2
Копозеро	17,5	1,90	0,6
Монастырское (с оз. Ик)	2600	26,40	1,4
Лузское	2920	12,07	0,6
Нельмозеро	269	14,42	0,9
Кержозеро		3,26	0,8
Чикшозеро	16,4	1,59	0,6
Могжозеро	51,7	1,80	
Новгудозеро	81,5	2,26	
Чукозеро		3,08	
Мельничное II		1,52	
Водлозеро	4960	322	2,8

Донные отложения озер представлены илами, песчано-гравийными грунтами, глиной и железорудными образованиями (Васильева, 1966). Типы отложений и их происхождение определяются характером почв водосборного бассейна и прилегающей к водоему местности, проточностью, жизнедеятельностью животных и растительных организмов и т. д. Дно водоемов, расположенных среди болотистой местности, почти по всей площади покрыто илами преимущественно темно-бурой окраски, что свидетельствует о присутствии в них гуминовых веществ (озера Карельское, Панозеро, Черное, Чикшозеро). Песчано-галечные грунты наиболее широко представлены на Белозере (36% от общей площади донных отложений), Тамбичозере (33,6%), Укшозере (27,2%). В донных отложениях ряда водоемов (Тубозеро, Сумозеро) имеются железорудные образования в виде песчинок, различного размера горошин, конкреций и корки. Отложения оз. Сямозеро, расположенного в верховьях р. Шалицы, наиболее богаты среди всех водоемов Пудожского района органическим веществом. Углерода в них около 34%, фосфора – 11,8 мг, железа – 44,4 мг на 100 г сухого грунта. По совокупности этих элементов отложения озера близки к сапропелям.

ГИДРОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ

Удаленность Пудожского района, сложность транспортных сообщений обусловили то, что до настоящего времени водные объекты рассматриваемой территории остаются мало изученными.

Гидрохимическая характеристика северной группы озер восточного побережья Онежского озера полно представлена в работе Н. С. Харкевич (1975). Описание химического состава воды озер бассейна р. Илексы дано в работах И. Г. Вислянской и др. (1995а, б). Состав воды некоторых рек района представлен в работах Г. П. Пирожковой (1990).

Химический состав воды озер Пудожского района весьма разнообразен (табл. 3, 4).

Величина минерализации ($\Sigma_и$), т. е. сумма главных ионов (Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^{+}, K^{+}, HCO_3^{-}, SO_4^{2-}, Cl^{-}), колеблется в широких пределах – от 7,1 (Аглимозеро) до 105,7 мг/л (Долгозеро). В воде озер очень и маломинерализованных ($\Sigma_и$ до 10–15 мг/л) в ионном составе преобладают сульфат- и натрий-ионы, и такие воды относятся к сульфатному классу, группы натрия. Состав воды таких водоемов формируется преимущественно за счет атмосферных осадков, в которых эти ионы преобладают. С увеличением минерализации в составе катионов возрастает доля кальция и магния, а среди анионов – гидрокарбонатов, и вода классифицируется как вода выраженного гидрокарбонатного класса, группы кальция и магния. Воды такого состава характерны как для данного района, так и в целом для Карелии. В этой группе преобладают озера с малой (от 15,1 до 30,0 мг/л) и средней (от 30,1 до 60,0 мг/л) минерализацией – это Немозеро, Сяргозеро, Татарское, Укшозеро и др., повышенное и высокое (для Карелии) содержание главных ионов (60,1–120 мг/л и больше) в воде озер Тамбичозеро Верхнее и Нижнее, Долгозеро, Белозеро, что можно объяснить залеганием, по-видимому, в их частных водосборах карбонатных пород и наличием донного питания за счет минерализованных подземных вод.

В природных водах содержатся и органические вещества (ОВ), которые как образуются в самом водоеме в результате жизнедеятельности растений и животных, населяющих водную среду (автохтонное ОВ), так и поступают в водоем извне, например, из почв, болот, с речным стоком (аллохтонное ОВ). Для характеристики находящегося в воде органического вещества используют величину так называемой окисляемости воды, т. е. количество миллиграммов кислорода, которое требуется на окисление ОВ в 1 л воды (мг О/л). Если окислителем служит перманганат калия ($KMnO_4$) – это перманганатная окисляемость (ПО), если бихромат калия ($K_2Cr_2O_7$) – бихроматная (БО). Также для характеристики органических веществ используют такой показатель, как цветность, которая измеряется в градусах платиново-кобальтовой шкалы, и еще ряд других показателей. Значения окисляемости, цветности, которые получают при химическом анализе проб воды, отобранных на водных объектах, соотношения между ними служат для оценки количественного и качественного состава органических веществ природных вод.

Озера Пудожского района значительно различаются по содержанию и природе ОВ, общее количество которого определено от 4,4 (оз. Бачанское) до 52,7 мг/л (озера Сяргозеро, Янгозеро), ПО – от 1,2 до 15,4 мг О/л, цветность – от 3 до 100 град. (табл. 3, 4). В водах озер Светлого,

Таблица 3

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ВОДЫ СЕВЕРНОЙ ГРУППЫ ОЗЕР ВОСТОЧНОГО ПРИОНЕЖЬЯ В ЛЕТНИЙ ПЕРИОД 1965 г.

Озеро	$\Sigma_и$, мг/л	Alk, мг/л	pH	O_2, % нас.	Цветность, град.	ПО, мг О/л	$P_{общ}$, мкг/л	$N_{орг}$, мг/л	Fe, мг/л
Чернивозеро	10,9	2,9	6,15	43–92	26	4,5	23	0,20	0,07
Икшозеро Малое	10,0	3,3	6,00	89–92	46	7,1	22	0,33	0,16
Икшозеро Большое	28,4	16,9	7,35	94–107	24	8,7	63	0,77	0,18
Светлое	10,2	3,3	6,10	94–97	3	2,9	16	0,23	0,05
Кердомозеро	13,7	5,8	6,70	88–92	27	5,5	40	0,43	0,13
Сяргозеро	35,7	23,2	7,00	62–85	53	9,1	89	0,91	0,52
Янгозеро	30,8	18,7	7,60	100–103	65	13,1	141	2,05	0,78
Ливозеро	8,7	1,1	<6,0	92–96	9	2,7	23	0,41	0,05
Векхозеро	14,0	2,4	5,80	87–89	26	5,9	25	0,62	0,10
Челмозеро	25,2	11,8	6,65	69–98	42	8,6	19	0,22	0,05
Столпозеро	10,7	2,4	5,90	74–94	34	4,5	13	0,17	0,06
Северное	27,1	14,9	6,58	48–92	22	4,8	16	0,34	0,08
Белозеро	92,1	67,3	7,25	17–119	62	7,8	44	0,50	0,59
Долгозеро	105,7	78,0	7,29	10–97	24	4,7	32	0,40	0,44
Венехозеро	62,8	42,3	7,22	73–92	20	5,5	28	0,62	0,15
Перозеро	65,2	44,6	7,74	96–108	42	6,1	47	0,56	0,11
Татарское	32,4	18,9	7,01	96–108	100	15,5	83	0,58	0,66
Тунозеро	54,8	36,4	7,22	100–106	41	7,1	39	0,31	0,18
Кодозеро	54,2	36,0	7,24	91–111	27	4,4	61	0,87	0,12
Тамбичозеро Верхнее	67,0	47,3	8,18	11–110	45	11,6	54	0,63	0,29
Тамбичозеро Нижнее	78,1	47,3	7,00	81–86	44	9,7	38	0,52	0,36
Галлиозеро	12,7	5,0	6,50	79–97	6	2,5	16	0,28	0,03
Бачанское	9,2	3,1	6,20	56–101	4	1,5	17	0,34	0,02
Аглимозеро	7,6	1,2	6,15	95–96	5	1,3	28	0,39	0,04
Немозеро	21,5	9,6	6,70	45–96	24	6,0	19	0,18	0,05
Матчозеро	29,7	17,3	6,70	50–96	43	7,1	20	0,32	0,10
Педозеро	26,9	14,5	6,80	71–96	42	6,2	20	0,29	0,06
Укшозеро	54,0	34,0	7,57	74–110	54	9,1	74	0,81	0,24
Чикшозеро	26,1	15,3	7,20	87–94	51	9,6	58	0,76	0,31

Таблица 4

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ВОДЫ ОЗЕР ВОДЛОЗЕРСКОГО НАЦИОНАЛЬНОГО ПАРКА В ЛЕТНИЙ ПЕРИОД 1991–1992 гг.

Озеро	$\Sigma_и$, мг/л	Alk, мг/л	pH	Цветность, град.	ПО, мг О/л	$C_{орг}$, мг/л	$P_{общ}$, мкг/л	$N_{орг}$, мг/л	$N\text{-}NH_4^+$, мг/л	Fe, мг/л
Водлозеро	24,1	12,4	6,92	43	12,6	11,5	28	0,702	0,090	0,17
Кережозеро		12,7	6,33	134	28,8	21,4	21		0,247	0,74
Калгачинское		11,7	6,50	137	24,6	17,4	29		0,039	0,18
Ухтозеро		3,4	6,13	40	18,4	8,8	5		0,031	0,12
Мельничное I	7,2	0,0	5,45	29	5,8	5,6	22	0,786	0,056	0,32
Носовское	24,9	13,7	6,70	84	19,8	22,2	137	3,239	0,147	1,29
Монастырское	28,7	15,4	6,97	79	16,7	17,0	67	1,059	0,135	1,19
Заднее	27,0	16,6	6,85	55	15,0	21,2	164	0,772	0,104	0,81
Копозеро	21,3	10,1	6,75	97	23,4	33,4	68	0,360	0,078	0,82
Лузское	19,1	8,8	6,78	68	17,0	18,2	75	0,308	0,130	0,66
Мельничное II	17,5	7,6	6,70	25	12,1	9,4	36	0,827	0,082	0,08
Нельмозеро	17,4	7,7	6,45	66	18,2	18,2	111	1,219	0,095	0,75
Чикшозеро		15,6	6,85	50	20,2	21,0	204	0,890	0,356	0,72
Могжозеро	22,0	10,6	6,84	64	13,9	14,2	76	0,570	0,104	1,13
Новгудозеро	12,4	5,1	6,33	86	20,8	25,2	40	0,308	0,130	0,97
Чукозеро	7,0	1,2	5,82	38	7,1	6,6	42	0,302	0,113	0,51
Р. Илекса, исток	22,2	12,9	6,92	74	17,8	17,8	68	1,124	0,190	1,00

Галлиозеро, Бачанского, Аглимозеро наиболее низкая цветность (3–6 град.) и самые низкие величины перманганатной окисляемости (1,3–2,9 мг О/л) для данного района исследований. По косвенным показателям ОВ преимущественно автохтонное, образующееся в основном в результате внутриводоемных процессов. Более высокие значения ПО и цветности (соответственно 4,5–8,6 мг О/л и 20–62 град.) в воде большинства озер (Чернивозеро, Столпозеро, Челмозеро и др.) указывают на то, что формирование органических веществ происходит не только за счет автохтонных процессов, т. е. внутриводоемных, но и за счет аллохтонных, связанных с поступлением ОВ с водосбора. Самая высокая цветность (100–110 град.) и перманганатная окисляемость (15,1–15,7 мг О/л) определена в оз. Татарском, что указывает на значительное количество в воде гумусовых веществ растительного и почвенного происхождения, поступающих с водосбора. Вместе с тем и здесь в воде

присутствуют ОВ, образующиеся непосредственно в водоеме вследствие обильного развития в нем высшей водной растительности, которая занимает до 22% площади водоема (Клюкина, 1970).

Важное значение в природных водах имеют биогенные вещества. К ним относятся соединения азота (ионы аммония NH_4^+, нитратный NO_3^- и нитритный NO_2^- ионы, органический азот $N_{орг}$) и фосфора (фосфор минеральный $P_{мин}$ и фосфор общий $P_{общ}$). Содержание биогенных элементов в водоемах обычно невелико, однако их присутствие имеет очень большое значение для существования растительности, а следовательно, и иных водных организмов.

В исследованных озерах содержание биогенных элементов колеблется в широких пределах (табл. 3, 4). Концентрация органического азота изменяется от 0,18 до 2,05 мг N/л, а фосфора общего – от 5 до 204 мкг/л. Наименьшие их количества в воде Ухтозера, Светлого и Столпозера, а максимальное – в Чикшозере, Заднем, Сяргозере и Янгозере. Более половины озер содержат повышенные для условий Карелии концентрации $N_{орг}$ (0,40–0,91 мг N/л) и $P_{общ}$ (47–204 мкг/л), и в первую очередь это относится к фосфору общему. Связано это прежде всего с особенностями геологии данного района и морфометрическими показателями озер. Большинство водоемов являются весьма мелкими (средняя глубина < 2 м), и из донных отложений и подстилающих пород поступает в воду значительное количество фосфора. По его содержанию большинство объектов характеризуется как весьма высокопродуктивные, или, как принято говорить, высокоэвтрофные. Высокая обеспеченность фосфором способствует активному протеканию процессов фотосинтеза в летний период в неглубоких хорошо прогреваемых водоемах, в результате которого образуются ОВ, богатые азотом и фосфором.

В водоемах Пудожского района и в бассейне р. Илексы содержание общего железа изменяется в широких пределах – от 0,02 до 1,29 мг/л (табл. 3, 4). Минимальные его количества обнаружены в светловодных озерах, повышенные (0,52–0,80 мг/л) – в озерах Янгозеро, Белозеро, Сяргозеро и Татарском, Керажозеро, Заднем, Копозеро, Нельмозеро, Чикшозеро и др., а наиболее высокие (1,13–1,29 мг/л) – в озерах бассейна р. Илексы – Могжозеро, Монастырском и Носовском.

Концентрация кремния в большинстве озер изменяется в пределах от 0,2 до 0,9 мг/л. В некоторых он даже может отсутствовать, что, вероятно, связано с интенсивным потреблением этого элемента в летний период фитопланктоном (диатомовыми водорослями). Более высокие его количества – в озерах Заднем и Могжозеро (1,86 и 1,09 мг/л соответственно), а в озерах Белозеро, Долгозеро и Кодозеро концентрация кремния была максимальной (3,7–4,7 мг/л).

Концентрация фтора в пудожских водоемах низкая – от 0,01 до 0,06 мг/л. Содержание марганца достаточно стабильно во всех водных объектах (0,01–0,06 мг/л), исключение составляют воды оз. Калгачинского, содержащего до 1,05 мг/л .

Важное значение во внутриводоемных процессах имеют концентрация водородных ионов (величина pH) и газовые условия, т. е. насыщение воды кислородом (O_2%), содержание диоксида углерода (CO_2).

В воде изученных объектов pH колебалась в широких пределах – от слабокислой кислой (pH < 6,0), слабокислой (pH 6,2–6,7) до слабощелочной (pH 7,0–8,2). Насыщение воды кислородом в водной массе большинства озер составляло 75–96%, т. е. наблюдался незначительный его дефицит (табл. 3, 4). В верхних слоях воды озер Татарского и Перозеро летом отмечено пересыщение воды кислородом до 104–108% и отсутствие CO_2 вследствие использования его в процессе фотосинтеза. В придонном слое озер Белозеро и Долгозеро наблюдалось накопление CO_2 до 14,2–15,7 мг/л и дефицит кислорода до 83%, что связано с продукцией ОВ в водоеме и потреблением кислорода донными отложениями. В воде остальных озер концентрация CO_2 колебалась от 0,4 до 4,7 мг/л.

КАЧЕСТВО ВОДЫ

Несмотря на определенные различия в химическом составе воды озер Пудожского района, можно выделить некоторые отдельные их группы, имеющие близкие показатели качества воды.

По содержанию органических веществ и железа, или более точно по степени гумозности, могут быть выделены ультраолигогумозные озера (Светлое, Ливозеро, Галлиозеро, Аглимозеро, Бачанское), которые имеют очень светлую воду и практически до дна прозрачны. К этой группе светловодных озер относятся и олигогумозные с невысоким содержанием органических веществ и железа. Из числа обследованных к данной группе отнесено 16 озер, находящихся на водоразделе рек. Вода таких озер может быть использована для питьевых целей без какой-либо водоподготовки. В отличие от перечисленных имеются и озера с высоким содержанием ОВ и Fe, так называемые мезополигумозные. К ним относится большинство водоемов бассейна р. Илексы, Янгозеро и Татарское (всего 13 озер). Как правило, они являются высокопроточными и расположены на заболоченной территории. Их воды имеют коричневую окраску и для питьевых целей требуют определенной водоподготовки, прежде всего очистки от железа и органических веществ. К промежуточной группе (мезогумозных озер) отнесено 11 водоемов.

По величине щелочности воды, которой в определенной степени определяется и мине-

рализация, а также по величине pH могут быть выделены следующие группы озер:

1. Бесщелочностные (Alk = 0) кислые (pH < 5,5) – Мельничное I (1 озеро);

2. Низкощелочностные (Alk < 1,2 мг HCO_3^-/л) кислые слабокислые (pH < 6,0) – Чукозеро, Ливозеро и Аглимозеро (3 озера);

3. Слабощелочностные (Alk < 4,2 мг HCO_3^-/л) слабокислые (pH ≈ 6,0–6,5) – Чернивозеро, Икшозеро Малое, Светлое, Векхозеро, Столпозеро, Северное, Долгозеро, Ухтозеро, Новгудозеро (9 озер);

4. Среднещелочностные (Alk – 4,2–38,0 мг HCO_3^-/л) циркумнейтральные (pH ≈ 6,5–7,5) (29 озер);

5. Высокощелочностные (Alk > 38 мг HCO_3^-/л), слабощелочные (pH > 7,2) – Белозеро, Долгозеро, Перозеро, Верхнее Тамбичозеро и Нижнее Тамбичозеро (5 озер).

Таким образом, наиболее представительной является группа среднещелочностных вод с величиной минерализации от 10 до 40 мг/л, что достаточно типично для Карелии. В то же время в Пудожском районе находятся и озера, имеющие кислую и слабокислую реакцию среды (13 озер), и для этих водоемов характерна высокая доля атмосферного питания. Наиболее кислым является оз. Мельничное I, в котором отсутствуют гидрокарбонаты, а pH воды летом составляла всего 5,45 ед.

Наличие карбонатных пород на водосборе ряда озер обусловило их высокую щелочность и минерализацию воды и, как следствие этого, слабощелочную реакцию среды. Таких водоемов из числа обследованных пять.

При рассмотрении качества воды по различным группам веществ очень важной характеристикой служит содержание общего фосфора, от которого в первую очередь зависит продуктивность водоемов, т. е. насколько активно в них может протекать фотосинтез. Так, по содержанию этого элемента пудожские озера значительно превосходят другие озера Карелии. Обусловлено это геологическим строением территории и мелководностью озер, многие из которых как бы являются морфометрически эвтрофными. Если для светловодных озер в пределах неосвоенных территорий типичная картина в Карелии – наличие низкопродуктивных (олиготрофных) озер, то из числа обследованных в Пудожском районе таких практически нет, за исключением оз. Ухтозеро. И даже среднепродуктивных (мезогумозных) озер весьма мало (всего восемь), и все они находятся в верховье р. Тамбицы. Эти озера характеризуются незначительным водосбором. В то же время очень много высокопродуктивных (эвтрофных, высокоэвтрофных и даже гипертрофных) озер ($P_{общ}$ от 25 до 204 мкг/л). Из числа обследованных их количество достигает 30. В связи с кислым характером вод к ацидотрофным отнесены Мельничное, Ливозеро и Аглимозеро. Кислая реакция среды обусловливает незначительное развитие биоты и ее небольшое видовое разнообразие.

По совокупности химических показателей и пригодности озер для различных видов водопользования исследованные водные объекты могут быть отнесены к озерам с высоким качеством воды (2 озера – Светлое и Кердомозеро), с хорошим (23 озера), удовлетворительным (16 озер) и низким (5 озер). Показатели качества воды снижаются при увеличении гумусности (цветности), уровня трофии и при снижении щелочности воды и величины pH.

ГИДРОБИОЛОГИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ОЗЕР

Гидрохимия тесно связана с гидробиологией – наукой, изучающей растительные и животные организмы, которые развиваются и существуют как в водной массе, так и в донных отложениях.

Высшая водная растительность (макрофиты) на озерах развита в различной степени. На озерах северной части Пудожского района ею занято от 1–2% (Сямозеро, Аглимозеро) до 50–90% (Шальское, Карельское, Сяввозеро) от площади озера (Клюкина, 1970). Флора рассматриваемых водных объектов представлена 56 видами, относящимися к 20 семействам, 37 родам. Такие растения, как осока, хвощ, ежеголовник, тростник, камыш, кубышка, вахта, сабельник, гречиха и рдесты, распространены на большинстве озер, реже всех – ситняг и частуха. Редкими растениями являются ряска, люти к, лобелия, рогоз. Развитие водных растений определяется глубинами, донными отложениями, химическим составом воды, степенью защищенности от ветра и волнения. Вдоль скалистых и каменистых побережий макрофиты отсутствуют или представлены узкой полосой редких зарослей тростника, хвоща, осок, а на участках с хорошо выраженной литоралью они получают пышное развитие. Произрастают водные растения на глубинах до 3 м. В отдельных озерах (Бачанское, Ливозеро и др.) на дне встречаются заросли мхов, которые простираются на глубину до 8–9 м. В бассейне р. Илексы высшей водной растительностью заняты значительные площади озер.

Донная фауна (бентос) озер Пудожского района весьма разнообразна, что связано с различным содержанием ОВ, биогенных элементов, pH воды и донных отложений. В озерах с прозрачной водой, кислой реакции (pH < 6,0), бедной биогенными элементами и водной фауной (Бочанское, Аглимозеро, Векхозеро и др.), бентос довольно однообразный (преобладают хирономиды). Биомасса его от 0,29 в оз. Северном до 3,3 кг/га в оз. Ливозеро; численность бионтов низкая – от 0,44 до 6 млн. экз./га. Донная фауна большинства исследованных озер представлена личинками насекомых, червями, моллюсками. Средняя биомасса – около 40 кг/га (Янгозеро, Перозеро). Средняя плотность бентических организмов – около 3 млн. экз./га. Высокое развитие бентофауны в озерах Кодозеро и Чикшозеро

(75 и 238 кг/га соответственно). В этих водоемах плотность донных организмов достигала 119,4 млн. экз./га. Руководящей группой донной фауны являются хирономиды и личинки мотыля (Соколова, 1966). В донной фауне оз. Монастырского отмечено 56 видов и групп макрозообентоса, основными из которых являются виды, широко распространенные в большинстве озер Северо-Запада. Из отдельных групп донных животных разнообразна фауна насекомых, особенно хирономид (32 вида); также донная фауна представлена пиявками, мелкими моллюсками, клещами и ракообразными. Общая численность бентоса довольно высокая – 2,8 тыс. экз./м^2, но из-за небольших размеров организмов средняя биомасса составляла всего 0,5 г/м^2 (Вислянская и др., 1995б).

Состав фитопланктона в озерах бассейна р. Илексы определяли в основном представители трех групп водорослей – диатомовые, зеленые и синезеленые, они же участвовали в создании общей биомассы. Количественный уровень развития фитопланктона имел большой диапазон величин – от 0,4 до 16 г/м^3, а в оз. Чикшозеро биомасса составляла небывалую для карельских озер величину – 38 г/м^3 за счет массового развития диатомовых (Вислянская и др., 1995а, б).

Видовой состав зоопланктона в тех же водоемах также довольно разнообразен. Отмечено 49 видов и форм. По числу видов преобладают ветвистоусые рачки. Общая численность организмов составила от 51,5 тыс. экз./м^3 в оз. Мельничном I до более чем 5 млн. экз./м^3 в Чикшозере. Их общая биомасса в тех же озерах составила от 0,4 до 27 г/м^3 (Вислянская и др., 1995а, б).

Ихтиофауна озер восточного Прионежья представлена распространенными в карельских водоемах видами рыб (Вебер, 1970). В озерах обитают щука, плотва, лещ, налим, окунь, ерш. В отдельных озерах растет и размножается ряпушка (Рагнозеро, Сумозеро), обитает сиг (Купецкое, Шальское, Тягозеро, Рагнозеро, Рындозеро). В оз. Шальское могут заходить онежский лосось, сиг, судак. По материалам начала прошлого века в озера Тубозеро, Купецкое из Онежского озера подымался угорь.

Таким образом, в рассматриваемом гидрографическом районе расположены водоемы, различные как по гидрологическим характеристикам, так и по химическим и биологическим показателям. Отличительной особенностью многих водоемов Пудожского района является их мелководность и высокий уровень трофии по сравнению с другими районами Карелии. В ихтиофауне доминируют представители карповых и окуневых рыб, редко встречаются рыбы семейств сиговых и лососевых.

Приведенные сведения, хотя и достаточно краткие, надеемся, расширят ваши представления о водоемах и вызовут интерес к познанию природы Карелии.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

Биске Г. С. Четвертичные отложения и геоморфология Карелии. Петрозаводск, 1959. С. 255.

Васильева Е. П. Содержание биогенных элементов в донных отложениях озер северной части Пудожского района Карельской АССР // Тез. докл. XIII науч. конф. в Таллине. Тарту, 1966. С. 24.

Вебер Д. Г. О рыбах озер восточного Прионежья // Водные ресурсы Карелии и пути их использования. Петрозаводск, 1970. С. 173–184.

Вислянская И. Г., Куликова Т. П., Литвиненко А. В., Мартынова Н. Н. Современное состояние озерных экосистем бассейна р. Илексы // Природное и культурное наследие Водлозерского национального парка. Петрозаводск, 1995а. С. 97–117.

Вислянская И. Г., Куликова Т. П., Литвиненко А. В. и др. Лимнологическая характеристика оз. Монастырского // Там же. 1995б. С. 117–130.

Григорьев С. В., Грицевская Г. Л. Каталог озер Карелии. М.; Л., 1959. 330 с.

Клюкина Е. А. Геоботаническая характеристика озер восточного побережья Онежского озера // Водные ресурсы Карелии и пути их использования. Петрозаводск, 1970. С. 173–184.

Пирожкова Г. П. Химический состав природных вод бассейна Онежского озера // Притоки Онежского озера. Петрозаводск, 1990. С. 4–37.

Природное и культурное наследие Водлозерского национального парка. Петрозаводск, 1995. 245 с.

Романов А. А. О климате Карелии. Петрозаводск, 1961.

Рыбохозяйственное исследование озер Архангельской области. Озера Лузско-Носовской группы / Отчет А. М. Анухина № ГР 72046108. Инв. № Б 325317. СевНИИОРХ. Петрозаводск, 1973. 164 с.

Соколова В. А. Донная фауна малых озер Пудожского района Карельской АССР // Тез. докл. XIII науч. конф. в Таллине. Тарту, 1966. С. 169–170.

Фрейндлинг В. А. Гидрология водоемов восточного побережья Онежского озера // Водные ресурсы Карелии и пути их использования. Петрозаводск, 1970. С. 150–172.

Харкевич Н. С. Гидрохимическая характеристика и систематизация северной группы озер восточного Прионежья // Водные ресурсы Карелии и их использование. Петрозаводск, 1975. С. 5–56.

Водлозерское водохранилище и его биологические ресурсы

Л. П. Петрова

Самым крупным водоемом Пудожского района является Водлозерское водохранилище площадью 362 км². Оно отличается высокой рыбопродуктивностью, здесь вылавливается около 10% от общего количества пресноводной рыбы, добываемой в Республике Карелия. Водлозеро, всегда привлекавшее к себе внимание исследователей, хорошо изучено.

Первые упоминания о Водлозере встречаются в статьях И. С. Полякова (1873, 1881 гг.), где он описывает не только природный ландшафт Водлозерья, но и дает характеристику непосредственно водоему и рыбам, обитающим в нем. Кроме того, он рассматривает особенности рыбной ловли и рыболовного быта. В 1929 г. выходит публикация Б. П. Шишова о промысловом использовании Водлозера, в которой дается общее описание водоема, состав его рыбного населения и особенности рыболовства, а также сбыта и обработки рыбы. Авторы характеризуют Водлозеро как высокопродуктивный рыбопромысловый водоем, где добывается более 700 т рыбы. При этом главными объектами добычи здесь являлись снеток, ряпушка, окунь, ерш, плотва, лещ, щука.

В 1934 г. путем строительства плотины на реках Сухой Водле и Ваме Водлозеро было превращено в водохранилище для целей лесосплава. Первое рекогносцировочное обследование водоема в новом гидрологическом режиме было осуществлено Б. С. Лукашом в 1939 г. Значительных изменений в составе ихтиофауны и промысловом использовании водохранилища в первые годы его формирования автором не отмечено.

Наиболее всесторонние и последовательные исследования Водлозерского водохранилища стали осуществляться с 1959 г. Карельским отделением ГосНИОРХа (в настоящее время СевНИИРХ). В процессе исследований были определены гидрохимические, гидробиологические параметры водоема, изучена его ихтиофауна и особенности эксплуатации рыбных ресурсов (Гордеева-Перцева, Александров, Гуляева, Покровский, Урбан и др.).

В дальнейшем спектр исследований расширился. Наряду с решением узких, частных вопросов (Гордеева-Перцева, 1964; Гуляева, 1968; Поднебесникова, Троеглазова, 1972; Веденеев и др., 1974; Анухина, 1979а, б; Петрова, Божко, 1979; Пухов, 1979; Бондаренко, 1981; Петрова, 1981, 1989; Сычев и др., 1984; Божко, Петрова, 1986), в 1979–1980 гг. проводилось комплексное обследование водоема. Материалы исследований в 1983 г. были опубликованы в сборнике «Водлозерское водохранилище». Авторами подробно характеризовались природные условия водоема (Семенов, Новосельцев, Бондаренко), его биологическая продуктивность (Легович, Новосельцев и др.), особенности ихтиофауны и рыбохозяйственного использования (Анухина). В дальнейшем исследования на Водлозере ограничивались работами СевНИИРХа, выполняемыми в рамках рыбохозяйственных хоздоговорных тем.

После образования НП «Водлозерский» водохранилище вошло в состав его территории. В 1990-х гг. Национальным парком было профинансировано ряд исследований, направленных на изучение состояния отдельных ценных видов ихтиоценоза и разработку мероприятий по их сохранению (Петрова, 1992, 1993а, б; Мальберг, 1997; Петрова, Бабий, 1997, 1999, 2000, 2001; Бабий и др., 1999).

ПРИРОДНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ВОДОЕМА

Водлозеро, превращенное с 1934 г. в водохранилище в целях лесосплава по р. Водле, расположено на юго-востоке Республики Карелия, между 62°10′ и 62°29′ с. ш., 36°45′ и 37°08′ в. д. Административно водоем принадлежит территории Пудожского района и входит в состав Национального парка «Водлозерский». На рис. 1 схематично показано расположение Водлозера по отношению к наиболее крупным водоемам региона: Белому морю, Онежскому озеру, Выгозерскому водохранилищу, а также его местонахождение на территории парка.



Р и с. 1. СХЕМА РАСПОЛОЖЕНИЯ ВОДЛОЗЕРСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА В РЕГИОНЕ

Площадь водосбора Водлозерского водохранилища составляет 5299 км² (Литинская, 1976), 68% относится к Архангельской области, остальное – к территории Карелии.

Бассейн расположен в зоне средней тайги. Крайнюю северную его часть занимает кряж Ветреный Пояс, сложенный кристаллическими породами докембрийского возраста. Отсюда берет начало главный приток Водлозера – р. Илекса, которая является первым звеном озерно-речной системы Невы. В среднем и частично нижнем течении р. Илексы находится холмистая часть Тунгудо-Выгозерской равнины. Она сложена четвертичными отложениями (глины, суглинки, пески) мощностью до 120–160 м. Южная часть водосбора, прилегающая к водохранилищу, сохраняет равнинный характер, она также сформирована на основе четвертичных отложений большой мощности и имеет высокую заболоченность (Бискэ, 1959). Общая озерность бассейна (включая само Водлозеро) – 9,5%; густота речной сети – 0,32 км на 1 км² водосбора; заболоченность – в среднем 30%. Значительные площади (порядка 65%) заняты лесами (рис. 2).

Водлозерское водохранилище относится к водной системе р. Водлы – самого крупного притока Онежского озера. Его площадь по разным источникам – 370 км² (Основные положения.., 1966) или 358 км² (Семенов и др., 1983). По данным, полученным на основе экстраполяции батиграфической кривой, этот показатель равен 362 км² (Литвиненко, 2002). Перечисленные значения относятся к отметке нормального подпорного уровня (НПУ), равного 138,34 м БС. Показатель, приводимый в справочниках Гидрометеослужбы (например, Государственный водный кадастр.., 1986), – 322 км² – относится к так называемому среднему меженному уровню – 136,5 м БС. К этой же отметке, вероятно, привязана и батиметрическая карта оз. Водлозеро (Ресурсы поверхностных вод.., 1972). Следует отметить, что данная карта составлена достаточно давно и в значительной степени устарела, так как процессы переработки озерной котловины идут весьма интенсивно. Объем водной массы при НПУ, согласно экстраполяции объемной кривой, составляет 1100 млн. м³ (Литвиненко, 2002).

Площадь зеркала озера существенно колеблется в условиях амплитуды уровня порядка 3 м (последние годы – 2 м). Озеро овальной формы с далеко вдающимися в него мысами, особенно в южной и восточной его частях. На озере насчитывается 196 островов общей площадью 34 км² (Ресурсы поверхностных вод.., 1972). Морфометрически выделяются три плеса. В центральном плесе две впадины: Кильдинская глубь с глубинами до 12,5 м в восточной части и у о. Пелгостров – с максимальной глубиной 16,3 м. Здесь же по западному побережью и на северо-западе плеса расположены обширные мелководья, переходящие к центру в группу островов. В северном плесе преобладают глубины 4 м, а зона 0–2 м занимает 48% зеркала.

Морфологический тип котловины Водлозера – овально-лопастной, генетический тип – ледниковый (Литинская, 1976).

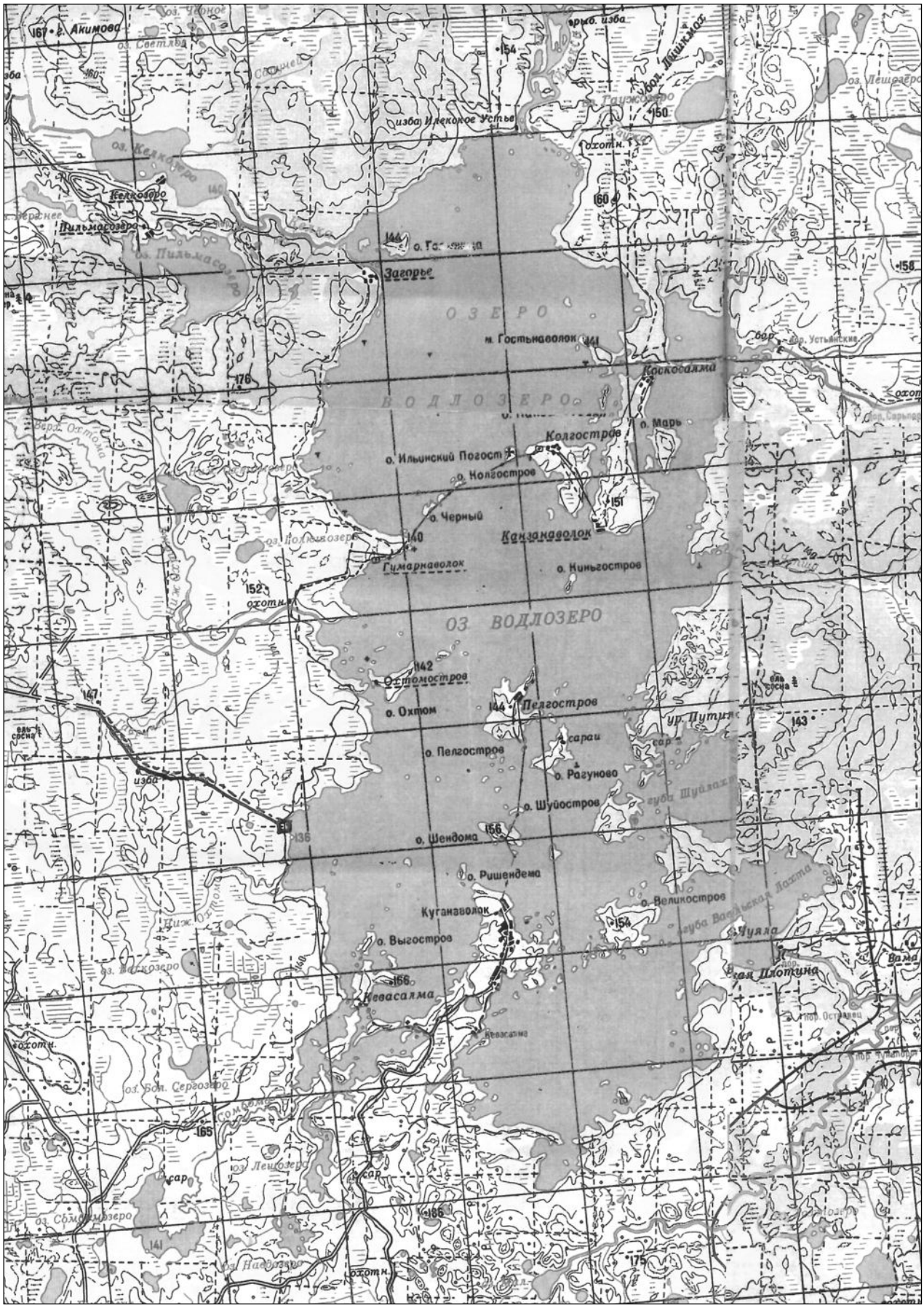
В западной и северной частях водоема преобладают низкие берега, для восточных на всем протяжении характерны высокие и обрывистые берега. Наиболее распространена каменистая прибойная литораль, песчаная развита преимущественно по западному берегу. Рельеф дна особенно сложен в южной половине водоема. В профундали преобладают илистые грунты.

Главный приток Водлозера – р. Илекса – дренирует около 75% его водосборной площади, обеспечивая до 73% притока вод. Остальные притоки относятся к категории малых по размеру и водности.

Водлозеро – неглубокий проточный водоем с показателем условного водообмена в среднем 1,4–1,9. Температура воды на различных глубинах изменяется незначительно и во многом определяется годовым ходом температуры воздуха. В летнем ходе наблюдается один максимум (июль), равный 18 °С. Переход температуры воды через 4 °С отмечается в среднем 17 мая, через 10 °С – 6 июня. Для периода открытой воды характерно преобладание гомотермии. В прибрежной зоне температура воды, в связи с небольшой теплоемкостью, испытывает резкие колебания и тесно связана с температурой воздуха. Осенний переход через 4 °С происходит во второй половине сентября. Продолжительность вегетационного периода в водохранилище составляет 4 месяца (Семенов и др., 1983).

Ледостав наступает в начале ноября. Его средняя продолжительность составляет 179 дней и колеблется от 145 до 206 дней. Толщина льда достигает 100 см (в среднем 55–69 см). В период ледостава наблюдается обратная термическая стратификация. Придонные слои воды имеют температуру 1,0–2,7 °С (Семенов и др., 1983).

В естественном состоянии Водлозеро имело бифуркальный сток в реки Сухую Водлу и Ваму, которые, сливаясь, образуют р. Водлу. Гидрологический режим Водлозера и р. Водлы трансформирован с 1934 г. вследствие регулирования стока плотинами на реках Сухой Водле и Ваме. Образовано водохранилище сезонного регулирования с проектным полезным объемом 550 млн. м³ при НПУ 138,34 м и УМО 136,82 м БС (с 1980 г. – 136,22 м БС). В настоящее время плотина на р. Сухой Водле формально закрыта для попусков, а Вамская – рассчитана на изменение уровня от 136,2 до 138,8 м БС со стоком 1703 млн. м³ в год при среднем расходе 54,2 м³/с. Проектные колебания уровня в верхнем бьефе – 2,12 м, в нижнем – 1,80 м, максимальный расход – 316 м³/с, минимальный – 12 м³/с.



Р и с. 2. ВОДЛОЗЕРСКОЕ ВОДОХРАНИЛИЩЕ

Основное назначение водохранилища – накопление избыточной воды во время весеннего паводка, регулирование попусков в летний период (из условий рабочего расхода в р. Водле – 145 м^3/с) и зимне-предпаводковая сработка уровня для принятия паводка, объем которого составляет до 47% от годового притока. Наполнение водохранилища начинается в конце апреля и продолжается до июня с интенсивностью подъема уровня до 20 см/сут. Период спада занимает гораздо больший промежуток времени и нередко затягивается до конца сентября, имеет плавный характер, нарушаемый кратковременными дождевыми паводками.

В целом следует считать, что гидрологический режим водохранилища установился, но характеризуется аномально высокими колебаниями уровня воды, изменением гидрографа стока (сдвиг времени фаз водности, ускоренные вынужденные сработки) и локальными разрушениями берегов с переформированием рельефа дна. Полная амплитуда колебаний уровня составила 308 см, средняя многолетняя – 205 см.

Экологическая ситуация в бассейне Водлозера относительно стабильна и благополучна. Окружающий ландшафт слабо освоен человеком и близок к естественному. Влияние загрязнений, переносимых воздушным путем, спорадично. Водные массы Водлозера благодаря хорошей проточности характеризуются как «чистые» и локально «умеренно загрязненные» за счет начального антропогенного эвтрофирования.

ГИДРОХИМИЧЕСКИЙ РЕЖИМ

Гидрохимический режим Водлозерского водохранилища формируется главным образом под влиянием приточных вод рек Илексы, Келки и Охтомы, а также внутренней нагрузки – за счет физико-химических и биологических процессов, протекающих в водоеме. За последние 40 лет не прослеживается каких-либо существенных отклонений в газовом составе и химии воды водохранилища (табл. 1). Устойчивые во времени химические показатели свидетельствуют о том, что в водоеме сбалансированы лимнологические и биохимические процессы формирования химического состава вод.

По минеральному составу воды Водлозера относятся к слабоминерализованным гидрокарбонатного класса, группы кальция. Минерализация воды в течение года изменяется от 30 (конец зимней межени) до 20 (весеннее половодье) мг/л. Слабая изменчивость характерна для минерализации также в пространственном и многолетнем отношениях. Несколько более низкие показатели суммы ионов имеют воды северного плеса, находящиеся под непосредственным влиянием вод рек Илексы и Келки.

В солевом составе во все сезоны преобладают гидрокарбонаты (6,4–17,8 мг/л) и кальций (3,1–4,7 мг/л). Сульфатные ионы составляют в среднем 5,8–6,3 мг/л (Бабий, 1998). Биогенные элементы (азот и фосфор) содержатся в низких концентрациях.

В сезонной динамике соединений железа наблюдается тенденция к уменьшению их концентраций от весны к осени, что обусловлено неравномерностью влияния речного притока, в частности вод р. Илексы, содержание железа в которой постоянно выше, чем в Водлозере. Большая часть сезонных колебаний других показателей гидрохимического состава воды Водлозера (цветность, pH, содержание гидрокарбонатов, сульфатов, хлоридов, магния, калия, натрия) связана главным образом именно с динамикой речного стока.

Составляющие газового комплекса – растворенный кислород и свободная углекислота – в воде водохранилища подвержены малой сезонной изменчивости (Семенов и др., 1983).

ЗООПЛАНКТОН

В составе зоопланктона Водлозера (Гордеева-Перцева и др., 1959) отмечалось 25 форм рачкового планктона, из которых *Cladocera* – 18, *Cyclopoida* – 4, *Calanoida* – 3. Руководящий комплекс рачков складывался из *Diaphanosoma*

Таблица 1

ДИНАМИКА ХИМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ВОДНЫХ МАСС ВОДЛОЗЕРА (ДАННЫЕ ДЛЯ ВЕГЕТАЦИОННОГО СЕЗОНА) (Бабий, 1998)

Характеристики	1955	1974	1976	1993	1995
Конц. O_2, мг/л	8–9	6,6–10,9	7,9–10,4	8,3–10,0	7,5–9,9
	6,8–4,6	5,0–11,0	–	–	–
pH	6,8–7,4	–	6,7–7,3	6,5–7,1	6,5–6,8
	6,4–7,0		–	–	–
Прозрачность, м	1,5–2,0	–	–	–	–
Цветность, град.	48–100	62–98	–	77–94	56–103
Перманганатная окисляемость, мг O/л	15–23	9,5–19,8	17–20	12,5–19,1	11,5–15,3
	–	–	–	–	–
$БПК_5$, мг O/л	–	–	–	1,07–1,32	0,6–2,1
Азот аммон., мг N/л	–	0,26–0,38	0,17–0,24	0,26–0,46	0,08–0,18
Фосфор минер., мг P/л	0,005	0,007	0,006	0,003	0,005
Железо общ., мг/л	–	–	0,37	0,67	0,51
$\Sigma_и$, мг/л	27,2	24,1	25,0	22,4	24,4

Примечание. В числителе – показатели поверхностного слоя воды, в знаменателе – придонного.

brachiyrum, *Daphnia cristata*, *Bosmina coregoni*, *Chydorus sphaericus*, *Mesocyclops leuckarti*, *M. oithonoides*. Исследования, проведенные в 1974–1977 гг., не выявили существенных изменений в видовом составе зоопланктона. Однако были получены дополнительные данные по составу коловраток. К настоящему времени для Водлозерского водохранилища известно 36 видов низших ракообразных и коловраток (Новосельцев, 1983). Из них 20 видов кладоцер, 7 видов копепод и 7 видов коловраток. Ведущая роль в составе рачкового планктона принадлежит *Daphnia cristata*, *Bosmina obtusirostris*, *B. coregoni*, *Chydorus sphaericus*, *Holopedium gibberum*, *Mesocyclops leuckarti*, *M. oithonoides*, *Eudiaptomus gracilis*, из коловраток *Asplanchna*, *Kellicottia*. Зоопланктон Водлозера имеет довольно высокие количественные показатели. Так, в 1974 г. средняя летняя численность зоопланктона изменялась от 22 до 52 тыс. экз./м^3, биомасса – от 0,36 до 1,0 г/м^3; в 1975 г. – 40,3–97,06 тыс. экз./м^3 и 0,83–3,9 г/м^3 соответственно. Принимая во внимание материалы анализа количественного развития зоопланктона и данных гидролого-гидрохимических исследований в водохранилище, можно выделить три района. Данные по отдельным районам приведены в табл. 2.

Таблица 2

СРЕДНЯЯ ЧИСЛЕННОСТЬ И БИОМАССА ЗООПЛАНКТОНА ОСНОВНЫХ РАЙОНОВ ВОДЛОЗЕРСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА ПО ГОДАМ

Район	1975		1976		1977	
	N	B	N	B	N	B
Северный	26,5	0,406	38,5	0,164	28,25	0,281
Центральный	30,66	0,577	59,2	0,662	16,66	0,643
Южный	50,13	0,984	67,7	0,824	86,6	1,043
По озеру	107,29	1,967	157,4	1,62	131,66	1,456

Примечание. Здесь и в табл. 3–4: N – численность, тыс. экз./м^3, B – биомасса, г/м^3.

Водлозеро характеризуется большим количеством прибрежных мелководий и мелководий над лудами, которые подвержены значительным воздействиям ветрового перемешивания и взмучиванию донных отложений. В этой водной массе (условно 0–4 м) средняя численность зоопланктона колеблется от 30,6 до 57,5 тыс. экз./м^3 (биомасса от 0,46 до 1,6 г/м^3). В качественном составе в целом по водоему по массе преобладают кладоцеры.

Проведенные исследования в последующие годы позволяют считать, что видовой состав зоопланктона и его количественные показатели являются стабильными.

ЗООБЕНТОС

По данным Л. И. Гордеевой-Перцевой (Гордеева-Перцева и др., 1959; Гордеева-Перцева, 1964), ведущее место в составе бентофауны водоема принадлежит личинкам хирономид, которые встречались повсеместно на всех глубинах и типах грунтов. Из червей широко распространены олигохеты, из моллюсков – брюхоногие, тяготеющие к прибрежным участкам, и двустворчатые моллюски, приуроченные к открытым участкам. Ракообразные представлены палласеей, гаммарусом и ракушковыми рачками (*Ostracoda*). Из других групп бентоса широко распространены водные клещи. Рассматривая данные по зообентосу, полученные в разные годы наблюдений, следует отметить отсутствие существенных изменений как в качественном составе, так и в количественном развитии. Широко распространены личинки хирономид, среди которых заметно выделяются крупные хирономусы (*Chironomus f. l. plumosus*, *Ch. f. l. semireductus*), а также хищные *Procladius*, *Ablabesmia*, *Cryptochironomus*. Другой часто встречающейся группой являются двустворчатые моллюски *Pisidium*. Данные количественного развития отдельных групп приводятся в табл. 3, 4.

Таблица 3

КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ РАЗВИТИЯ ЗООБЕНТОСА В ВОДЛОЗЕРСКОМ ВОДОХРАНИЛИЩЕ ЗА ВЕГЕТАЦИОННЫЙ ПЕРИОД (ИЮНЬ – ОКТЯБРЬ) ПО ГОДАМ

Группа бентоса	1974		1975		1976		1977	
	N	B	N	B	N	B	N	B
Хирономиды	0,64	2,65	0,55	2,48	0,94	3,57	0,3	4,65
Пизидиумы	0,1	0,3	0,07	0,19	0,18	0,39	0,02	0,13
Олигохеты	0,02	0,03	0,04	0,07	0,14	0,16	0,04	0,05
Остальные	0,04	0,04	0,05	0,08	0,24	0,2	0,02	0,56
По озеру	0,8	3,22	0,71	2,82	1,5	4,32	0,38	5,38

Таблица 4

КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ЗООБЕНТОСА В РАЗЛИЧНЫХ РАЙОНАХ ВОДОХРАНИЛИЩА ПО ГОДАМ

Район	1954–1956		1974		1975		1977	
	N	B	N	B	N	B	N	B
Северный	0,7	2,5	0,6	3,0	0,5	1,8	0,5	9,5
Центральный	0,6	1,8	0,5	4,2	0,9	3,9	0,4	3,6
Южный	1,1	4,6	0,8	3,2	0,5	1,0	0,5	4,3

Распределение количественных показателей развития зообентоса в отдельных районах водохранилища в различные годы исследований неодинаково. Например, в 1977 г. наибольшая величина биомассы отмечена в северном районе, в то время как в предыдущие годы максимум наблюдался в других районах. Что касается обилия организмов, то этот показатель в разных районах не претерпевает значительных колебаний.

В целом по развитию кормовой базы для рыб Водлозерское водохранилище следует отнести к группе достаточно продуктивных водоемов северного региона. Присутствие в составе фауны крупных форм хирономид (рода *Chironomus*), разнообразие фауны личинок водных насекомых, высших ракообразных

(гаммаруса, палласеи), а также разнообразных моллюсков обусловливают высокую пищевую ценность бентофауны для рыб.

РЫБОПРОДУКТИВНОСТЬ

Водная система р. Водлы занимает пограничное положение на стыке фаун Балтийского и Белого морей и характеризуется молодостью биоты и разнообразием условий жизни для нее. В Водлозерском водохранилище отмечен 21 вид рыб; один из них – подкаменщик обыкновенный – занесен в Красную книгу России и четыре (озерный лосось, хариус, синец и пескарь) – в Красную книгу Карелии. В водоеме обитают также ценные и охраняемые виды рыб, к числу которых относятся сиг, ряпушка, судак, лещ и др. (табл. 5).

Мелководность Водлозера и обширная акватория благоприятствуют динамическому

Таблица 5

ВИДОВОЙ СОСТАВ ИХТИОФАУНЫ ВОДЛОЗЕРА

Отряд, семейство, вид	Характер пребывания вида	Относительное обилие вида	Предпочитаемое местообитание
Семейство Лососевые			
Озерный лосось* *Salmo salar morpha sebago* (Girad.)	Заходы	Редок	Река Вама
Сиг* *Coregonus lavaretus* L.	Встречается в промысловых уловах	Невысокая численность популяции	Водлозеро и его притоки
Ряпушка *Coregonus albula* L.	Промысловый вид	Многочисленна	Водлозеро
Семейство Хариусовые			
Хариус *Thymallus thymallus* L.	Указан для Водлозера	Редок	Притоки Водлозера
Семейство Корюшковые			
Корюшка европейская (снеток) *Osmerus eperlanus eperlanus morpha spirinchus* Pallas	Промысловый вид	Многочисленна	Водлозеро
Семейство Щуковые			
Щука *Esox lucius* L.	Промысловый вид	Многочисленна	Водлозеро и его притоки
Семество Карповые			
Лещ** *Abramis brama* (L.)	Промысловый вид	Многочислен	Водлозеро
Плотва *Rutilus rutilus* (L.)	Промысловый вид	Многочисленна	Водлозеро и его притоки
Язь *Leuciscus idus* (L.)	Вид второстепенного промыслового значения	Невысокая численность популяции	Водлозеро
Пескарь обыкновенный *Qobio qobio* (L.)	Непромысловый вид	Редок	Притоки Водлозера
Густера *Blicca Bjoerkna* (L.)	Вид второстепенного промыслового значения	Невысокая численность популяции	Водлозеро
Синец *Abramis ballerus* L.	Промысловый вид	Многочислен	Водлозеро
Елец *Leuciscus leuciscus* (L.)	Указан для Водлозера	Редок	Водлозеро
Уклея *Alburnus alburnus* (L.)	Вид второстепенного промыслового значения	Многочисленна	Водлозеро
Гольян речной *Phoxinus phoxinus* (L.)	Непромысловый вид	Многочислен	Притоки Водлозера
Семейство Тресковые			
Налим *Lota lota* (L.)	Промысловый вид	Многочислен	Водлозеро
Семейство Окуневые			
Окунь *Perca fluviatilis* L.	Промысловый вид	Многочислен	Водлозеро и его притоки
Судак** *Lucioperca lucioperca* (L.)	Промысловый вид	Многочислен	Водлозеро
Ерш *Acerina cernua* (L.)	Промысловый вид	Многочислен	Водлозеро
Семейство Бычковые, или Рогатковые			
Подкаменщик обыкновенный* *Cattus gobio* L.	Указан для Водлозера	Редок	Водлозеро
Семейство Вьюновые			
Голец усатый *Nemachilus barbatulus* (L.)	Указан для Водлозера	Редок	Водлозеро

Примечание. Значком «*» отмечены виды рыб, нуждающиеся в охране, «**» – виды рыб, промысел которых лимитирован.

перемешиванию всей водной толщи и ее хорошему прогреванию, а также обеспечению гидробионтов минеральными солями, биогенными элементами и легкорастворимыми органическими веществами на уровне выше среднего для рассматриваемого района. Водная система р. Водлы и формируемый под влиянием ее стока Шальский район Онежского озера относятся к основным рыбопромысловым районам республики. В общей сложности всеми видами лова здесь добывается до 1,5 тыс. т рыбы, а само Водлозеро традиционно характеризуется как самый продуктивный водоем в Карелии (Бабий, 1998). Рассчитанная на основе лимнологических и гидробиологических характеристик по методике С. П. Китаева (1994) ихтиомасса Водлозера равна 1030 т, или 55 кг/га. Промысловая часть ее (промысловый запас) оценивается в 720–750 т. Если принять усредненный P/B показатель для рыб Водлозера равным 0,38, то его рыбопродуктивность определяется в 21 кг/га, или порядка 700–720 т на озеро.

Определенная в 1970-е гг. биоэнергетическим методом шкалы Г. Г. Винберга (1968) продукция сообщества рыб равнялась 28 ккал/м^2 (28 кг/га), или 900 т на озеро, в том числе планктофаги – 1,2 ккал/м^2, бентофаги – 0,9 и хищные рыбы – 0,69 ккал/м^2. Последние потребляют 60% суммарной продукции рыб планкто- и бентофагов (Новосельцев, 1983).

Таким образом, величины рыбопродуктивности Водлозера по разным методам оценки сравнительно близки и колеблются от 21 до 28 кг/га (720–900 т для всего озера), т. е. возможный вылов рыбы на водоеме без ущерба рыбным ресурсам может составлять порядка 300 т в год.

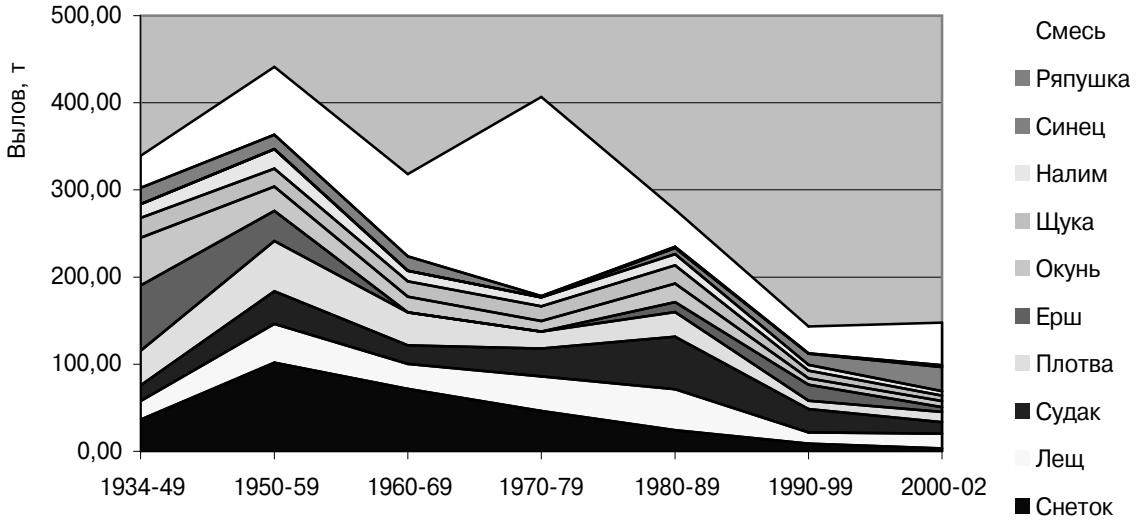
РЫБОПРОМЫСЛОВЫЙ ПОТЕНЦИАЛ И ЕГО ИСПОЛЬЗОВАНИЕ

К промысловым объектам на водохранилище относятся 10–11 видов при ведущей роли 5–6 наиболее массовых видов. В последние 50 лет такими рыбами являются лещ, судак, окунь, щука, снеток, синец. В любительском (потребительском) рыболовстве к перечисленным видам добавляются сиговые – сиг и ряпушка. Орудиями промыслового лова служат в настоящее время крупно- и мелкочастиковые мережи, заколы и ставные сети.

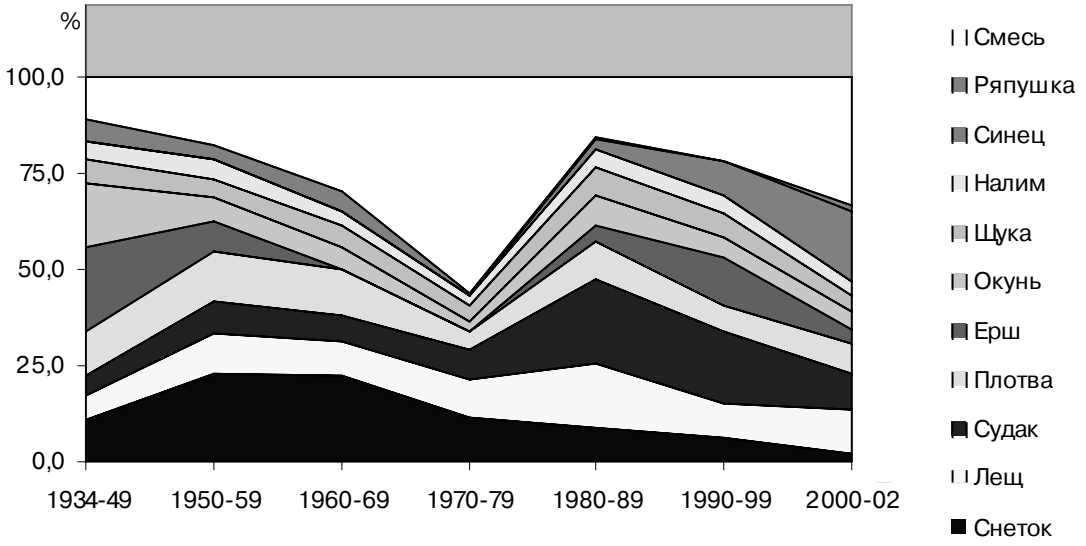
Рыбные запасы Водлозерского водохранилища со времени его образования интенсивно эксплуатировались. Если рассматривать динамику уловов организованных пользователей (промысловых бригад) в ретроспективном аспекте с момента преобразования озера в водохранилище, то достаточно четко видно, что первые годы его формирования характеризуются высокими уловами рыбы (рис. 3). Максимальной величины они достигали в 1950-е гг., когда средняя годовая величина составляла 433 т. Промысловая рыбопродукция превышала 12 кг/га. С 1980-х гг. намечается тенденция к снижению объемов вылова рыбы на водоеме, что обусловлено не только качественными и количественными изменениями состояния рыбных ресурсов, но и особенностями их промысловой эксплуатации (использование однотипных орудий лова, целенаправленность вылова на добычу ценных видов рыб, постепенное ослабление контроля за выловом и т. д.).

Анализ промысловой эксплуатации рыбных ресурсов водохранилища показал, что в последние годы на водоеме активизировался любительский сетной лов рыбы. Объемы его добычи приближаются к промышленным, а по некоторым ценным видам рыб превышают их (Петрова, 2000). Объем вылова рыбы на водоеме всеми пользователями в настоящее время составляет порядка 200–250 т.

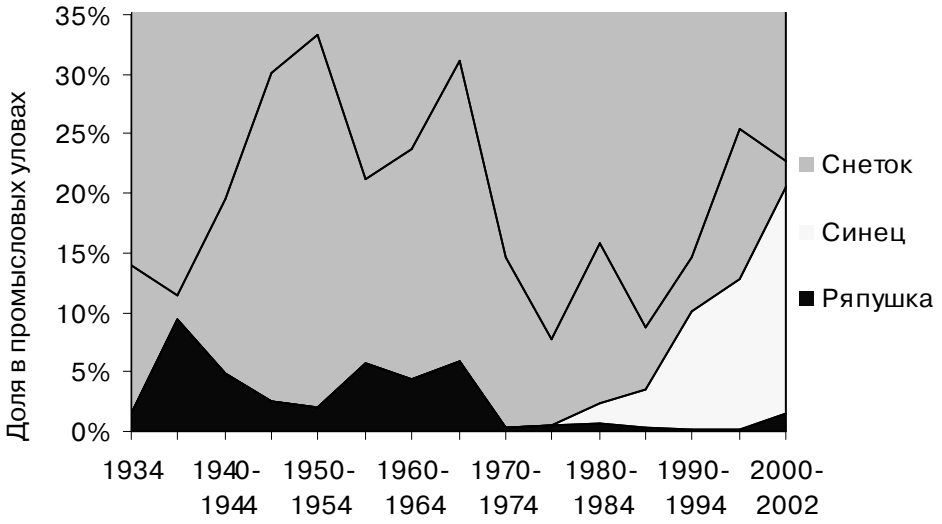
В период работы водохранилища в регулируемом уровенном режиме происходили существенные изменения в структуре его ихтиоценоза, о чем свидетельствует многолетняя динамика относительного состава промысловых уловов (рис. 4).



Р и с. 3. ДИНАМИКА УЛОВОВ РЫБЫ В ВОДЛОЗЕРСКОМ ВОДОХРАНИЛИЩЕ с 1934 по 2002 г.



Р и с. 4. ОТНОСИТЕЛЬНЫЙ СОСТАВ УЛОВОВ РЫБЫ В ВОДЛОЗЕРСКОМ ВОДОХРАНИЛИЩЕ с 1934 по 2002 г.



Р и с. 5. ДИНАМИКА ОТНОСИТЕЛЬНЫХ УЛОВОВ СНЕТКА, СИНЦА И РЯПУШКИ ЗА ПЕРИОД СУЩЕСТВОВАНИЯ ВОДЛОЗЕРСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

По ресурсной значимости в многолетнем аспекте доминирующие в ихтиоценозе виды рыб располагались следующим образом: снеток – лещ – судак – окунь – щука – налим. Данная группа видов определяла биолимнологическую особенность водохранилища и характеристику ихтиоценоза. Это средняя диспозиция, которая в отдельные периоды подвергалась значительным изменениям. Так, в 1980-е гг. вышел из доминирующих промысловых объектов снеток, в то же время стала быстро возрастать промысловая роль синца.

По мере формирования ихтиоценоза водохранилища сокращалась величина уловов ряпушки. В конце 1980-х гг. максимальной величины достигли уловы судака. Объемы вылова леща до 1990-х гг. были сравнительно стабильны, в последующие же годы наблюдалось их снижение. Остальные виды – щука, плотва, налим и др. – имели относительно устойчивую тенденцию на стабильность величины уловов.

В настоящее время в структуре ихтиоценоза изменилась ресурсная значимость отдельных видов рыб. В 1990-х гг. в уловах преобладал судак. В последние два года доминирующее положение в промысле стал занимать синец. Так, в 2001 г. его доля в уловах организованных пользователей составляла 18%, в 2002 г. – 24%. При этом роль снетка и ряпушки в уловах была минимальна (менее 1%). Возможно, одной из причин резкого возрастания численности синца является хорошая кормовая база зоопланктона и сокращение численности его пищевых конкурентов – рыб-планктонофагов: снетка и ряпушки (рис. 4, 5).

Следует также отметить, что для синца по сравнению с другими весенненерестующими видами рыб, которые, как и синец, откладывают икру на прибрежную растительность, складываются более благоприятные условия и в период размножения. Например, до весенне-летнего спуска воды в водохранилище личинки синца успевают выклюнуться и окрепнуть. В то же время личинки такого ценного вида, как лещ, нерест которого происходит в более поздние сроки, в отдельные годы оказываются изолированными от водоема и погибают (Бабий и др., 1999).

Основная же ресурсная роль в сообществе рыб Водлозерского водохранилища принадлежала и принадлежит представителям более южных по происхождению фаунистических комплексов. Это является особенностью водоема. Виды северного, арктического комплекса в изначально менее благоприятных и затем трансформированных условиях лимнологического режима Водлозера не выдерживают конкуренции с другими комплексами, и их численность не может быть высокой. Это прежде всего относится к сигу и ряпушке. Для снетка как экологической форме, более адаптированной к условиям эвтрофированного водоема в силу его короткоцикличности, характерны периоды спада и подъема численности, биомассы, а соответственно и промыслового запаса.

Если абиотические характеристики и экологическая ситуация в процессе функционирования Водлозера в режиме водохранилища были относительно стабильны, то величина и структура уловов рыбы подвергались значительным изменениям. Несмотря на то что здесь складывались благоприятные условия существования биоты, о чем, в частности, свидетельствуют показатели планктона, бентоса, в водоеме наблюдались снижение рыбопродуктивности и перестройка ихтиоценоза в сторону увеличения в нем рыб южных фаунистических комплексов.

Основным фактором негативного воздействия на среду обитания биоты в водоеме являлись неестественные колебания уровня воды, которые создавали прежде всего неблагоприятные условия для нереста и зимовки рыбы. Кроме того, в существующей социально-экономической ситуации отрицательное воздействие на ихтиофауну водоема оказывал интенсивный, слабо поддающийся контролю промысел рыбы.

Рыба как интегральный индикатор всех звеньев экосистемы наиболее наглядно свидетельствует о происходящих в водоеме изменениях и служит наиболее доступным материалом для проведения исследований и оценки экологической ситуации на водоеме. Поэтому на водоемах необходимы ежегодные систематические наблюдения за состоянием популяций основных видов ихтиоценоза в рамках мониторинга их биологических параметров и численности, а также контроль за промысловой эксплуатацией запасов рыб в водоеме. Наиболее актуально ведение мониторинга на водоемах, расположенных на охраняемых территориях, к числу которых и относится Водлозерское водохранилище.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

Анухина А. М. Годовая динамика численности и продукционные возможности леща Водлозерского водохранилища // Тез. докл. республ. конф. по проблемам рыбохоз. исслед. внутр. водоемов Карелии. Петрозаводск, 1979а. С. 63–64.

Анухина А. М. Структура популяций основных рыб Водлозерского водохранилища // Изучение и освоение водоемов Прибалтики и Белоруссии: Тез. докл. XX науч. конф. Т. I. Рига, 1979б. С. 55–57.

Анухина А. М. Рыбопромысловое использование водохранилища // Водлозерское водохранилище: Сб. науч. тр. СеврыбНИИпроект. Мурманск, 1983. С. 89–101.

Бабий А. А. Изучение особенностей функционирования водных экосистем Европейского Севера и разработка научных основ их комплексного использования. Кн. 3 // Рукописный фонд СевНИИРХ. Петрозаводск, 1998. С. 11–19.

Бабий А. А., Петрова Л. П., Веденеев В. П. Биопродукционное состояние популяции синца (Abramis ballerus) Водлозерского водохранилища // Биологические ресурсы Белого моря и внутренних водоемов Европейского Севера. Петрозаводск, 1999. С. 69–77.

Бискэ Г. С. Четвертичные отложения и геоморфология Карелии. Петрозаводск, 1959. 307 с.

Божко А. М., Петрова Г. А. Внутрипопуляционная изменчивость морфофизиологических признаков леща оз. Водлозеро // V съезд ВГБО (Тольятти, 15–19 сент. 1986 г.). Тез. докл. Куйбышев, 1986. Ч. 2. С. 20–21.

Бондаренко В. А. Первичная продукция планктона Водлозерского водохранилища // Тез. докл. 2-й республ. конф. по проблемам рыбохоз. исслед. внутр. водоемов Карелии (24–26 марта 1981 г.). Петрозаводск, 1981.

Веденеев В. П., Поднебесникова А. Н., Троеглазова Р. С. К вопросу о состоянии промысла снетка Водлозера в условиях 1973 г. // 9-я сессия Ученого совета по проблеме «Биол. ресусы Белого моря и внутр. водоемов Европейского Севера», посвящ. 250-летию АН СССР: Тез. докл. Петрозаводск, 1974. С. 176.

Винберг Г. Г. Методы определения продуктивности водных животных. Минск, 1968. 246 с.

Водлозерское водохранилище / Сб. науч. тр. СеврыбНИИпроект. Мурманск, 1983. 106 с.

Гордеева-Перцева Л. И. Бентос Водлозера и использование его рыбами // Вопросы гидробиологии водоемов Карелии. Петрозаводск, 1964. С. 131–148.

Гордеева-Перцева Л. И., Гуляева А. М., Покровский В. В. и др. Оз. Водлозеро (водохранилище) // Озера Карелии. Природа, рыбы и рыбное хозяйство. Справочник. Петрозаводск, 1959. С. 135–151.

Гуляева А. М. Об использовании Водлозера и прилегающих к нему озер для товарного выращивания

пеляди // Тр. Карельск. отд. ГосНИОРХ. Т. 5, вып. 1. Петрозаводск, 1968. С. 362–369.

Китаев С. П. Ихтиомасса и рыбопродукция малых и средних озер разных природных зон. М., 1984. 207 с.

Литвиненко А. В. Оценка экологических и социальных последствий разрушения Вамского гидроузла // Рукописный фонд Ин-та водных проблем Севера КарНЦ РАН. Петрозаводск, 2002. С. 3.

Литинская К. Д. Режим уровней воды озер и водохранилищ Карелии. Л., 1976. 147 с.

Лукаш Б. С. Рекогносцировочное рыбохозяйственное исследование Водлозера // Рыбное хозяйство Карелии. Вып. 5. 1939. С. 121–148.

Малинов С. И. О биологии озерно-речного сига Водлозера // Материалы XVI конф. по изучению внутр. водоемов Прибалтики. Петрозаводск, 1971. С. 143–145.

Мальберг В. В. Морфофизиологическая изменчивость судака Водлозерского водохранилища // Вестник ПГУ. 1997. Т. 2.

Новосельцев Г. Е. Общая характеристика экосистемы Водлозерского водохранилища // Водлозерское водохранилище. Мурманск, 1983. С. 80–88.

Основные положения правил использования водных ресурсов Водлозерского водохранилища на р. Водле. М., 1966. 18 с.

Петрова Г. А. К морфологической характеристике леща Водлозера // Биологические ресурсы Белого моря и внутренних водоемов Европейского Севера. II сессия Ученого Совета: Тез. докл. Петрозаводск, 1981. С. 90–91.

Петрова Г. А. Возрастной состав и рост леща оз. Водлозера // Биологические ресурсы внутренних водоемов и их использование. Петрозаводск, 1989. С. 94–102.

Петрова Г. А., Божко А. М. Возрастной состав и темп роста леща оз. Водлозера // Изучение и освоение водоемов Прибалтики и Белоруссии: Тез. докл. XX науч. конф. Т. I. Рига, 1979. С. 63–69.

Петрова Л. П. Аспекты использования ихтиофауны Водлозера: Отчет СевНИИРХ. Петрозаводск, 1992.

Петрова Л. П. Влияние уровенного режима на ихтиофауну Водлозерского водохранилища: Отчет СевНИИРХ. Петрозаводск, 1993а.

Петрова Л. П. Характеристика состояния и пути использования рыбных ресурсов водных экосистем НП «Водлозерский»: Отчет СевНИИРХ. Петрозаводск, 1993б.

Петрова Л. П. Оценка влияния любительского рыболовства на запасы рыб Водлозера // Рукописный фонд НП «Водлозерский». Петрозаводск, 2000. С. 34–35.

Петрова Л. П., Бабий А. А. Изменение видовой структуры промысловых видов рыб Водлозерского водохранилища (Карелия) и их причины // 1-й конгресс ихтиологов России. Астрахань, 1997.

Петрова Л. П., Бабий А. А. К организации мониторинга ихтиоценозов озерных экосистем // Новгородская лаборатория ГосНИОРХ (к 50-летию со дня основания). СПб., 1999.

Петрова Л. П., Бабий А. А. Ихтиофауна Водлозерского водохранилища и ее промысловое использование // Природное и историко-культурное наследие Северо-Запада России. Петрозаводск, 2000. С. 127–156.

Петрова Л. П., Бабий А. А. Водные экосистемы национального парка «Водлозерский» и их биота // Национальный парк «Водлозерский»: Природное разнообразие и культурное наследие. Петрозаводск, 2001. С. 71–85.

Поднебесникова А. Н., Троеглазова Р. С. Некоторые данные к биологии и промыслу снетка Водлозера // Тез. отчетной сессии Ученого Совета СевНИОРХА по итогам науч.-исслед. работы за 1971 г. Петрозаводск, 1972. С. 90–91.

Поляков И. С. Взгляд на экономическое состояние и современный быт жителей, в связи с природой и развитием культуры на Севере: Зап. ИРГО по отд. этнографии. 1873. Т. III // Три путешествия по Олонецкой губернии. Петрозаводск, 1991. С. 95–165.

Поляков И. С. Большие северно-русские озера: Живописная Россия. 1881. Т. I // Там же. С. 165–209.

Пухов В. А. Биологические особенности озерного сига Водлозера // Тез. докл. республ. конф. по проблемам рыбохоз. исслед. внутр. водоемов Карелии. Петрозаводск, 1979. С. 117–118.

Ресурсы поверхностных вод СССР. Гидрологическая изученность. Т. 2, ч. 2. Л., 1972. 279 с.

Семенов В. П., Новосельцев Г. Е., Бондаренко В. А. Физико-географическая характеристика, гидрологический и гидрохимический режим водохранилища // Водлозерское водохранилище. Мурманск, 1983. С. 3–25.

Смирнов Ю. А. О лососе р. Водлы // Сб. науч. тр. аспирантов и молодых специалистов ПГУ. Петрозаводск, 1967. С. 189–198.

Сычев А. Н., Кутузов А. М., Черепанова Н. С. Перспективы развития рыболовства на Водлозере // Проблемы рыбохоз. исслед. внутр. водоемов Северо-Запада европейской части СССР: Тез. докл. науч.-практ. конф. молодых ученых и специалистов. Петрозаводск, 1984. С. 79–81.

Шишов Б. П. Рыбный промысел Водлозера // Экономика и статистика Карелии: Орган Плановой Комиссии и Статистического Управления АКССР. Петрозаводск, 1929.

Экологические проблемы Сегежско-Надвоицкого промцентра

П. А. Лозовик

Сегежа и Надвоицы – это, соответственно, небольшой город и поселок в Карелии. Но как часто они были на слуху у всей общественности республики! Ставился даже вопрос о признании пос. Надвоицы районом экологического бедствия; а в Сегеже – с присущим ее воздуху характерным специфическим запахом сернистых органических соединений – дело доходило до массового замора рыбы в Северном Выгозере.

В чем же дело? С виду вроде бы «безобидные» производства: в пос. Надвоицы – производство алюминия, в Сегеже – сульфатная варка целлюлозы. Попробуем разобраться в сути проблемы и предложить некоторые возможные пути ее решения.

Для того чтобы прогнозировать экологические последствия того или иного производства, надо хорошо представлять используемые технологические процессы.

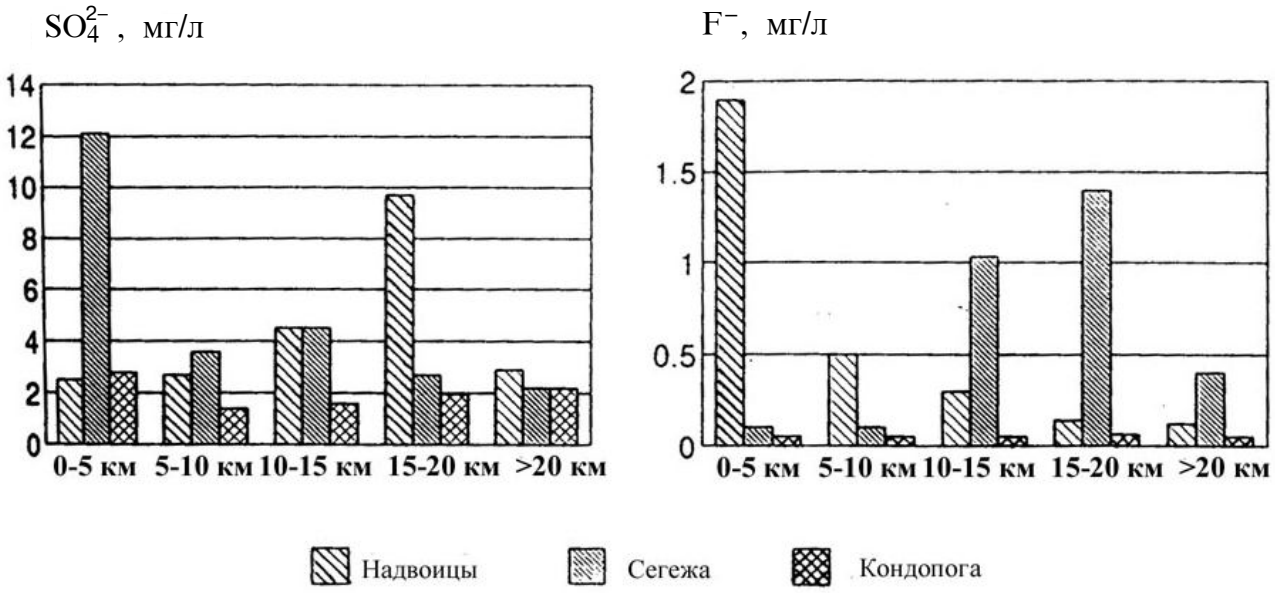
ПРОИЗВОДСТВО АЛЮМИНИЯ И ЗАГРЯЗНЕНИЕ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ФТОРИДАМИ

У несведущего человека возникает вопрос – при чем тут фториды? Ведь алюминий и фтор абсолютно не связаны друг с другом (алюминий входит в виде алюмосиликатов в глины, а не в полевой шпат, являющийся основным минералом фторидов!). Дело в том, что алюминий нельзя выделить из водных растворов его солей ни с помощью осаждения, ни электролизом, поскольку (и об этом знает каждый школьник, изучающий химию) он находится в электрохимическом ряду напряжений металлов, или ряду активности металлов, между щелочноземельными и переходными металлами. В то же время производство алюминия находится на втором месте после стали.

По распространенности в земной коре алюминий занимает третье место (8,8%) после кислорода и кремния. Больше всего его в алюмосиликатах, входящих в состав глин, которые мы хорошо знаем и постоянно встречаем в природе. Наиболее богаты алюминием минералы: бокситы $(NaK)_2SO_4Al_2(SO_4)_3 \cdot 4Al(OH)_3$, нефелин $(NaK)_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$, каолинит $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$. Название «бокситы» происходит от французской местности Le Boux, где впервые было обнаружено месторождение алюминиевых руд. Так вот, Надвоицкий алюминиевый завод (НАЗ) работает на бокситах, привозимых из разных мест России и зарубежных стран. Спрашивается, а зачем так далеко возить, если можно было бы выплавлять на месте? Оказывается, что потери электроэнергии при ее передаче потребителю окажутся значительно больше, чем средства, затрачиваемые на транспортировку сырья. Поэтому-то и строят заводы по производству алюминия вблизи источников электроэнергии. А рядом с Надвоицами находится Ондская ГЭС в пос. Каменный Бор. Теперь мы подошли и к обсуждению второго вопроса: для того чтобы выплавлять алюминий, необходимо большое количество электроэнергии. Дело в том, что процесс электролиза проводят в расплаве криолита, в котором растворяется Al_2O_3 при температуре около 1000°. А криолит – это фторсодержащий минерал $3NaF \cdot AlF_3$. Вот из него и берется фтор!

Когда мы говорим о загрязнении окружающей среды каким-либо заводом или фабрикой, необходимо учитывать три основных аспекта: загрязнение воздуха за счет газовых или пылевидных выбросов в атмосферу, загрязнение природных вод после их использования в технологическом процессе и загрязнение почв за счет отходов производства, вывозимых на свалки. Загрязнение атмосферного воздуха приведет к тому, что часть загрязняющих веществ с атмосферными осадками попадет на землю, в результате чего произойдет вторичное загрязнение почв и поверхностных вод. В Надвоицах мы имеем два фактора загрязнения: во-первых, загрязнение почв (в результате вывоза отходов электроплавильных печей), во-вторых, воздуха как следствие эмиссии веществ при электролизе алюминия. Конечным звеном этой цепи воздействия будет загрязнение поверхностных и подземных вод фторидами, что отчетливо и проявляется в районе Надвоиц. Причем, когда мы говорим о фторидах, необходимо еще помнить и о том, что фтор является жизненно необходимым (эссенциальным) элементом. Он входит в состав зубной эмали и костной ткани в виде CaF_2. Он нужен живым организмам (в том числе и человеческому организму), но в различных количествах. Дело в том, что при больших количествах фторидов вместо осаждения CaF_2 происходит обратный процесс – растворение в связи с образованием комплексного аниона: $CaF_2 + 2F^- \Rightarrow CaF_4^{2-}$. Высокие концентрации фторидов в атмосферном воздухе и питьевой воде могут привести не только к разрушению эмали и костной ткани, но и к повреждению роговицы глаз (заболеванию, именуемому флюороз). Такая картина наблюдалась в Надвоицах еще с 1980-х гг. У детей поселка в массовом масштабе отмечался кариес, у взрослого населения – нарушения в костных тканях.

Теперь давайте разберемся, в чем причины таких нежелательных последствий? Прежде всего, рассмотрим загрязнение воздуха через призму атмосферных осадков. Наглядное представление об этом дают сведения о составе снеговых и дождевых вод, отобранных по маршруту Надвоицы – Сегежа (рис. 1) (Lozovik, Basova, 1994). Наибольшее количество фтора в осадках отмечается в районе самого поселка, по мере удаления от него оно уменьшается. Но даже в самой Сегеже концентрация фторидов ощутима. Но что самое интересное – в озерах, водосборы которых никак не связаны с Надвоицами, также наблюдаются их повышенные концентрации. Например, в оз. Зимнем, где находятся дачи горожан Сегежи, в оз. Сюндозеро (расположено в 50 км на юго-восток от Надвоиц) концентрации фторидов достигали 0,4 и 0,2 мг/л, соответственно (Современное состояние.., 1998). Эти озера характеризуются небольшим водосбором и высокой долей атмосферной составляющей питания, в результате чего фториды и поступают в воду. Мало того, обследование озер бассейна р. Выга в 1991 г. с вертолета показало, что превышение фоновых



Р и с. 1. КОНЦЕНТРАЦИЯ СУЛЬФАТОВ И ФТОРИДОВ В АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКАХ (СНЕГ) В РАЗНЫХ РАЙОНАХ КАРЕЛИИ

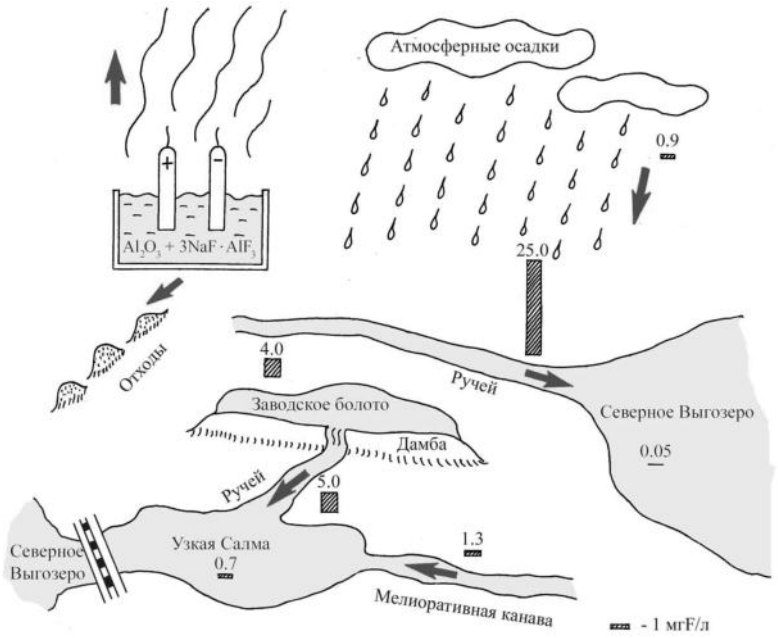
концентраций фторидов наблюдается в радиусе до 300 км (т. е. вплоть до Белого моря!). Теперь мы подошли к одной из особенностей поверхностных вод Карелии, а именно: наряду с низкой жесткостью наблюдается очень малое фоновое содержание фторидов (0,02–0,03 мг/л и менее). Это важное обстоятельство следует учитывать при организации питьевого водоснабжения населения. Так какую же воду пьют в Надвоицах?

В качестве источника централизованного водоснабжения используется небольшой залив Узкая Салма, отделенный от Северного Выгозера дамбой, по которой проходит Октябрьская железная дорога. По большинству химических показателей вода Северного Выгозера в районе порта Надвоицы, оз. Воицкого и залива Узкая Салма имеет близкие характеристики; исключение составляют фтор и натрий, концентрации которых наибольшие в заливе. Причина заключается в том, что на водосборную площадь залива вывозятся отходы электроплавильных печей НАЗа, из которых при взаимодействии с водой происходит выщелачивание ионов Na^+ и F^-. Наглядное представление о загрязнении поверхностных вод вблизи Надвоиц дает рис. 2.

Несмотря на то что основной загрязненный сток с водосборной площади направляется в Северное Выгозеро (в ручье концентрация фторидов достигает катастрофических величин 25 мг/л), можно говорить и о значительном загрязнении залива Узкая Салма.

Строительство железнодорожной дамбы, хотя она и сложена из крупных валунов, привело к ограничению водообмена с Северным Выгозером, но в то же время, как следствие этого, способствовало накоплению загрязнений в самом заливе, которые поступают с его водосборной площади и с атмосферными осадками. Здесь необходимо отметить, что на НАЗе проведен ряд мероприятий, способствовавших снижению загрязнения залива Узкая Салма фторидами, – реконструкция электроплавильных печей, ликвидация свалки в непосредственной близости от залива. Если ранее (в 1987 г.) по данным лаборатории НАЗа концентрация фторидов в заливе достигала 2,5 мг/л, то в настоящее время она составляет всего 0,75 мг/л. Удивительно, но по данным лаборатории гидрохимии и гидрогеологии Института водных проблем Севера КарНЦ РАН, которая проводит мониторинговые наблюдения с 1992 г., концентрации фторидов остаются неизменными из года в год – 0,75 мг/л, что в два раза ниже ныне существующей нормы для питьевой воды (1,5 мг/л)!

Здесь мы подошли к еще одной важной проблеме, а именно: является ли эта величина концентрации оптимальной при низкой жесткости воды, т. е. при небольшом содержании Ca^{2+} и Mg^{2+}? Выражая свое собственное мнение, отметим, что она, скорее, неблагоприятная. Дело в том, что ранее ПДК для фторидов была установлена в зависимости от климатических зон. Для II и III зоны, в которые входит и Карелия, ПДК составляла 1,5 мг/л, для I – арктической – 0,7 мг/л. Специфика поверхностных вод Карелии (низкие значения минерализации и жесткости) такова, что они по своему составу близки именно к водам арктической зоны. Поэтому целесообразнее ориентироваться на последнее значение, а не на первое. Кроме того, фторид-ионы образуют весьма устойчивые комплексные анионы не только с Ca, но и с Al – AlF_6^{3-}, концентрация которого аналитически вообще не контролируется.



Р и с. 2. ЗАГРЯЗНЕНИЕ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД ВБЛИЗИ ПОСЕЛКА НАДВОИЦЫ

Фториды будут полезны в том случае, когда в воде много кальция. Интересно отметить, что в некоторых регионах России, а также в ряде других стран применяется фторирование молока. Хотя правильнее было бы говорить о фторидировании, так как речь идет о добавках фторидов, а не фтора, в отличие от хлорирования воды, когда добавляется именно хлор. Фторирование молока – прекрасное решение проблемы, поскольку в молоке много Ca^{2+}, и польза от его фторирования намного больше, чем от фторирования воды. Надо, правда, заметить, что проблема фторирования воды в настоящее время в определенной степени снята в связи с наличием большого разнообразия фторсодержащих зубных паст.

Каково же решение проблемы питьевого водоснабжения пос. Надвоицы? Одним из вариантов может служить использование других источников водоснабжения. Было бы заманчиво вообще перейти на подземные источники. Но в районе пос. Надвоицы они тоже могут быть загрязнены фторидами или же содержать повышенные концентрации Fe, Mn, что очень часто наблюдается в Карелии. Низкофторидными являются воды Северного Выгозера и оз. Воицкого. В принципе они могут быть использованы для водоснабжения, но при этом требуется проведение определенной водоподготовки (очистка от органических веществ и железа). Могут использоваться и воды залива Узкая Салма, но для них тоже необходима аналогичная водоподготовка. Но, что очень важно, еще требуется и известкование, для того чтобы нивелировать повышенные концентрации фторидов. При этом будет найден определенный оптимум питьевой кондиции вод. Из исследований американских ученых известно, что низкое содержание Ca^{2+} в питьевой воде способствует возникновению сердечно-сосудистых заболеваний. Поэтому добавление извести принесет только пользу.

Проведение каких-либо мероприятий по восстановлению водосборной площади и уменьшению поступления фторидов не представляется, на наш взгляд, возможным, поэтому их обсуждение вряд ли имеет смысл. То же самое относится и к перспективе очистки воды от фторидов.

В заключение отметим, что зачастую «безобидные», на первый взгляд, производства, тем не менее, могут негативно влиять на здоровье человека. Решение проблемы питьевого водоснабжения пос. Надвоицы, как следует из всего сказанного, реально, и его необходимо проводить в жизнь. И это решение должно быть максимально осмысленным с точки зрения как экологии, так и экономики, но, главное, в основу его следует положить обеспечение безопасной жизнедеятельности человека.

ПРОИЗВОДСТВО ЦЕЛЛЮЛОЗЫ И ЗАГРЯЗНЕНИЕ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Прежде чем говорить о воздействии предприятий целлюлозно-бумажной промышленности на окружающую среду, необходимо вспомнить о самом процессе варки целлюлозы. Суть его сводится к тому, чтобы из древесины удалить лигнин – природный полимерный клей волокон целлюлозы, осуществить так называемую делигнификацию древесины. Поскольку природный лигнин нерастворим в воде, но хорошо растворяется в щелочных растворах, процесс варки проводят при высокой температуре, под давлением и с добавкой

щелочных реагентов: Na_2S и NaOH при сульфатной варке целлюлозы, $Ca(HSO_3)_2$ и $NaHSO_3$ – при сульфитной варке целлюлозы. В настоящее время в большинстве стран используется, в основном, сульфатный способ варки целлюлозы в связи с возможностью регенерации щелоков, в отличие от сульфитного. В Карелии сульфитным способом работает Кондопожский ЦБК, сульфатным – Сегежский ЦБК, Питкярантский ЦЗ и Ляскельский ЦБК. Бумага, получаемая из сульфатной целлюлозы, имеет коричневый оттенок, высокую прочность и широко используется в качестве упаковочного и тарного материала. Для того чтобы получить совсем белую бумагу, ее отбеливают химическими реагентами (Cl_2, гипохлоритом и другими активными окислителями). Но при этом возникает проблема загрязнения бумаги диоксинами – опасными химическими токсикантами, растворимыми в жирах. При сульфитной варке целлюлозы из еловой древесины получается светлая бумага, не требующая отбелки. В Карелии на ЦБК отбелка целлюлозы не используется вообще, хотя этот метод широко распространен во многих странах мира. После сульфатной варки целлюлозы ее отделяют от варочного щелока, и последний затем слегка упаривают. В результате летучие вещества удаляются из щелока в атмосферу, образуется сульфатное мыло, которое всплывает на поверхность. Его собирают, подкисляют серной кислотой и выделяют талловое масло, являющееся ценным химическим сырьем. Отсюда и название «сульфатный» способ варки, хотя правильнее было бы говорить «сульфидно-щелочной», так как основным компонентом является сульфид, а не сульфат натрия.

Остаточный щелок после отделения сульфатного мыла снова направляется в технологический процесс, часть его объединяется с водой таллового масла и идет на очистные сооружения. Благодаря регенерации щелоков удается повторно их использовать в технологическом процессе, чем и обеспечивается высокий показатель оборотного водоснабжения на комбинате (90%). В этом и состоит преимущество сульфатного способа варки целлюлозы по сравнению с сульфитным, в котором регенерация щелоков невозможна.

Вот так вкратце выглядит процесс варки целлюлозы на Сегежском ЦБК.

В процессе сульфатной варки целлюлозы происходит глубокая делигнификация древесины и переход лигнина в водорастворимый лигносульфонат (табл. 1). Но при этом из древесины извлекается очень много экстрактивных веществ (сахар, жирные и смоляные кислоты и т. д.), образуются побочные продукты и, прежде всего, летучие сернистые органические соединения (меркаптаны, сульфиды, дисульфиды и др.). Поэтому вблизи сульфатных целлюлозных заводов в воздухе стоит очень терпкий специфический запах сернистых соединений. Этот запах хорошо ощущается при

Таблица 1

СОСТАВ СУХОГО ОСТАТКА СУЛЬФАТНОГО ЧЕРНОГО ЩЕЛОКА ОТ ПЕРЕРАБОТКИ ДРЕВЕСНЫХ ХВОЙНЫХ ПОРОД (Справочник.., 1987, с. 166)

	% от абс. сух. в-ва при плотности щелока (кг · м $^{-3}$)			
	1270	1285	1086	1096
	Сегежский ЦБК		Питкярантский ЦЗ	
Na_2SO_4	3,66	3,70	3,90	4,41
Na_2CO_3	19,91	17,94	17,46	15,85
NaOH	0,39	0,43	1,23	2,02
Na_2S	0,52	0,44	2,94	2,08
NaCl	0,89	0,62	–	–
Na в составе орг. соединений	7,58	8,53	9,38	9,34
Лигнин	32,59	34,23	33,83	36,78
Целлюлоза (макс. примесь)	0,36	0,02	1,25	1,41
Смолы нейтральные	0,84	0,61	0,71	0,79
Жирные кислоты	1,68	1,52	0,90	1,16
Смоляные кислоты	1,59	1,98	1,71	1,10
HCOOH	2,13	2,57	3,90	4,84
CH_3COOH	2,07	0,54	0,71	–
Другие продукты	23,62	24,57	19,62	17,74

въезде в Сегежу. Местные жители к нему привыкли и практически не замечают. Приезжие же сразу реагируют. Надо добавить, что количество сернистых соединений в атмосфере невелико, однако человек может ощущать их присутствие уже при тысячных долях микрограмма.

Необходимо отметить, что при сульфитной варке целлюлозы дурно пахнущие сернистые соединения в таком количестве не образуются, и всего лишь из-за того, что применяются бисульфиты, а не сульфиды.

Особенностью любого способа варки целлюлозы является использование большого количества воды. Так, на производство одной тонны целлюлозы расходуется около 2000 м^3 воды. Вот почему все целлюлозные заводы построены вблизи крупных водных объектов. В настоящее время используются и термохимические способы получения целлюлозы, которые не требуют большого количества воды. Но они пока не получили широкого распространения.

В результате технологического процесса на целлюлозных заводах образуется большое количество сточных вод, несмотря на то, что оборотное водоснабжение (повторное использование воды) достигает 80% и более. Исходя из самого процесса варки целлюлозы, следует ожидать наличие в сточных водах большого количества органических соединений, наряду с сульфатом натрия. Действительно, химические анализы показывают, что в сточных водах сульфатных целлюлозных заводов содержится более тысячи органических соединений. Это, прежде всего, сульфатный лигнин, терпеновые углеводороды, сахара, соли смоляных кислот, фенолы, альдегидо-, кетофенолы, сернистые соединения и многие другие. Помимо «безобидных» веществ имеются и весьма токсичные, такие как меркаптан

CH_3-SH, CH_3-S-CH_3, тиофенолы, HOC_6H_4-OCH_3 и другие. Для того чтобы удалить органические вещества (ОВ) из воды, используют различные способы очистки и, прежде всего, биологический. В настоящее время применяется, в основном, аэробная (в присутствии кислорода) очистка сточных вод, хотя рассматриваются варианты и анаэробной (в отсутствие кислорода) очистки. Для очистки сточные воды закачивают в специальные аэротенки, содержащие активный ил (твердые частицы с большим количеством бактерий на них), через которые постоянно продувают воздух. Бактерии активного ила частично «выедают» ОВ из сточных вод и тем самым снижают их концентрацию в воде. Эффективность очистки оценивают по изменению концентрации ОВ до и после очистки и, самое главное, по уменьшению содержания биохимически легко окисляемого органического вещества. Для этого используется БПК-тест: изменение концентрации кислорода в сточной воде за определенный промежуток времени (одни, пять, семь или двадцать суток).

Особенностью аэробной очистки является то, что на очистные сооружения нельзя подавать концентрированные сточные воды (поскольку погибнет активный ил), в отличие от анаэробной очистки, где используются высоко концентрированные сточные воды, например, свиноводческих комплексов. Поскольку в сточных водах ЦБП большей частью содержатся биохимически стойкие ОВ, применение биологической очистки не эффективно. Но на сегодня это, в общем-то, основной способ очистки сточных вод на большинстве ЦБК. В связи с тем что неочищенные сточные воды ЦБК содержат небольшое количество питательных биогенных элементов (N и P), используются их добавки в виде неорганических солей. Кроме того, иногда промышленные и хозяйственно-бытовые сточные воды очищают совместно. В частности, таким образом осуществляется очистка сточных вод в Сегеже. В Кондопоге же промышленные и хозяйственно-бытовые сточные воды очищаются раздельно.

Итак, мы уже подошли вплотную к оценке воздействия ЦБК на окружающую среду. Основными факторами воздействия следует считать загрязнение воздушного бассейна газовыми и пылевидными выбросами из выпарных установок, загрязнение водных объектов в результате поступления сточных вод и загрязнение почв твердыми отходами (свалка лигнина, коры, осадков сточных вод и т. п.). Надо сказать, что твердые отходы (кору и лигнин) утилизируют сжиганием их в специальных печах в кипящем слое.

Состояние водных объектов вблизи Кондопоги детально рассмотрено в статье Т. М. Тимаковой. Здесь же мы более подробно остановимся на воздействии на окружающую среду Сегежского ЦБК.

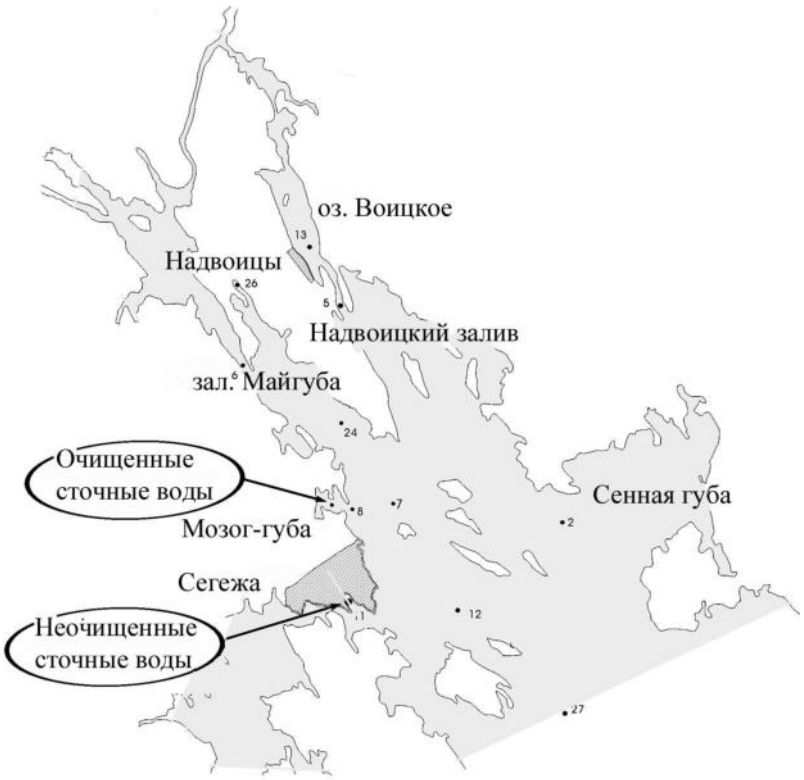
АНТРОПОГЕННОЕ ВЛИЯНИЕ СЕГЕЖСКОГО ЦБК НА СЕВЕРНОЕ ВЫГОЗЕРО И Р. НИЖНИЙ ВЫГ

Прежде чем рассматривать данный вопрос, немного истории. Сегежский ЦБК был построен в 1936–1938 гг. Первые опытные варки целлюлозы были проведены в ноябре 1938 г. Постепенно произошло наращивание мощности комбината, и уже к 1970-м гг. он стал одним из гигантов индустрии наравне с такими комбинатами, как Саломбальский и Архангельский. Всего на комбинате было введено в действие десять бумагоделательных машин.

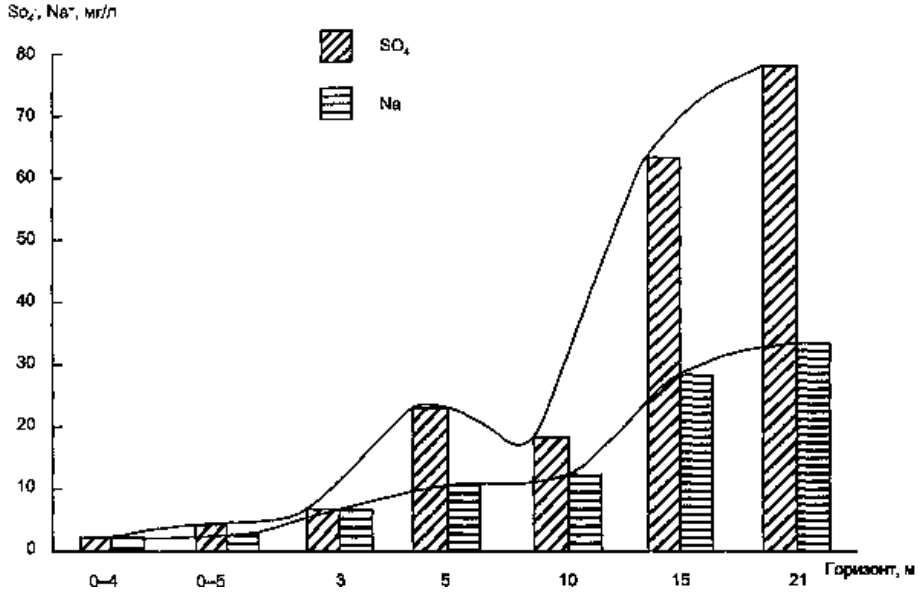
В 1970-х гг. комбинат переходит на оборотную систему водоснабжения. В 1976 г. осуществляется пуск в эксплуатацию биологических очистных сооружений (БОС). Начиная с 90-х происходит падение производства в связи с изменившейся экономической ситуацией в стране, сокращается выпуск продукции, уменьшается объем сброса сточных вод. Максимальный объем сброса сточных вод Сегежского промцентра (промышленных и хозяйственно-бытовых) достигал 120 млн. м^3 в год, в последние годы он составляет около 60 млн. м^3 в год. Уменьшение объема сточных вод не пропорционально сокращению выпуска продукции, так как при сокращении производства происходит нарушение технологической цепи и количество сбрасываемых веществ больше, чем следовало бы ожидать.

Необходимо отметить, что на Сегежском комбинате была проведена реорганизация выпуска сточных вод. До 1976 г., когда не было их биологической очистки, они выпускались в залив Лайкоручей, расположенный в устье р. Сегежи. Начиная же с 1976 по 1981 г. по мере наращивания мощности очистных сооружений происходило увеличение выпуска очищенных сточных вод в небольшой залив – Мозог-губа, соединяющийся протокой с Северным Выгозером вблизи Майгубы (рис. 3), и сокращение выпуска неочищенных в залив Лайкоручей. В настоящее время в него сбрасывается небольшое количество условно чистых неочищенных сточных вод.

Хотя Северное Выгозеро и является достаточно проточным (обмен воды в нем происходит приблизительно за четыре месяца), организация выпуска сточных вод влияет на их распространение в водоеме. И прежде всего это имеет значение в зимний период. В случае берегового выпуска сточных вод (что имеет место в Сегеже) они, охлаждаясь до температуры максимальной плотности, опускаются на дно, распространяются по понижениям дна котловины и постепенно заполняют придонные слои, частично разбавляясь. К концу ледостава объем загрязненных вод в нижних слоях достигает 10–7-метровой изобаты (рис. 4). Основным последствием загрязнения вод в зимний период является очень



Р и с . 3. СЕВЕРНОЕ ВЫГОЗЕРО И РАЗМЕЩЕНИЕ СТАНЦИЙ ОТБОРА ПРОБ



	Сегежа Линдозеро	Все станции	Лайкоручей	Лейостров	Майгуба ц. плес Белая гора	Майгуба ц. плес	Ц. плес
$\Sigma_и$, мг/л	17	15–22	36	79	75	157	170
Цветность, град.	45	50–80	45	62	89	133	150
$БПК_5$, мг O_2/л	1,3	0,9–1,5	2,3	1,6	1,3	2,2	2,1
O_2, %	76–95	84–90	62	59	40	7	3
pH	6,8	6,5–7,3	6,8	6,5	6,5	6,4	6,5
Fe, мг/л	0,16	0,15–0,25	0,25	0,26	0,3	0,58	1,52
Mn, мг/л	0,02	0,03–0,06	0,04	0,02	0,17	0,74	1,62

Р и с . 4. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ СУЛЬФАТОВ, НАТРИЯ И ДРУГИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПО ГЛУБИНЕ В СЕВЕРНОМ ВЫГОЗЕРЕ В ЗИМНИЙ ПЕРИОД 1992–1996 гг.

Таблица 2

ХАРАКТЕРИСТИКА ЗАГРЯЗНЕННОСТИ ПРИДОННЫХ СЛОЕВ СЕВЕРНОГО ВЫГОЗЕРА В ЗИМНИЙ ПЕРИОД

Показатель	1964–1965	1969–1975	1976–1981	1982–1991	1992–1996
$\Sigma_и$, мг/л	71	136	156	190	120
ПО, мг О/л	39	96	81	57	19
$БПК_5$, мг O_2/л	12	24	19	13	2,1
O_2, % насыщения	0–40	0	0–2	0–10	2–37
$P_{общ}$, мкг/л	Нет данных	Нет данных	240	424	250
Фенолы, мкг/л	Нет данных	Нет данных	60	–	12

низкое содержание кислорода (вплоть до его отсутствия) и наличие токсических веществ в придонных слоях воды. Особенно ярко это было выражено при отсутствии БОС и в период отладки их работы до проектных показателей в 1976–1986 гг. (табл. 2).

В последние годы в связи с уменьшением объема сточных вод ситуация несколько улучшилась, но по-прежнему в придонных слоях воды сохраняется дефицит кислорода. Интересно, что на границе распространения загрязненных и условно чистых вод наблюдались планктонные фронты, т. е. скопление большого количества зоопланктона, обусловленное наличием кормовой базы (бактерий) и более благоприятными условиями обитания (Куликова, 1985).

Весной после освобождения водоема ото льда (примерно в конце мая) происходит перемешивание водных масс и вынос загрязненных вод в р. Нижний Выг через Ондский гидроузел. В этот период наблюдается равномерное загрязнение вод по всей толще воды (табл. 3).

При низкой эффективности очистки сточных вод и быстром прогреве водных масс весной ситуация может стать критической в связи с резким падением содержания кислорода в воде, что несет с собой угрозу заморных явлений и гибели рыбы. Такая драматическая картина наблюдалась в Северном Выгозере в мае 1978 г., когда по берегам находили много мертвой рыбы. Вывод очистных сооружений на проектные показатели (по $БПК_5$) способствовал улучшению кислородного режима, и даже при интенсивном прогреве водных масс весной наличие бескислородных зон стало маловероятно.

Возникает закономерный вопрос – почему же зимой замора рыбы нет, хотя кислород у дна в глубоководных участках также отсутствует? Объясняется это тем, что рыба, чувствуя недостаток кислорода, уходит из таких зон. Совсем другое дело, когда «обескислорожены» большие пространства и рыбе просто некуда деться. Тогда-то и происходит ее замор. Такая картина – частое явление в южных застойных озерах и водохранилищах. Во избежание замора рыбы делают большое количество лунок, чтобы рыбы могли «подышать» воздухом. Более эффективный путь – нагнетание воздуха в воду для ее аэрации.

Таблица 3

ХАРАКТЕРИСТИКА ЗАГРЯЗНЕННОСТИ ПРИДОННЫХ СЛОЕВ СЕВЕРНОГО ВЫГОЗЕРА В ПЕРИОД ОТКРЫТОЙ ВОДЫ

Показатель	1964–1965	1969–1975	1976–1981	1982–1991	1992–1996
$\Sigma_и$, мг/л	27	27	32	22	24
ПО, мг О/л	13	13	14	13	13
$БПК_5$, мг O_2/л	1,0	1,6	1,5	1,2	0,7
O_2, % насыщения	56–86	20–83	30–86	48–82	79–95
$P_{общ}$, мкг/л	20	24	50	34	15
Фенолы, мкг/л	Нет данных	15	10	5	5

Вынос наиболее загрязненных вод из Северного Выгозера в р. Нижний Выг весной происходит приблизительно в течение месяца. В этот период водообмен в Северном Выгозере усиливается в связи с поступлением большого количества паводковых вод. В самой же реке загрязнения ощущаются где-то до конца июня, что вызвано временем добегания воды от верхнего створа (Ондская ГЭС) до нижнего (г. Беломорск).

Летом загрязнение в Северном Выгозере, в основном, локализовано вблизи выпуска сточных вод. Степень его локализации зависит от гидродинамической ситуации. Выгозерское водохранилище – достаточно мелководный водоем, вода в нем хорошо перемешивается ветром; однако большое количество островов (особенно в северной части) частично этому препятствует. Следует отметить, что если раньше залив Лайкоручей был «мертвой зоной», то в настоящее время в связи с сокращением сброса в него сточных вод загрязнение воды улавливается только непосредственно у выпуска сточных вод.

Вторая особенность летнего периода – развитие фитопланктона, усиливающееся под влиянием сточных вод, несущих с собой большое количество биогенных элементов. В этом случае говорят об эвтрофировании водоема, повышении его продуктивности. Для Северного Выгозера также характерно эвтрофирование вод, особенно после ввода СБО, на которой, как уже отмечалось, используются добавки биогенных элементов для обеспечения жизнедеятельности активного ила.

Осенью в связи с повышенной динамической активностью водных масс загрязнение Северного Выгозера наименьшее по сравнению с другими сезонами, поскольку в водообмен вовлекаются все водные массы водохранилища.

В заключение отметим, что в настоящее время в связи с сокращением производства на Сегежском ЦБК экологическая ситуация на водоеме в период открытой воды удовлетворительная, но в зимний период остается по-прежнему неблагоприятной. Решение этой проблемы возможно только путем реорганизации выпуска сточных вод.

Если коснуться истории, то в 1980-е гг. на Сегежском ЦБК планировалось строительство

рассеивающего выпуска сточных вод вблизи Майгубского канала. При этом улучшилась бы экологическая ситуация в Северном Выгозере, но в то же время ухудшилась бы в р. Нижний Выг, являющейся источником водоснабжения населенных пунктов северного склона ББК. Наиболее рациональным было бы устройство рассеивающего выпуска в устье р. Сегежи (фактически там же, где он и был). Но, к сожалению, поставленная проблема решения не имела. Бесспорно, при улучшении экономической ситуации возможно и решение экологических проблем Сегежи.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

Изменение режима Северного Выгозера и реки Нижний Выг под действием сточных вод Сегежского ЦБК и допустимый объем их сброса. Петрозаводск, 1989. 36 с.

Куликова Т. П. Влияние сточных вод ЦБК после биологической очистки на зоопланктон водохранилища // Проблемы водной токсикологии. Петрозаводск, 1985. С. 34–40.

Современное состояние водных объектов Республики Карелия. По результатам мониторинга 1992–1997 гг. Петрозаводск, 1998. С. 101–109.

Справочник лесохимика. М., 1987. 271 с.

Харкевич Н. С. Влияние сточных вод Сегежского целлюлозно-бумажного комбината на химический состав и качество вод р. Сегежи и Выгозера // Вопросы гидрологии, озероведения и водного хозяйства Карелии. Петрозаводск, 1969. С. 30–59.

Харкевич Н. С. Характеристика химического состава и качества воды Выгозерского водохранилища // Водные ресурсы Карелии и их использование. Петрозаводск, 1978. С. 107–163.

Lozovik P. A., Basova S. V. Ewtrance of chemical substances with precipitation in Karelia // Acidification of inland waters. Helsinki, 1994. P. 41–49.

Зоопланктон водоемов Карелии

Т. П. Куликова

Республика Карелия известна не только в нашей стране как край многочисленных озер (61,1 тыс. с площадью более 1 га) и рек (26,7 тыс.), образующих обширные озерно-речные системы (Кемь, Выг, Водла, Шуя, Суна и др.). Бесконечно разнообразны водоемы нашего края – от крупнейших в Европе Ладожского и Онежского до совсем небольших озерков, лесных ламбушек и ручьев, питьевых колодцев и ключей, маленьких пересыхающих луж. Многообразен и мир населяющих водоемы как растительных (фитопланктон, макрофиты), так и животных (зоопланктон, зообентос) организмов.

Водная среда – это царство зоопланктонных организмов. Они населяют всевозможные водоемы, живут в толще воды и у дна, опускаясь на предельные глубины, проникают в подземные воды и в горячие источники. Есть прикрепляющиеся виды, есть и паразиты, живущие на рыбах или других водных животных. Численность зоопланктона в наших водоемах колеблется от 1–2 до сотен тысяч, иногда миллионов организмов в 1 м^3, биомасса их изменяется от менее 0,1 в больших северных до 5–8 г в 1 м^3 в малых озерах южной Карелии.

Большинство организмов зоопланктона – микроскопические, длина их тела обычно меньше 1 мм и редко до 5 мм, а в исключительных случаях – до 10 мм. В зависимости от размеров пресноводный зоопланктон принято делить на:

⇒ мезопланктон – наиболее крупные организмы, хорошо видимые невооруженным глазом, их размеры достигают нескольких миллиметров;
⇒ микропланктон – организмы микроскопические, их размеры от 50 до 1000 мк;
⇒ нанопланктон – организмы, размеры которых меньше 50 мк;
⇒ ультрапланктон – крайне мелкие организмы, менее 20 мк.

Видовое разнообразие зоопланктона карельских водоемов весьма значительно. Многолетние исследования ученых Карельского научного центра Российской академии наук, Карельского отделения ГосНИОРХ, Петрозаводского госуниверситета и Карельского пединститута позволили выявить свыше 800 видов и форм. В его состав входят простейшие (около 140), коловратки (более 440) и низшие ракообразные (более 200), которые представлены ветвистоусыми (*Cladocera*), веслоногими (*Copepoda*), ракушковыми (*Ostracoda*) и листоногими (*Phyllopoda*) рачками. Следует отметить, что и на сегодня не все группы зоопланктона водоемов республики (особенно две последние) изучены равномерно и достаточно. Не исследованы или не имеют полной картины жизни еще множество водоемов Карелии.

Инфузории (*Infusoria*) относятся к типу простейших (*Protozoa*) и представляют собой одноклеточные организмы, которые снабжены для движения сложно и разнообразно дифференцированным ресничным аппаратом. Покров ресничек может быть на всем теле или же редуцирован до нескольких пучков коротких, слитых вместе ресничек. Наиболее детально они изучены лишь в Онежском озере. Здесь насчитывается 128 таксонов, в том числе и всем, кажется,

известная инфузория туфелька (*Paramecium caudatum*). Наиболее обычные размеры простейших лежат в пределах 50–150 мк, но есть и более крупные формы, например бурсария (*Bursaria*), которая достигает 2 мм длины и видна невооруженным взглядом. Форма тела некоторых инфузорий настолько характерна, что иногда можно определить до рода только по этому признаку. Среди них есть шаровидные, овальные, в виде мешка, воронки или колокольчиков на ножке; иногда тело заключено в домик, построенный из песчинок, или покрыто панцирем. Имеются колониальные формы, где особи (до 50 и больше) соединены разветвляющимся стебельком. Наряду со свободноплавающими формами довольно большую по числу видов группу инфузорий составляют сидячие, прикрепленные к субстрату, одиночные – сувойки, или иначе вортицеллы (*Vorticella*), или колониальные – кархезиум, эпистилис (*Carchesium*, *Epistylis*), напоминающие цветок в виде колокольчика, сидящий на стебельке, который прикрепляется к субстрату – водоросли или рачкам (рис. 1).

Численность отдельных видов простейших в Онежском озере может колебаться в течение сезона открытой воды от 0,1 до 120 тыс. экз./м^3, а суммарное их количество в различных районах составляет от 60 тыс. экз./м^3 в центре озера до 1,8 млн. экз./м^3 в Кондопожской губе.

Коловратки (*Rotatoria*) – очень своеобразная группа животных. Их стали изучать еще со времен изобретения микроскопа, т. е. с конца XVIII в. Естествоиспытатели XVIII и начала XIX в. объединяли их с простейшими, и только в 1817 г. Кювье впервые выделил их в самостоятельную группу животных. По своему систематическому положению они относятся к низшим червям, к типу первичнополостных, немальтельминтов (*Nemathelminthes*), для которых характерно отсутствие дыхательной и кровеносной систем.

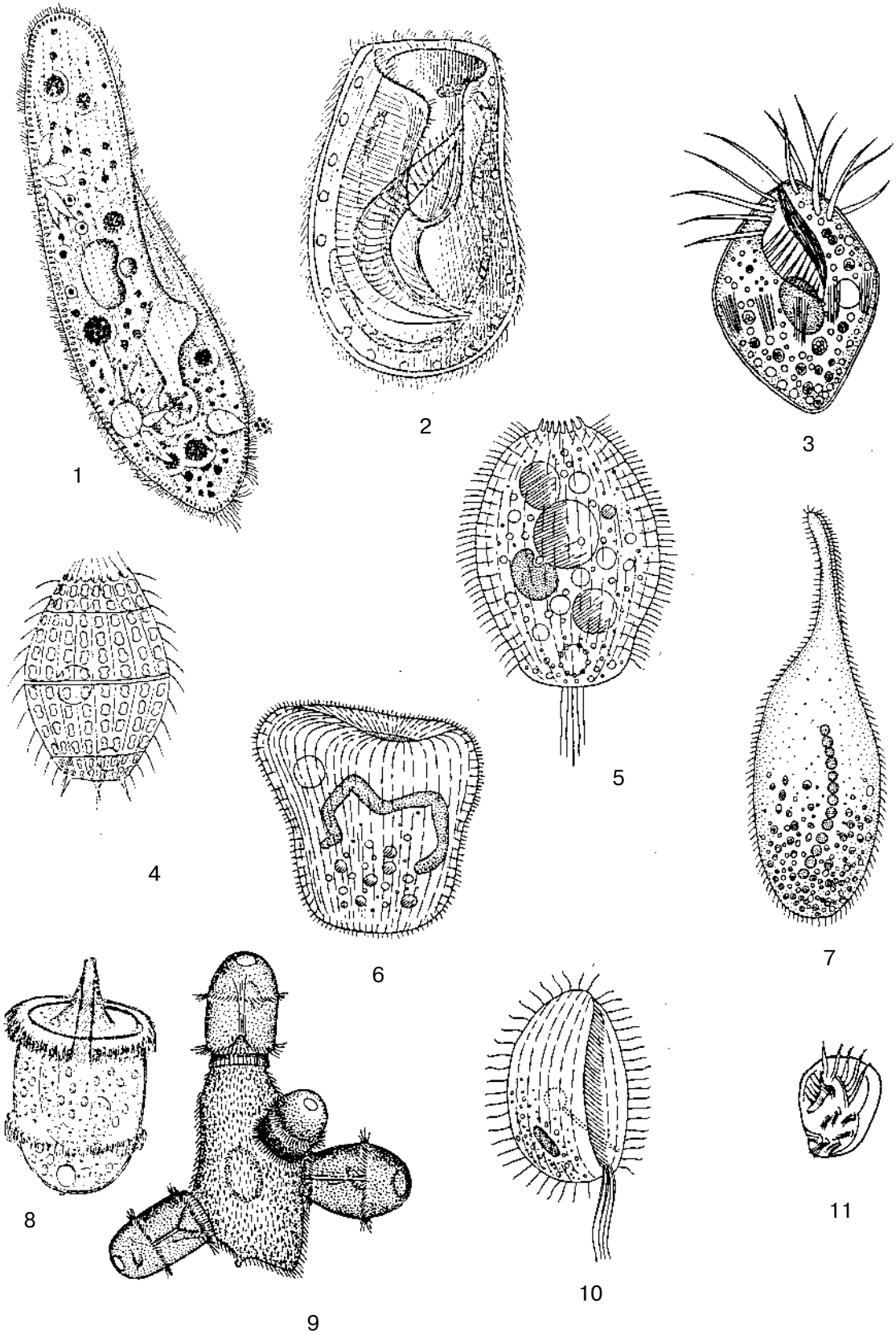
Эти крошечные существа, самые мелкие из многоклеточных животных, принадлежат к микропланктону. Среди них есть и «большие», хорошо заметные простым глазом виды, достигающие 2 мм, такие, как аспланхна (*Asplanchna*). Некоторые из них образуют колонии, часто состоящие из нескольких сотен экземпляров. Одна колония достигает в диаметре 5 мм. Есть и самые маленькие, имеющие длину всего 40–50 мк. Это крайние величины. Подавляющее же большинство видов коловраток размером от 80 до 400 мк. Коловратки, как правило, бесцветны, но у многих видов отдельные части тела и полостная жидкость бывают окрашены. Так, *Gastropus stylifer* изумительно ярко окрашен в фиолетовые, синие, оранжевые цвета.

Форма тела коловраток очень разнообразна (рис. 2). Среди плавающих встречаются виды, имеющие форму мешка (*Asplanchna*), или круглой пластинки (*Testudinella*), или волчка (*Synchaeta*). Часто встречаются коловратки, словно «закованные» в панцирь причудливой формы, с колючками или шипами, длина которых может быть очень изменчива (*Trichotria, Kellicottia*). У многих видов вокруг тела образуются футляры, чехлики, домики, которые служат им как защитные образования, совершенно прозрачные или хорошо заметные (*Trichocerca cylindrica*). Есть такие виды, которые имеют придатки, широкие (*Hexarthra*) или узкие зазубренные (*Polyarthra*, *Filinia*), позволяющие им делать прыжки. Некоторые коловратки существуют как колониальные формы (*Conochilus*) (рис. 2: *8*).

Наиболее типичным образованием, который отличает коловраток от других животных, является самый замечательный для них орган, расположенный на передней части головы, – коловращательный аппарат – совокупность различно расположенных на переднем конце тела ресничек. Коловраток называют еще «ротатории» – от латинских слов «*rota*» – колесо и «*fero*» – носить. Этот ресничный аппарат, очень нежный, красивый и разнообразный по форме, служит им как для передвижения, так и для захватывания пищи. Поражает исключительное разнообразие их движений (плавание, ползание, «шагание»), есть и сидячие формы. По способу движения различают две группы животных. Первая – плавающие формы. Это типично планктонные организмы, всю жизнь проводят в толще воды, находясь в непрерывном движении и не имея ни минуты покоя. Они плывут, вращаясь вокруг собственной оси, вперед по винтовой линии, медленнее, чем инфузории, захватывая при этом (фильтруя) ресничками пищевые частицы, взвешенные в воде (*Asplanchna*, *Synchaeta, Filinia*). Вторую, наиболее многочисленную группу составляют коловратки, которые и ползают (по дну), и плавают, и временно прикрепляются к какому-либо предмету (*Rotaria* и др.). Сюда относятся виды, живущие в береговой зоне различных водоемов от больших глубин до прибрежных зарослей и песчаных отмелей. Обычный озерный комплекс в наших озерах составляют *Asplanchna*, *Filinia, Kellicottia, Polyarthra, Conochilus, Keratella, Notholca* (рис. 2: *1, 2*, *3*, *5*, *6*, *8*, *11*, *16*).

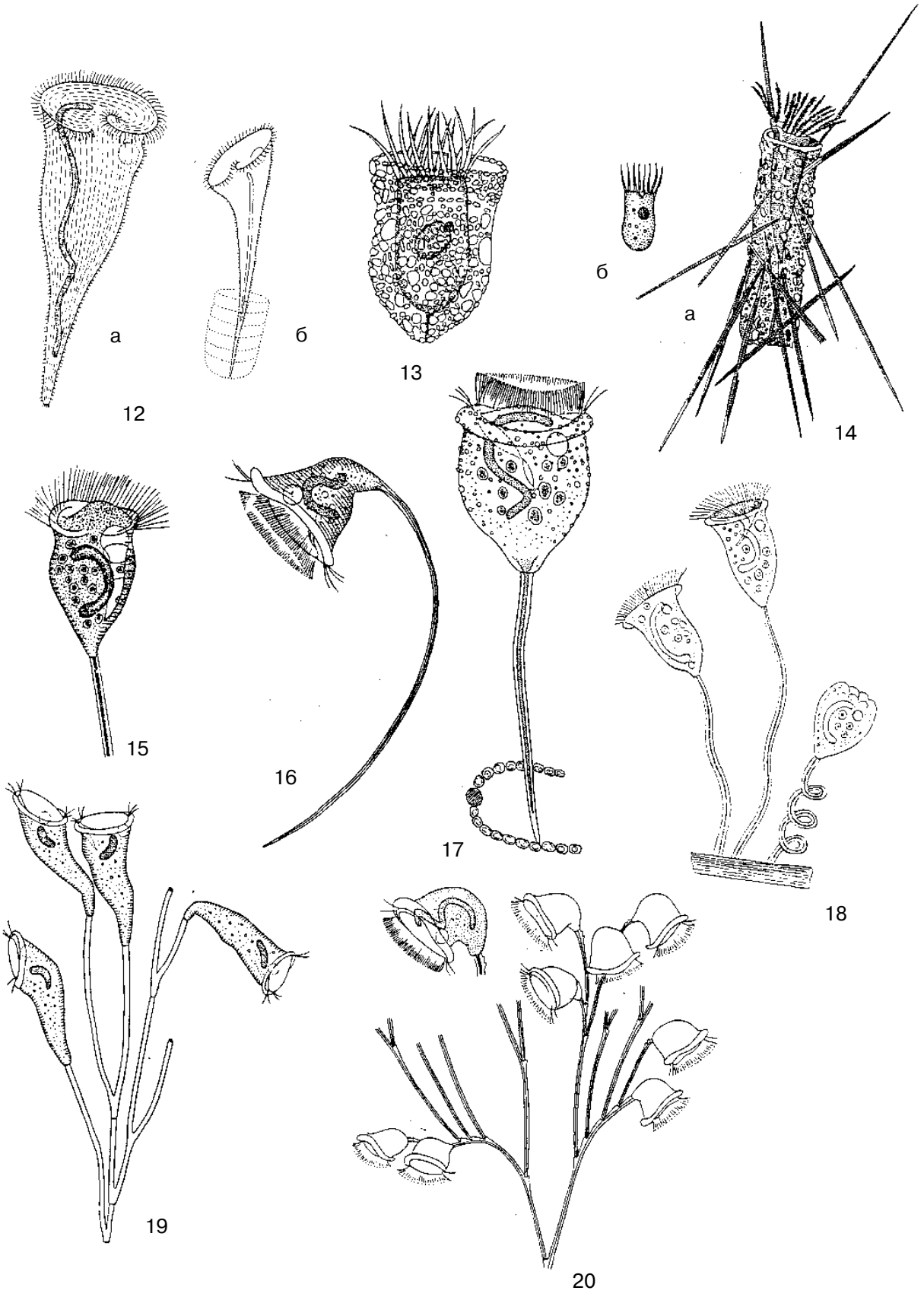
Большинство коловраток относятся к полифагам, питаются бактериями, водорослями, детритом. Есть среди них и хищники, пищей для которых служат более мелкие животные – не только простейшие, но и коловратки.

Подавляющее большинство коловраток являются космополитами, они встречаются на всем земном шаре, хотя есть и виды-эндемики, свойственные только, например, озеру Байкал, Антарктиде или Америке. Они живут в самых разнообразных водоемах, нетребовательны к условиям существования – была бы вода, даже в ничтожном количестве или только временно, и пища. Им не важно, какая вода – проточная или стоячая, теплая или холодная. Почти при всех условиях они хорошо себя чувствуют и размножаются. Такие организмы называются убиквистами, т. е. встречаются везде, повсюду. Подобное широкое распространение многих видов связано с легкостью их распространения на большие расстояния в сухом виде, у некоторых – взрослых самок, у других – покоящихся яиц.



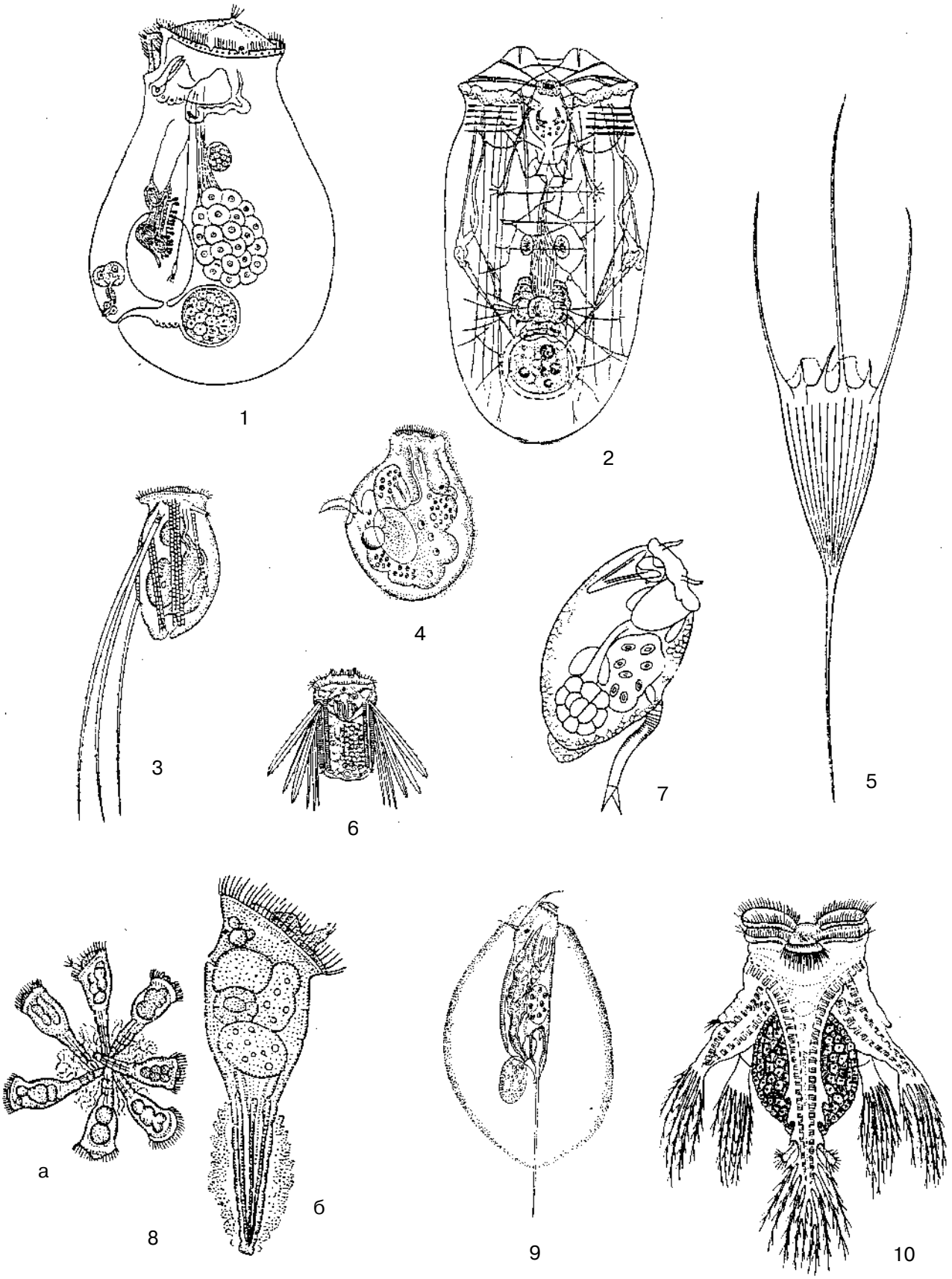
Р и с. 1. ИНФУЗОРИИ (*INFUSORIA*):

1 – Paramecium caudatum, 2 – Bursaria truncatella, 3 – Strombidium viride, 4 – Coleps hirtus, 5 – Urotricha pelagica, 6 – Marituja pelagica, 7 – Amphileptus trachelioides, 8 – Didinium nasutum, 9 – инфузории дидинии, пожирающие инфузорию туфельку, *10 – Lembadion lucens, 11 – Aspidisca costata*



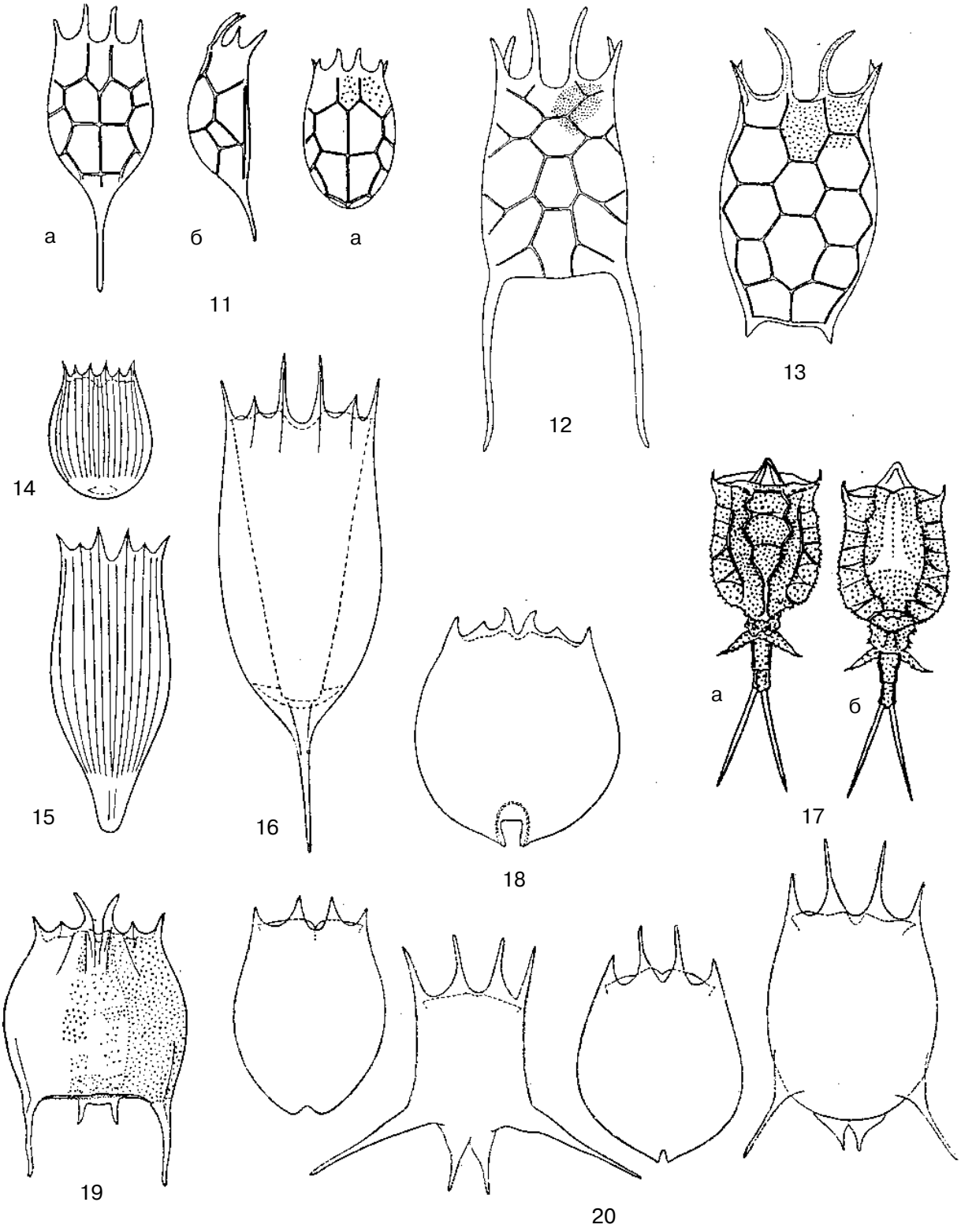
Р и с. 1 (окончание):

12, а – *Stentor roeseli,* б – *то же в домике, 13 – Tintinnopsis cratera, 14 – Tintinnidium fluviatile:* а – в домике, б – без домика; *15–18* – вортицеллы *(Vorticella): 15 – V. convallaria, 16 – V. mayeri, 17 – V. anabaena, 18 – V. nebulifera, 19 – Epistylis rotans, 20 – Carchesium pectinatum*



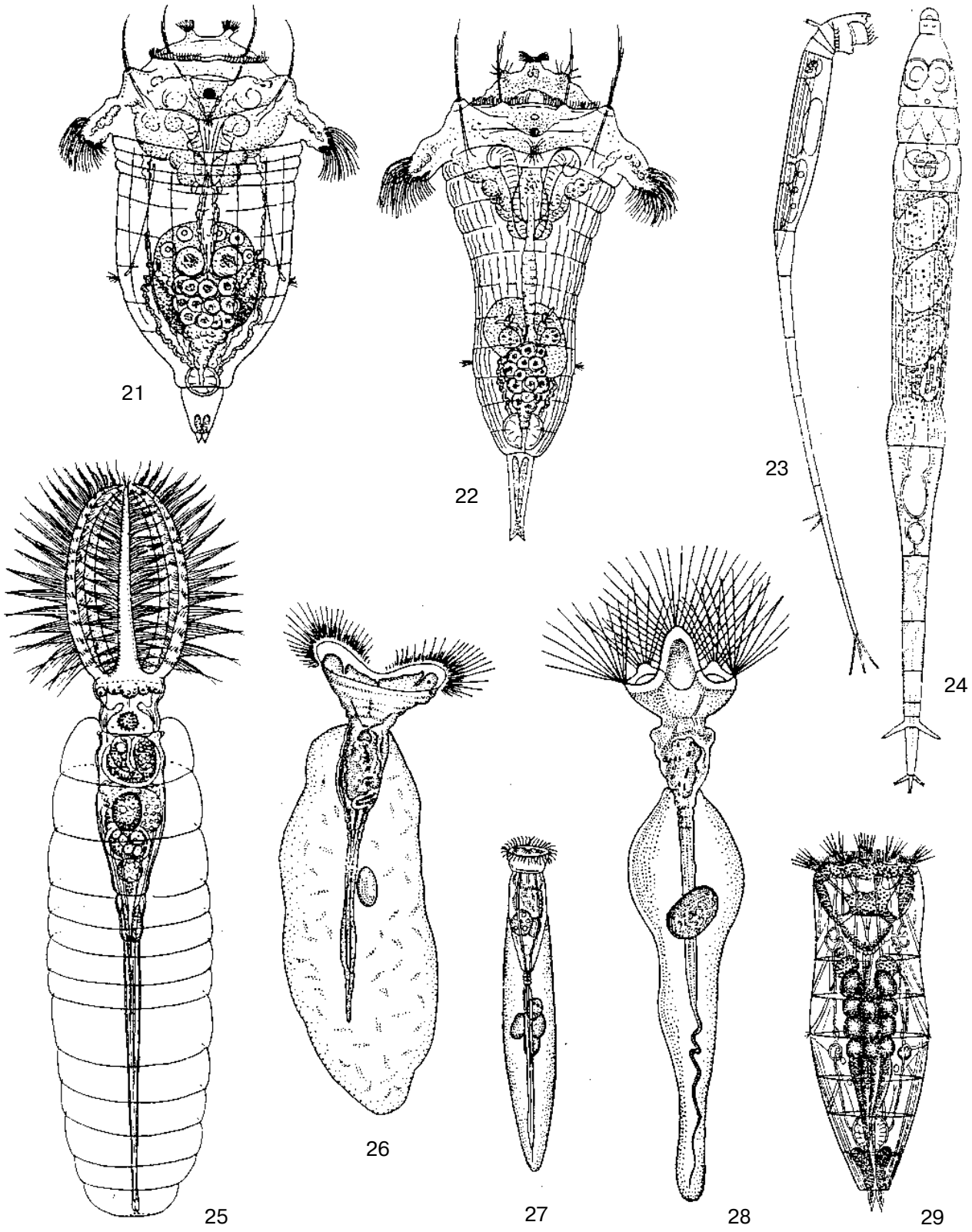
Р и с. 2. КОЛОВРАТКИ (*ROTATORIA*):

1 – Asplanchna herricki, 2 – A. priodonta, 3 – Filinia longiseta, 4 – Gastropus stylifer, 5 – Kellicottia longispina, 6 – Polyarthra sp., *7 – Bipalpus hudsoni, 8 – Conochilus unicornis:* а – колония, б – отдельная особь, *9 – Trichocerca cylindrica, 10 – Hexarthra mira*



Р и с. 2 (продолжение):

11 – Keratella cochlearis: а – вид со спинной стороны, б – вид сбоку, *12 – Keratella quadrata, 13 – K. serrulata, 14 – Notholca squamula, 15 – N. acuminata, 16 – N. caudata, 17 – Trichotria truncatum:* а – со спинной стороны, б – с брюшной стороны, *18 – Brachionus urceus, 19 – B. quadridentatus, 20 – B. calyciflorus* – различные формы



Р и с. 2 (окончание):

21 – Synchaeta pectinata, 22 – S. grandis, 23 – Rotaria neptunia, 24 – R. rotatoria, 25 – Stephanoceros fimbriatus (в домике), *26–28 – Collotheca* – различные виды (в домиках), *29 – Epiphanes senta*

Коловраток в наших водоемах не всегда бывает много, хотя среди них есть и круглогодичные формы. Обычно их численность довольно быстро увеличивается от июня к июлю, затем снижается и вновь возрастает осенью, в сентябре – октябре. Подобное явление связано с температурными условиями в водоеме и с развитием ракообразных, для которых они являются пищей.

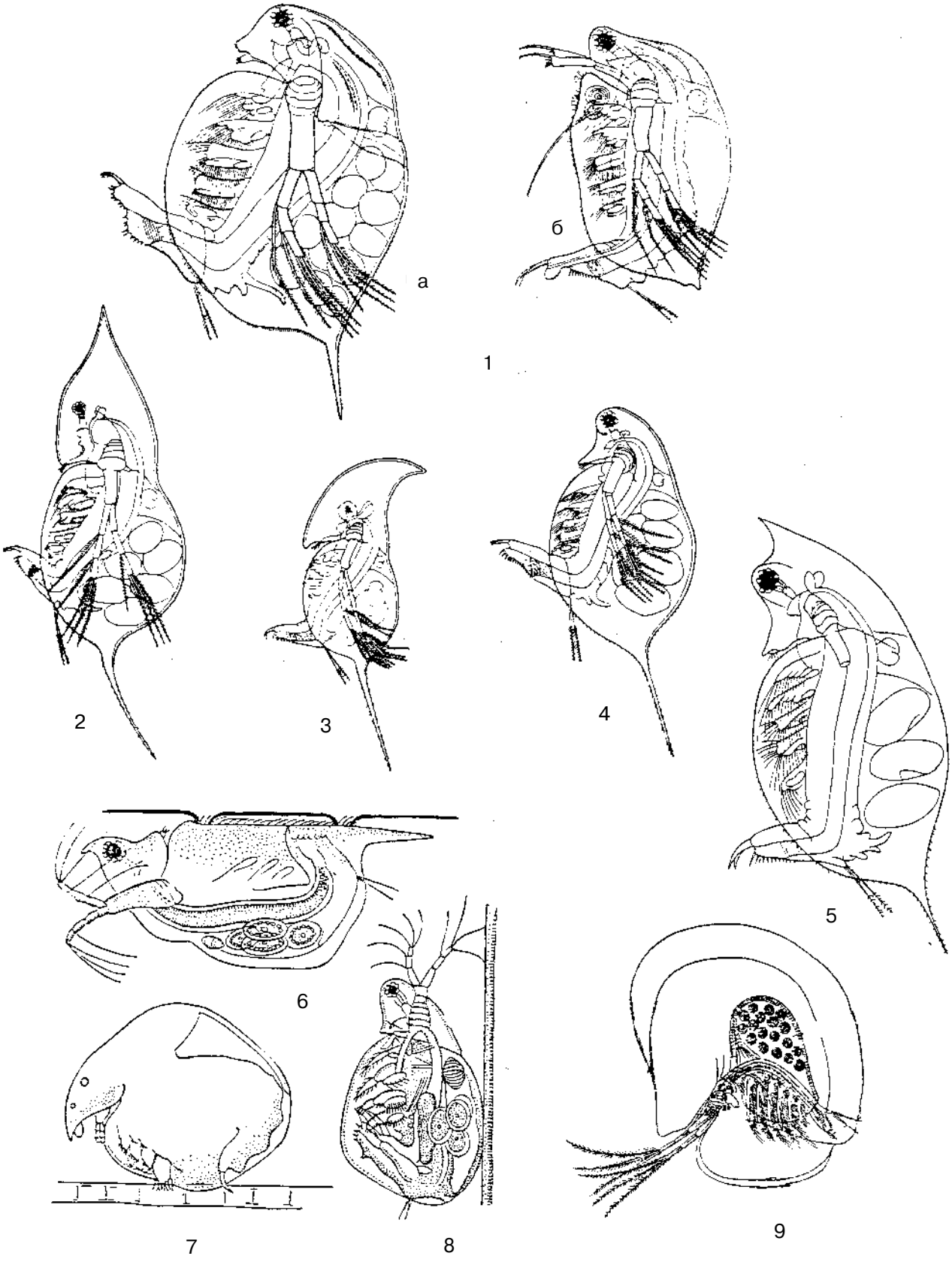
Коловратки вполне заслуживают особого внимания, так как в озерах, реках и других водоемах они зачастую преобладают над всеми животными планктона, составляя до 99% от их общего числа. В период массового развития (в 1 см^3 воды может быть несколько сотен экземпляров) они играют весьма существенную роль в переработке органического вещества в водоеме. Они очищают воду, уничтожая массу бактерий, водорослей и детрита (разложившиеся остатки отмирающих животных и растений), которые им служат пищей. В то же время коловратки сами служат живым кормом другим организмам, не только ракообразным, но и особенно только что вылупившимся из икры личинкам многих видов рыб.

Следует отметить, что диагностика коловраток, особенно видовая, достаточно сложна. Большинство организмов требует определения в живом виде, однако некоторые массовые виды, имеющие своеобразную форму тела, в том числе такие крупные, как аспланхна, или характерный панцирь (кателлa, келликотия и др.), сохраняющие их в фиксированном состоянии, вполне доступны для определения.

Ракообразные (низшие – ***Entomostraca*** и высшие – ***Malacostraca***) благодаря исключительному разнообразию морфологии, физиологии и размеров нередко доминируют в основных биотопах практически во всех типах водоемов. Можно сказать, что по своему многообразию и участию в биотических связях в водной среде ракообразные занимают место, сравнимое только с положением насекомых в наземных экосистемах. По недавним подсчетам мировая фауна ракообразных включает около 40 000 видов, фауна России насчитывает около 2000 форм. В состав зоопланктона входят низшие ракообразные, среди которых лучше других изучены ветвистоусые и веслоногие рачки.

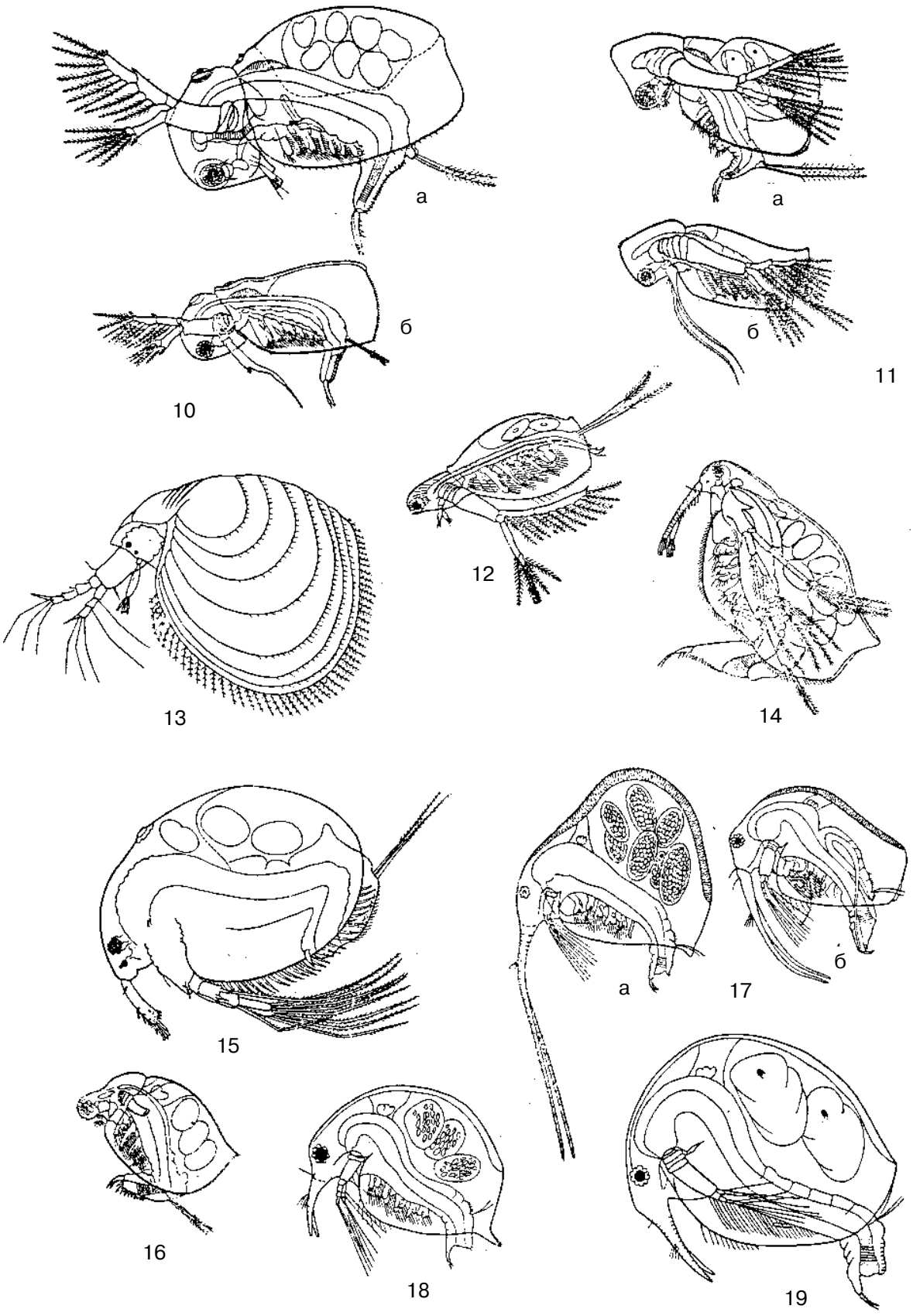
Ветвистоусые ракообразные (*Cladocera*), представленные в наших водоемах 101 таксоном, обитают почти в каждом из них (рис. 3). При любом лове сачком или специальной сеткой можно поймать десятки и сотни мелких рачков, называемых водяными блохами и знакомых любителям аквариумов, которые кормят ими, живыми или сушеными, своих рыбок. Многие из этих рачков всю жизнь проводят в толще воды, оживленно передвигаясь, делая характерные взмахи задними антеннами, и составляют значительную часть планктона. К самым обычным видам среди них относятся дафнии и босмины (рис. 3: *1–5*, *17–19*). Такой вид дафний, как *Daphnia magna*, хорошо живущий в условиях лабораторной культуры, широко используется в мировой практике для токсикологических экспериментов (рис. 3: *1*). Некоторые из ветвистоусых передвигаются по дну – макротрикс (*Macrothrix*), илиокриптус (*Ilyocryptus*), есть и такие, которые то прикрепляются к растениям, то всплывают в водную толщу, как хидорус (*Chydorus*) (рис. 3: *7*, *13*, *15*). Иные приурочены преимущественно к прибрежным водам, например, полифемус (*Polyphemus*), крупный рачок с большим черным глазом (рис. 3: *22*). В наших северных водоемах широко распространен своеобразный рачок голопедиум (*Holopedium gibberum*), имеющий поверх раковины студенистую оболочку, придающую ему вид прозрачного шарика (рис. 3: *9*). Все они по характеру питания являются фильтраторами. У большинства ветвистоусых грудные ножки, снабженные многочисленными перистыми щетинками, образуют фильтрационный аппарат. Ножки совершают до 300–500 взмахов в 1 мин., при этом щетинки непрерывно отфильтровывают мелкую взвесь – бактерии, водоросли, частицы детрита, которая и служит им пищей. К видам-хищникам среди ветвистоусых относится самый крупный (до 1 см) совершенно прозрачный рачок лептодора (*Leptodora*), который парит в воде и своим громадным глазом высматривает добычу – коловратку или какого-нибудь более мелкого рачка, или даже свою молодь (рис. 3: *20*). Примерно так же охотится и другой крупный хищник – причудливой формы вид битотреф (*Bythotrephes*), снабженный необыкновенно длинной хвостовой иглой, в 5–6 раз превосходящей по длине его тело (рис. 3: *21*). В свою очередь, он сам является излюбленным кормом для рыб. Следует отметить, что в некоторых водоемах хищные ветвистоусые выедают заметную часть зоопланктона (свыше 40%).

Веслоногие рачки (*Copepoda*) включают 74 таксона и зачастую не уступают по численности ветвистоусым, а в весенне-зимний период даже превосходят их. Разнообразны образ жизни, способ питания и среда обитания этих рачков. Среди них выделяют три большие группы (подотряда). Общий их вид показан на рис. 4: *1*. К исключительно планктонным рачкам (15 таксонов) относятся каланиды (*Calanoida*). Длинные антенны и перистые щетинки позволяют им неподвижно парить в воде, лишь очень медленно погружаясь. Ярким представителем в карельских водоемах является самый крупный из них лимнокалянус (*Limnocalanus*) – реликтовый вид морского происхождения, который населял морские водоемы в конце ледниковой эпохи, бывшие на значительной территории Скандинавии и севера России (рис. 4: *2*). Он присутствует в планктоне круглый год, а зимой является одним из основных элементов, особенно в крупных озерах. Так, в Онежском озере этот рачок может составлять до 90% общего веса планктеров. Самый массовый круглогодичный вид в этой группе – довольно крупный рачок диаптомус (*Eudiaptomus*) (рис. 4: *1, б*).



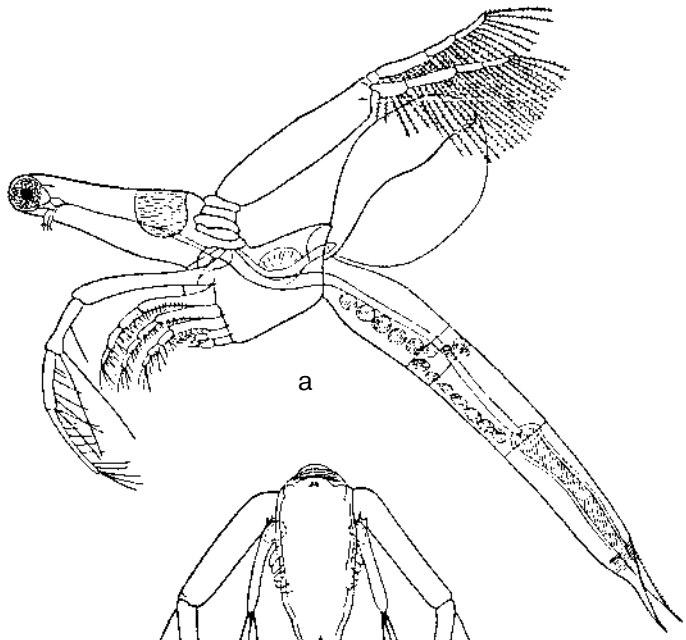
Р и с. 3. ВЕТВИСТОУСЫЕ РАКИ (*CLADOCERA*):

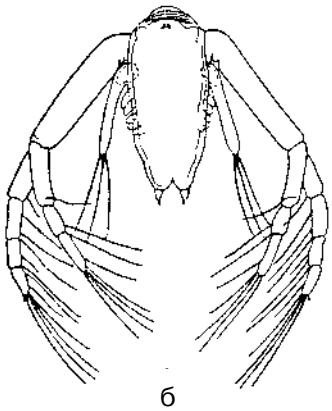
1–4 – дафнии (*Daphnia*): *1* – *D. magna*: а – самка, б – самец, *2* – *D. cucullata*, *3* – *D. cristata*, *4–5* – *D. longispina*. Прикрепляющиеся рачки: *6* – *Scapholeberis mucronata* – у поверхности воды, *7* – *Chydorus sphaericus* – на нити водоросли, *8* – *Simocephalus vetulus* – на нити водоросли, *9* – *Holopedium gibberum*



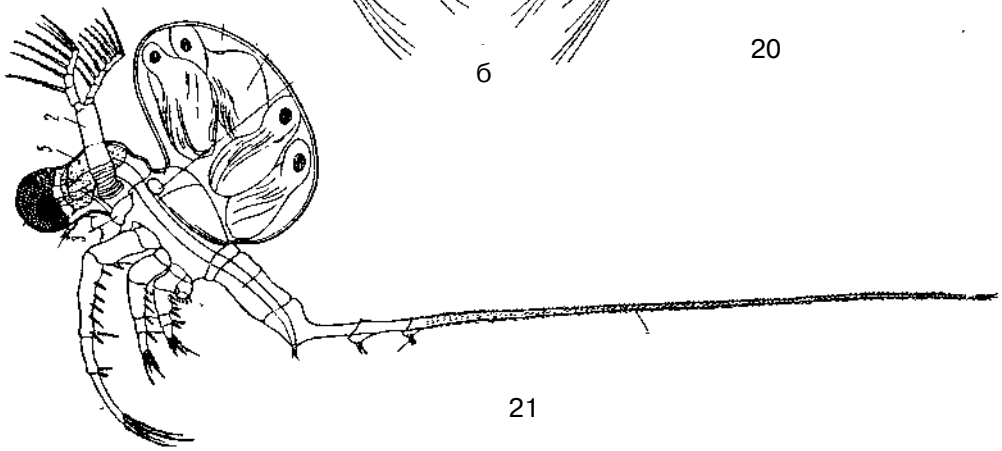
Р и с. 3 (продолжение):

10 – Sida crystallina: а – самка, б – самец, *11 – Limnosida frontosa*: а – самка, б – самец, *12 – Diaphanosoma brachyurum*, *13 – Ilyocryptus sordidus*, *14 – Ophryoxuus gracilis*, *15 – Macrothrix hirsuticornis*, *16 – Ceriodaphnia pulchella*, *17–19:* босмины (*Bosmina*): *17 – B. coregoni*: а – самка, б – самец, *18 – B. obtusirostris*, *19 – B. crassicornis*

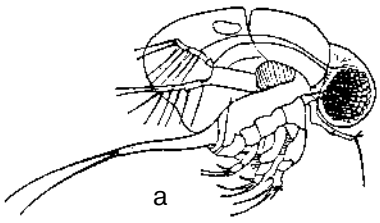


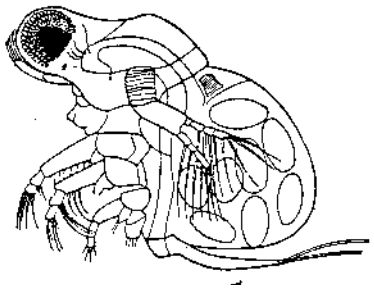


20



21

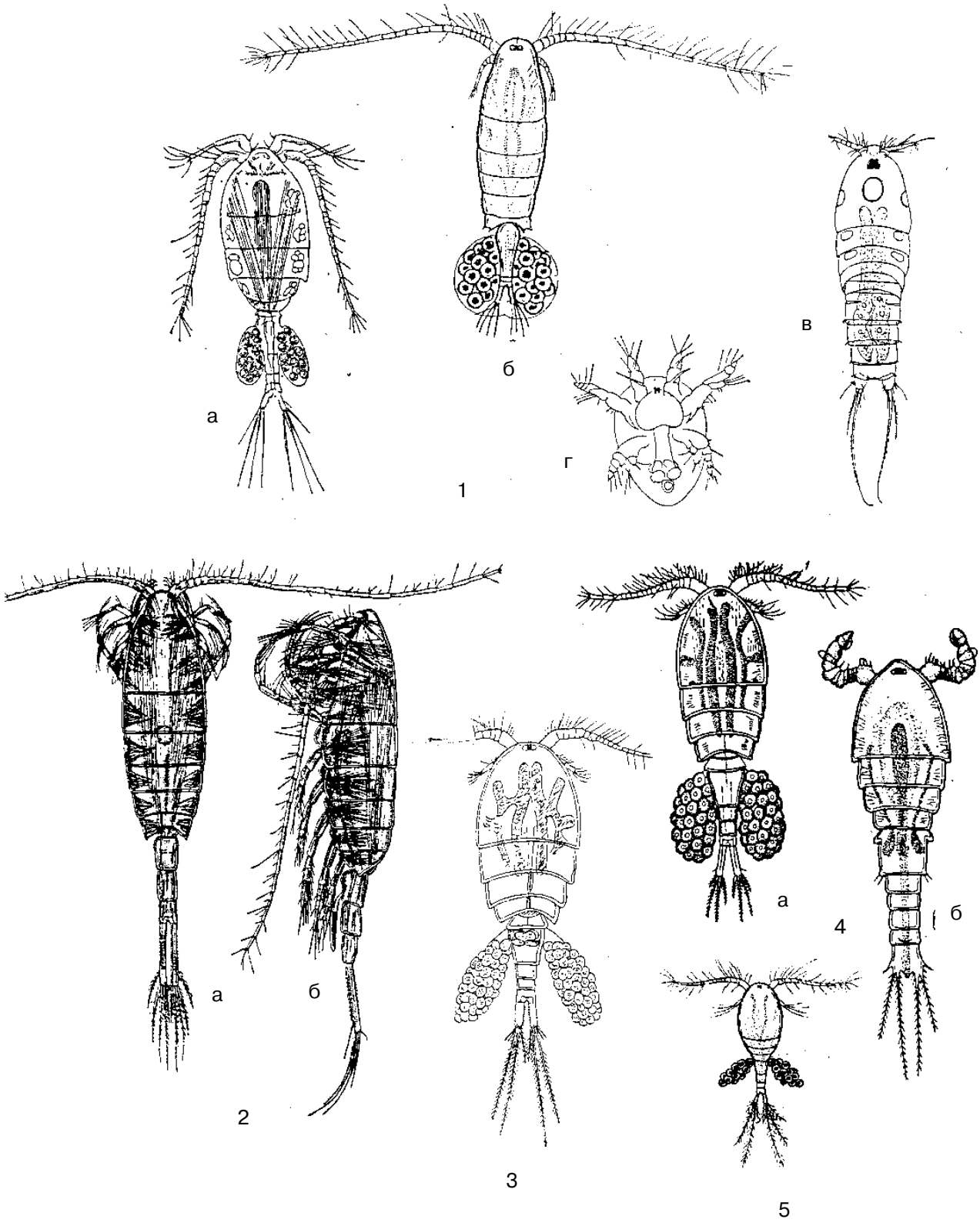




22

Р и с. 3 (окончание):

20 – Leptodora kindtii: а – взрослая форма, б – личинка, *21 – Bythotrephes longimanus*, *22 – Polyphemus pediculus*: а – самец, б – самка



Р и с. 4. ВЕСЛОНОГИЕ РАЧКИ (*COPEPODA*):

1 – общий вид: а – подотряд *Cyclopoida*, б – подотряд *Calanoida*, в – подотряд *Harpacticoida*, г – личинка (науплиус), *2* – *Limnocalanus macrurus*, *3–5* – циклопы: *3* – *Acanthocyclops viridis*, *4* – *Cyclops strenuus*: а – самка, б – самец, *5* – *Cyclops* sp.

Другую группу веслоногих (41 таксон) составляют циклопиды (*Cyclopoida*), или просто циклопы, которых отличает наличие двух яйцевых мешков у самок (рис. 4: *1, а*). Пресноводные циклопы распространены очень широко. Некоторые виды встречаются почти повсеместно. Они приспособились к перенесению неблагоприятных условий, в частности, переносят высыхание водоема, образуя цисты и переселяясь по воздуху. Поэтому нет ничего удивительного в появлении циклопов в весенних лужах, возникающих при таянии снега. Плавают они иначе, чем лимнокалянус или диаптомус. Характер «фигур», выполняемых ими, очень сходен с фигурами высшего пилотажа (дуги, повороты, мертвые петли, пике, вращение вокруг оси и т. д.). Подобное передвижение позволяет им обеспечивать себе питание, поскольку большинство циклопов – хищники. Они нападают не только на таких малоподвижных животных, как сидящие на дне или на растениях олигохеты или мотыли, но и на плавающих в воде других рачков, в том числе и на себе подобных, а также на коловраток, наблюдалось нападение циклопов на икринки и даже личинок рыб. Есть среди циклопов и растительноядные виды. Последние (виды *Eucyclops*) питаются главным образом зелеными нитчатыми водорослями, а также диатомовыми и даже синезелеными. Основной зоной обитания циклопов служит прибрежная полоса с зарослями водных растений. При этом к зарослям определенных растений приурочены определенные виды циклопов. Сравнительно немногие виды считаются настоящими планктонными животными. Например, мезоциклопс (*Mesocyclops*) постоянно обитает в поверхностных слоях воды, другие, особенно крупные циклопы (*Cyclops strenuus*), опускаются днем на значительную глубину (рис. 4: *3–5*).

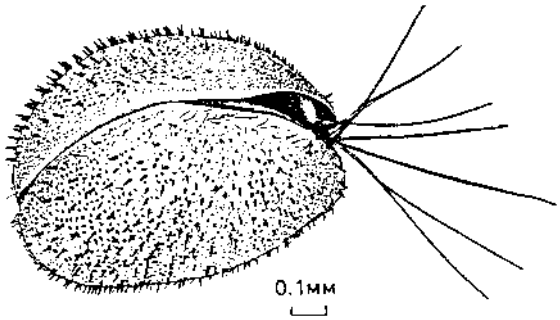
Одной из слабо изученных групп среди веслоногих рачков в наших водоемах, насчитывающей пока 18 таксонов, являются гарпактициды (*Harpacticoida*). Это червеобразные, большей частью очень мелкие рачки, хотя и разнообразные, но никогда не встречающиеся в массовых количествах (рис. 4: *1, в*). Они обитатели дна, большинство из этих рачков ползает по дну и донным растениям и является пищей для рыб.

Ракушковые рачки – остракоды (*Ostracoda*) – приспособились жить в самых разнообразных условиях. Трудно найти водоем, где бы они не встречались. Тем не менее, вследствие отсутствия специалистов, эти представители фауны изучались в сравнительно небольшом числе карельских водоемов. Несмотря на повсеместное распространение, остракод следует признать одной из наименее изученных групп пресноводных низших ракообразных (36 таксонов). Для новичка определение видов весьма затруднительно. Среди ракушковых есть хищники и грунтоеды, донные и планктонные формы, зарывающиеся в грунт и ползающие по растениям. Размеры большинства видов не превышают 1,0–1,5 мм и лишь некоторые достигают 3,5 мм и более. Все тело целиком заключено в двустворчатую раковину – мягкую или жесткую, полупрозрачную или непрозрачную, которая может раскрываться и посредством особого мускула-замыкателя плотно закрываться. В раскрытом состоянии из нее выставляются, самое большее, щетинки ножек (рис. 5).

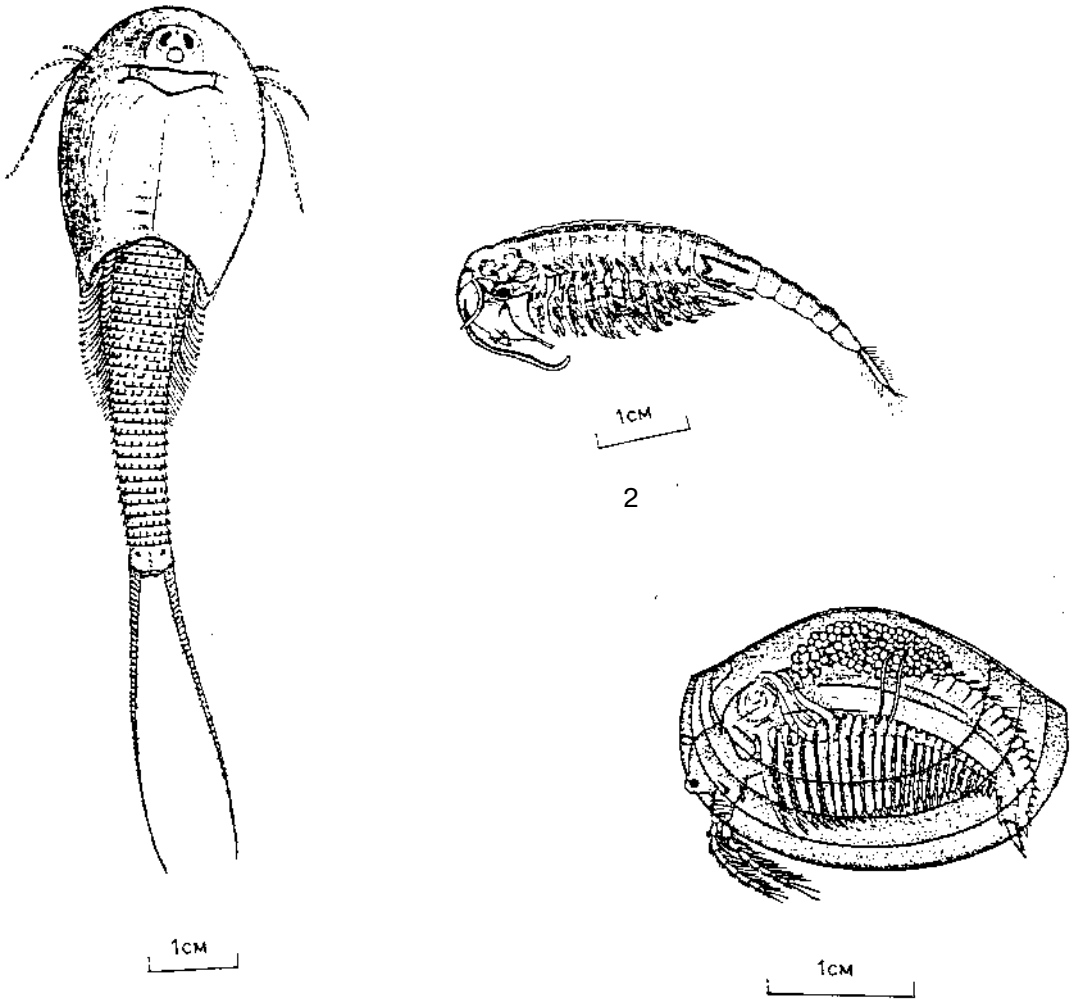
Листоногие (*Phyllopoda*) раки выделяются среди других большими размерами, длина у большинства видов составляет 1–2 см, хотя встречаются особи и до 7 см. По типу строения они распределяются на три группы: щитни (*Notostraca*), жаброноги (*Anostraca*) и раковинные (*Conchostraca*), различия между которыми хорошо видны (рис. 6). Листоногие обитают обычно в небольших постоянных и самых разнообразных временных водоемах (например, в возникающих после таяния снега, разлива рек и дождей лужах). В мелководной прибрежной зоне озер и водохранилищ их можно найти очень редко.

Сезонные изменения зоопланктона. Планктон, как и всякий биоценоз, зависит прежде всего от своего биотопа, т. е. совокупности господствующих в воде физических, прежде всего температурных, и химических условий, в которых приходится жить. Понятно, что эти условия не остаются постоянными ни во времени, ни в пространстве. Вместе с ними должен меняться и планктон – как видовой состав, так и его общая численность. Естественно, что от зимы к лету эти условия для большинства организмов улучшаются, от лета к зиме – ухудшаются. Соответственно этому и планктон наиболее богат во второй половине лета, наиболее беден зимой. Это касается и общего количества, и числа входящих в его состав видов (рис. 7). В наших озерах есть виды, живущие в узком интервале температур, так называемые стенотермные виды. Одни из них типично летние – многие ветвистоусые рачки (лептодора, полифемус, сида и др.), другие – встречаются зимой (некоторые циклопы, коловратки). Напротив, эвритермные виды существуют в течение всего года (диаптомус из рачков, кателла из коловраток).

Структура сообщества зоопланктона очень динамична, она изменяется в зависимости от термического и динамического режимов текущего и предыдущего годов, от складывающейся в водоеме трофической ситуации. Однако основные ее особенности повторяются из года в год. В начале июня, в ранневесенний период, главенствующее положение в сообществе занимают инфузории. По мере прогревания воды и изменения условий питания руководящим комплексом становятся коловратки. В летний период благодаря, в частности, интенсивному развитию бактерий доминируют ветвистоусые ракообразные, а количество инфузорий и коловраток в результате конкурентной борьбы и прямого выедания сводится к минимуму. Осенью резко снижается численность ветвистоусых ракообразных, вновь возрастает роль коловраток. Зимний зоопланктон представлен в основном веслоногими ракообразными и коловратками.

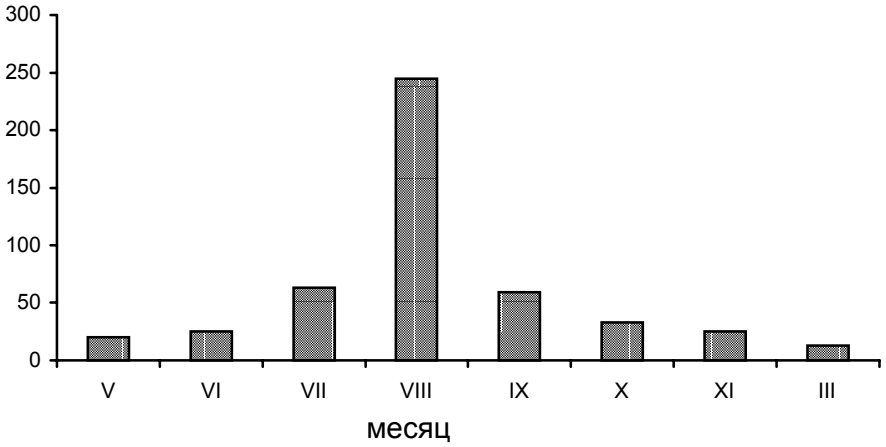


Р и с. 5. РАКУШКОВЫЕ РАЧКИ (*OSTRACODA*). Общий вид



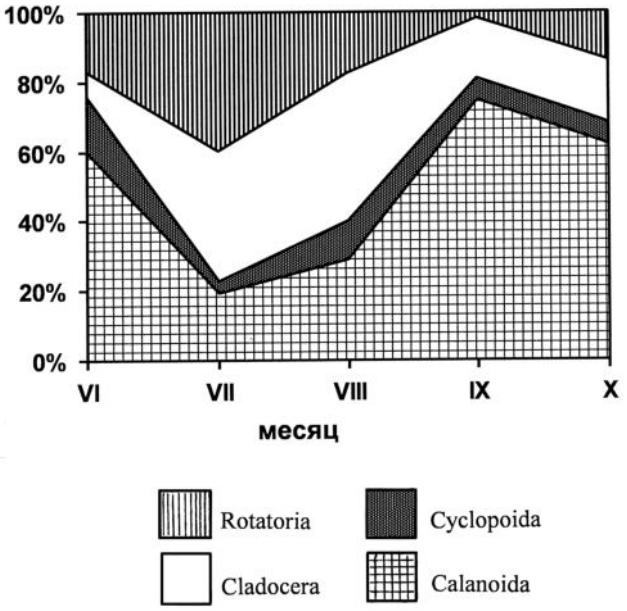
Р и с. 6. ЛИСТОНОГИЕ РАЧКИ (*PHYLLOPODA*):

1 – щитни (*Notostraca*), *2* – жаброноги (*Anostraca*), *3* – раковинные (*Conchostraca*)



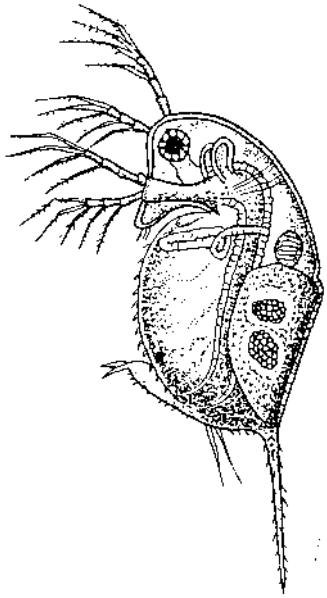
Р и с. 7. ИЗМЕНЕНИЕ ЧИСЛЕННОСТИ ЗООПЛАНКТОННОГО СООБЩЕСТВА (тыс. экз./м^3) В ТЕЧЕНИЕ ВЕГЕТАЦИОННОГО СЕЗОНА В ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ ОНЕЖСКОГО ОЗЕРА

В зимние месяцы, подо льдом, число особей в планктоне невелико, например, в центральной части Онежского озера в марте насчитывается около 1,0 тыс. экз./м^3 и даже меньше рачков и коловраток. Напротив, летом в пору максимального прогрева водных масс зоопланктон достигает своего расцвета – от 300–450 тыс. экз./м^3 в крупных водоемах до нескольких миллионов в 1 м^3 в небольших озерах южной и юго-восточной Карелии. Таким образом, в течение года происходит смена одних планктических форм другими (рис. 8).



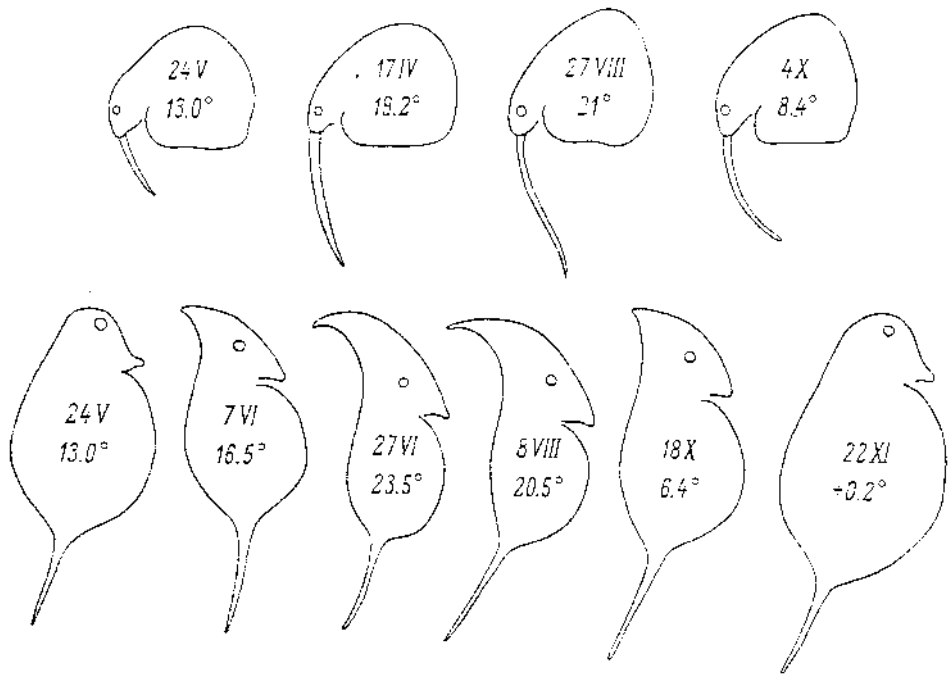
Р и с. 8. ОТНОСИТЕЛЬНОЕ ЗНАЧЕНИЕ ОСНОВНЫХ ГРУПП ЗООПЛАНКТОНА В ОБЩЕЙ БИОМАССЕ СООБЩЕСТВА (%) В ТЕЧЕНИЕ ВЕГЕТАЦИОННОГО СЕЗОНА В ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ ПЕТРОЗАВОДСКОЙ ГУБЫ ОНЕЖСКОГО ОЗЕРА

Многие виды зиму проводят в стадии покоящегося яйца, которое начинает свое развитие весной и дает начало самке. Такие яйца, богатые желтком, имеющие защитные оболочки, откладываются в воду и опускаются на дно. У дафний, например, в выводковой камере на спинной стороне возникает так называемое седлышко, или эфиппиум, содержащий обычно два заключенных в хитиновую оболочку яйца (рис. 9). Подобные яйца помогают перенести и другие неблагоприятные условия (недостаток пищи, загрязнение), а не только низкую температуру.



Р и с. 9. ЭФИППИЙ НА СПИННОЙ СТОРОНЕ ДАФНИИ

С сезонными изменениями в жизни многих ветвистоусых рачков связано такое любопытное явление, как цикломорфоз. Сущность его заключается в том, что форма и величина раковины определенных видов закономерно изменяется в течение года. В летнее время у некоторых видов дафний на голове появляется так называемый «шлем», а у босмин на спине – «горб». Кроме того, у дафний удлиняется задний шип на раковине, а у босмин – передние антенны (рис. 10). Эти изменения происходят



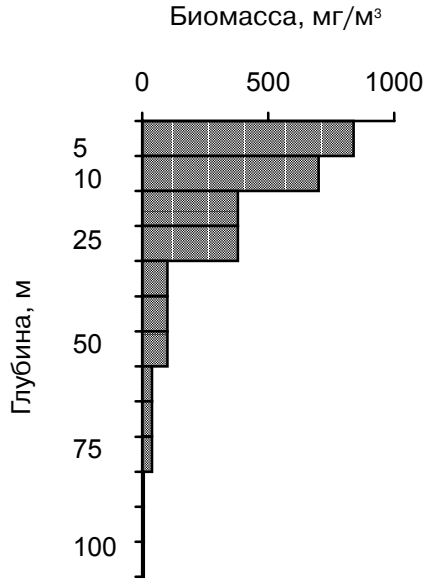
Р и с. 10. СЕЗОННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ (ЦИКЛОМОРФОЗ) ВЕТВИСТОУСЫХ РАЧКОВ
Верхний ряд – *Bosmina coregoni.* Нижний ряд – *Daphnia cristata*

параллельно изменению температуры воды, которая важна не сама по себе, а ее воздействие на плотность. Прогретая вода обладает, как известно, меньшей плотностью, чем охлажденная, поэтому и для парения в ней необходимы более длинные выросты или иная форма тела.

В сезонных изменениях зоопланктона помимо температурного действует, безусловно, и другой фактор – питание: чем больше развивается в планктоне тех организмов, которые для представителей данного вида служат пищей, тем лучше живет и этот вид. Именно температура и наличие пищи – могущественнейшие из всех внешних факторов в жизни организмов зоопланктона.

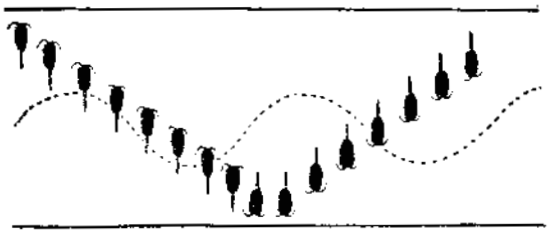
Пространственное распределение зоопланктона. В достаточно глубоких озерах условия жизни планктона на различной глубине далеко не однородны. Совокупность подобных различий всех условий по вертикали – температурных, химических, оптических – вызывает соответствующие различия в количественном и качественном распределении планктона. Наряду с этими первичными физическими факторами играют роль и вторичные – зависимость животных организмов от растительных, хищников – от их добычи и т. д. Наиболее богатым является обычно поверхностный слой воды до 2–5 м, в нем бывает сосредоточено до половины и более планктеров – десятки, сотни тысяч экземпляров и даже несколько миллионов в 1 м^3 – и соответственно значительная часть биомассы (рис. 11).

Вертикальное распределение условий в водоеме не остается постоянным даже в течение суток: оно постоянно меняется от дня к ночи и от ночи ко дню. С этим явлением связаны суточные вертикальные миграции зоопланктона в толще воды, когда рачки, особенно крупные, такие как лимнокалянус, диаптомус, циклопы, ночью поднимаются ближе к поверхности воды, а днем опускаются вглубь. Стремление рачков подняться в поверхностные слои объясняется изобилием там планктонных водорослей, которыми питаются многие веслоногие-фильтраторы. Уход из этих богатых пищей слоев утром



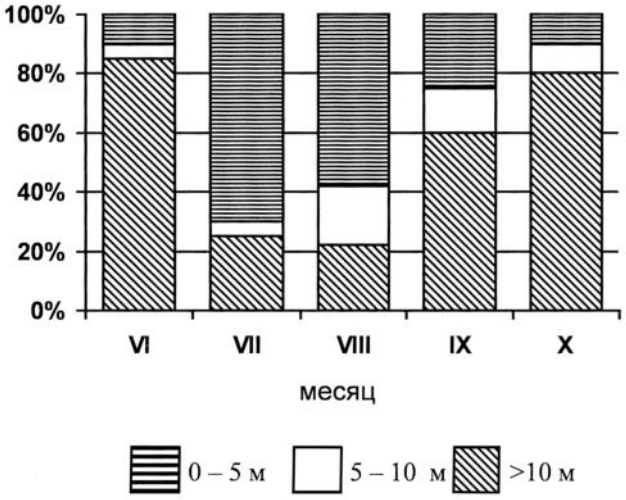
Р и с. 11. ВЕРТИКАЛЬНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЗООПЛАНКТОНА В СЕВЕРНОМ РАЙОНЕ ЛАДОЖСКОГО ОЗЕРА В ЛЕТНИЙ ПЕРИОД

связывают с неблагоприятным действием света, а также с защитной реакцией, помогающей избегать выедания рыбами в более глубоких темных слоях воды (рис. 12).



Р и с. 12. ВЕРТИКАЛЬНЫЕ СУТОЧНЫЕ МИГРАЦИИ РАЧКА ЛИМНОКАЛЯНУСА (*LIMNOCALANUS*) В ОНЕЖСКОМ ОЗЕРЕ

Помимо суточных вертикальных миграций существуют и сезонные миграции. Весной и летом зоопланктон держится в более теплых поверхностных слоях воды, а осенью и зимой опускается в нижние (рис. 13).



Р и с. 13. ВЕРТИКАЛЬНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ БИОМАССЫ ЗООПЛАНКТОНА (% ОТ ОБЩЕЙ БИОМАССЫ) В ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ ОНЕЖСКОГО ОЗЕРА (В СЛОЯХ ВОДЫ 0–5, 5–10 м И ГЛУБЖЕ 10 м)

Горизонтальное распределение планктона в пелагиали больших и глубоких озер носит довольно равномерный характер. И это понятно, поскольку физико-химические условия жизни здесь повсюду очень сходны между собой. В небольших и мелких водоемах наблюдается иная картина. В них более резко проявляются различия в прогреваемости верхнего слоя воды, в прозрачности, распределении растительности. Все это вызывает неравномерность распределения зоопланктона по горизонтали. При таких условиях нередко образуются «рои» или «тучи» планктонных организмов, состоящие иногда лишь из одного вида, например, дафний или полифемусов, которые можно наблюдать летом визуально в прибрежной зоне водоемов.

Значение зоопланктона в жизни водоемов. Органическое вещество в водоемах создается главным образом за счет жизнедеятельности микроскопических водорослей – фитопланктона. Ракообразные поедают эти водоросли и сами, в свою очередь, поедаются рыбами и, следовательно, выступают в качестве посредников, делающих создаваемое в водоемах органическое вещество доступным для рыб. С другой стороны, они используют в пищу огромные массы погибших животных, обеспечивая таким образом очищение водоемов. Достигая высокой численности, ветвистоусые рачки потребляют колоссальное количество бактерий и водорослей. Так, один рачок способен отфильтровать в сутки 100–300 тыс. клеток хлореллы. В естественном самоочищении водоемов очень значительна роль коловраток. Благодаря прожорливости и массовости коловратки, эти фито-, детрито- и полифаги, являются прекрасными санитарами загрязненных вод. Вместе с водорослями они могут поглощать также и радиоактивные элементы, удаляя их из водной толщи.

Существование очень многих рыб в значительной степени зависит от ракообразных. Некоторые рыбы, принадлежащие в карельских водоемах к числу важнейших промысловых, например ряпушка, всю свою жизнь питаются планктонными ракообразными (лептодорами, босминами, циклопами, коловратками). Другие, а это почти все наши рыбы (сиг, лосось, палия, судак, корюшка, окунь, плотва, язь, лещ), используют их только вскоре после выхода из икринки – на стадии личинки или в первый год жизни, а затем переходят на другую пищу. Зоопланктон потребляется рыбами в огромном количестве. Так, в кишечнике ряпушки находили десятки тысяч (до 50 тыс. босмин и более 8 тыс. дафний), в желудке сига – до 3 тыс. рачков битотрефов. Часто в желудках рыб обнаруживается рачков даже больше, чем отлавливается сетью. Питательность такого корма довольно высока: содержание белка в теле дафнии достигает 50%, а жира – 11% по весу.

Есть и отрицательные примеры. Так, существуют паразитические веслоногие ракообразные, большинство из них эктопаразиты, которые прикрепляются к самым различным рыбам. Они поселяются на наружных покровах, жабрах, глазах, реже в ротовой полости рыб. Одним из самых обычных паразитов можно считать эргазилюса (*Ergasilus*), который прикрепляется к жабрам щук и других рыб. Нередко к одной рыбе прикрепляется по нескольку десятков, а иногда и сотни рачков. Чем старше рыба, тем больше рачков на ней паразитирует. Постепенно эпителий жабр разрушается, и рыба погибает. Помимо этого, хищные циклопы вместе с другой пищей заглатывают и личинок паразитических червей, например лентеца широкого, и становятся таким образом промежуточным хозяином этих паразитов человека, кошки или других млекопитающих, вызывающих малокровие.

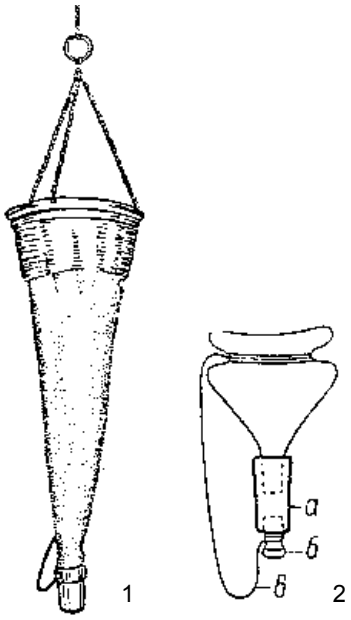
Использование организмов зоопланктона для биологического анализа воды. Зоопланктон, как всякое сообщество, характеризуется определенной, присущей ему организацией. Малейшие изменения условий существования организмов отражаются на видовом составе, численности, соотношении отдельных групп, структуре популяций. Таким образом, зоопланктон в целом и его отдельные виды служат характеристикой состояния водной среды, показателем нарушения чистоты воды, степени загрязнения водоема. Прежде всего к индикаторам загрязнения следует отнести коловраток и простейших. Многие из них приурочены к водам определенной степени загрязнения, способны существовать в самых разнообразных, в том числе неблагоприятных условиях, например, при недостаточном содержании кислорода в воде или значительном количестве органических веществ.

Оценка качества воды или степени загрязнения вод может производиться двумя путями: 1) по результатам сравнения населения на участках загрязненных с участками контрольными, т. е. теми, где загрязнение отсутствует, 2) по индикаторным организмам.

В первом случае оценка качества воды производится на основании анализа материала по качественному и количественному развитию зоопланктона. Учитывается численность, биомасса зоопланктеров, общее число видов в основных таксономических группах (простейшие, коловратки, кладоцеры, копеподы), соотношение основных групп по численности, массовые виды и их процент от общей численности. Принимается во внимание наличие того или иного вида или группы и даже в большей степени отсутствие вида или группы. Учитываются изменения в структуре зоопланктонного сообщества, нарушение в соотношении между основными группами. Признаками изменений условий существования в худшую сторону являются присутствие в пробе самцов, которые по своим размерам значительно меньше, чем самки, наличие эфиппиев или, например, появление ярко-красной окраски у дафний вследствие увеличения содержания гемоглобина в крови, что служит признаком низкого содержания в воде кислорода. Подобную картину можно, кстати, наблюдать и в обычном домашнем аквариуме.

Во втором случае для экологической оценки качества воды используют систему сапробных организмов (при отсутствии каких-либо специфических загрязнений), которая основана на зависимости видового состава и количественных характеристик от концентрации органических веществ в водоеме. Согласно системе сапробности, разработанной еще в начале XX века немецкими учеными Р. Колквитцем и М. Марссоном, в зависимости от загрязнения органическими веществами в водоеме образуются несколько зон: полисапробная (очень грязная), мезосапробная с двумя подзонами: α- и β-мезосапробные (загрязненная в большей или меньшей степени) и олигосапробная (чистая). Для каждой из этих зон характерно более или менее интенсивное развитие тех или иных организмов зоопланктона – показателей сапробности. Так, вблизи выпуска сточных вод Кондопожского ЦБК в Кондопожской губе Онежского озера или Сегежского ЦБК в Выгозере вследствие содержания в воде значительного количества органических веществ наблюдается высокая плотность бактерий, простейших, а вслед за ними ракообразных и коловраток – свыше 300 тыс. экз./м^3 в первом и до 170 тыс. экз./м^3 во втором случае. Со временем по мере изменения условий существования одни виды замещаются другими (например, в Кондопожской губе на смену босминам приходят дафнии), снижается количество наиболее чувствительных видов (такого как рачок диаптомус в оз. Выгозеро) или эти рачки даже совсем исчезают из планктона, что наблюдается в озере Поппалиярви (система р. Кенти) под действием сточных вод Костомукшского ГОКа. В целом уменьшается видовое разнообразие зоопланктона, значительно увеличивается количество простейших и коловраток по сравнению с ракообразными. В то же время в олигосапробной зоне, к которой можно отнести центральную часть Онежского озера, разнообразный по составу зоопланктон не сопровождается большой численностью организмов – менее 20 тыс. экз./м^3. Обычно по составу и количественному развитию зоопланктона большинство карельских водоемов относится к классу олиго-β-мезосапробных, т. е. чистых или умеренно загрязненных.

Видами-индикаторами повышенной сапробности среди простейших являются *Paramecium caudatum*, *Didinium nasutum*, *Aspidisca costata*, *Stentor roeseli*, *Vorticella convallaria* (рис. 1: *1*, *8–9*, *11*, *12*, *15*). Многие коловратки могут служить хорошими индикаторами качества вод. Так, о несомненном загрязнении воды говорит развитие *Brachionus urceus*, *Rotaria neptunia*, *Rotaria rotatoria*, *Epiphanes senta* (рис. 2: *18*, *23*, *24*, *29*), показателями β-мезосапробных вод являются часто встречающиеся в наших водоемах *Filinia longiseta*, *Keratella coechlearis* и более редкий *Brachionus calyciflorus* (рис. 2: *3*, *11*, *20*). Среди веслоногих рачков циклопиды (различные виды циклопов) более выносливы к загрязнению, чем каланоиды (диаптомус), они часто встречаются как в β-мезосапробной, так и в α-мезосапробной зоне. Из ветвистоусых рачков в водах с повышенным содержанием оранических веществ в больших количествах развиваются *Daphnia longispina*, *Bosmina longirostris*, *Chydorus sphaericus* (рис. 3: *4*, *5*, *7*). В целом же следует отметить, что большинство видов-индикаторов сапробности среди простейших, коловраток и ракообразных относится к олиго-β- и β-мезосапробным формам. Показатели очень чистых вод или, напротив, очень грязных малочисленны.



Р и с. 14. КАЧЕСТВЕННАЯ ПЛАНКТОННАЯ СЕТЬ АПШТЕЙНА:

1 – общий вид, *2* – стаканчик к ней: а – резиновая трубка, б – пробка (или зажим), в – шнурок

Методы отбора и обработки проб зоопланктона. Для научных целей существуют специальные приборы, которые позволяют отбирать пробы зоопланктона на разных глубинах, отлавливать различные по размерам группы организмов (планктонная сеть Джеди, планктобатометры различных конструкций). Более простым и доступным методом, не требующим сложного оборудования, является способ отбора проб путем процеживания (отобранного ведром или ковшом) какого-то объема воды (обычно 50–100 л) через так называемую качественную сеть Апштейна (рис. 14). Эта сеть состоит из капронового конуса, нашитого с помощью полоски плотной ткани на металлическое кольцо, заканчивающегося снизу металлическим (можно стеклянным) стаканчиком, в котором концентрируется собираемый планктон. Совсем простой способ – возможный отлов сачком, сшитым из плотной капроновой ткани, самых крупных особей в прибрежной зоне водоема и затем смыв в какой-либо сосуд.

Живые или фиксированные формалином (1 см³ на 100 см³ воды) или спиртом (70%) пробы просматривают под микроскопом, однако бывает достаточно и бинокуляра. Пробу помещают небольшими частями в часовое стекло, чашку Петри или приспособленную для этих целей прозрачную посудину. Интенсивное движение организмов в живой пробе можно приостановить добавлением раствора желатина (10%).

На рисунках 1–6 показаны наиболее распространенные в наших водоемах формы зоопланктона – представители основных систематических групп, в том числе и показатели загрязненных вод.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

Жизнь животных. Т.1 и 2. Беспозвоночные. М., 1968.

Киселев И. А. Планктон морей и континентальных водоемов. Л., 1968. Т. 1; 1980. Т. 2.

Определитель пресноводных беспозвоночных Европейской части СССР. Л., 1977. 511 с.

Реймерс Н. Ф., Яблоков А. В. Словарь терминов и понятий, связанных с охраной живой природы. М., 1982. 144 с.

Хейсин Е. М. Краткий определитель пресноводной фауны. М., 1962. 148 с.

Яшнов В. А. Практикум по гидробиологии. М., 1969. 428 с.

СЛОВАРЬ используемых терминов

БИОМАССА – выраженное в единицах массы (веса) или энергии количество живого вещества тех или иных организмов (популяций, видов, группы видов, сообществ в целом), приходящихся на единицу площади или объема.

БИОТОП – относительно однородное по абиотическим факторам среды пространство, занятое биоценозом.

БИОЦЕНОЗ – исторически сложившаяся группировка организмов различных видов, обитающих в пределах того или другого биотопа.

ДЕТРИТ – органический ил и остатки организмов в водоемах.

ЗООПЛАНКТОН (от греч. *zoon* – животное и *planctós* – блуждающий) – совокупность мелких животных организмов, находящихся во взвешенном состоянии в воде, свободноплавающих или свободнопарящих в ее толще, не способных сопротивляться течениям.

ПОЛИФАГ – организм, питающийся разнообразными кормами.

ПОПУЛЯЦИЯ – совокупность особей одного вида, населяющих определенное пространство с относительно однородными условиями обитания.

СТЕНОБИОНТ – организм, требующий строго определенных условий существования.

ТАКСОН – любая систематическая категория организмов (вид, род, семейство и т. д.).

УБИКВИСТ – широко распространенный вид, живущий в самых разнообразных условиях среды.

ФАКТОР АБИОТИЧЕСКИЙ – условие или совокупность условий неорганического мира, фактор неживой природы.

ЦИКЛОМОРФОЗ – сезонная смена поколений, каждое из которых имеет заметные морфологические особенности.

ЭВРИБИОНТ – организм, живущий в различных, порой резко различающихся условиях среды.

ЭКТОПАРАЗИТ – организм, паразитирующий на поверхности тела хозяина.

ЭНДЕМИК – местный вид, обитающий только в данном регионе.

ТЕМЫ ДЛЯ ФАКУЛЬТАТИВНЫХ ЗАНЯТИЙ



Микроскопический мир живых существ настолько разнообразен и замечателен сам по себе, что наблюдения за ним интересны и без отношения к какой-либо теме. Для начала можно предложить с использованием наиболее доступных для неспециалиста определителей (Хейсин, 1962; Яшнов, 1969; Определитель.., 1977) следующие:

1. Видовое разнообразие зоопланктонного сообщества.

2. Сравнение зоопланктона, отобранного в условиях литорали – песчаной или каменистой или в различных типах зарослей макрофитов.

3. Сезонные изменения зоопланктона: сравнить планктон зимний (при возможности), весенний (май), летний (июль, август), осенний (октябрь).

4. Зоопланктон – показатель качества воды.

Современное состояние водоемов системы реки Кенти

Н. М. Калинкина, В. И. Кухарев,
А. К. Морозов, А. В. Рябинкин

На севере Карелии располагаются живописные места, где было создано одно из величайших творений человека – эпос «Калевала». В народных песнях представлены и величественная картина мироздания, и яркие зарисовки быта – обычаев коренного населения. Край Калевалы – это древние камни, покрытые лишайниками, словно узорными накидками; дикие леса и населяющие их звери и птицы; это и озера – главная достопримечательность края. И среди них – озерно-речная система р. Кенти, которая на карте Карелии выглядит словно нитка бус: озера – голубые бусины – нанизаны на голубую же нить р. Кенти. Поэтично звучат названия озер – Окуневое, Поппалиярви, Койвас, Кенто, Алаярви, и так же поэтичны пейзажи, которые можно наблюдать на их берегах (рис. 1, 2).

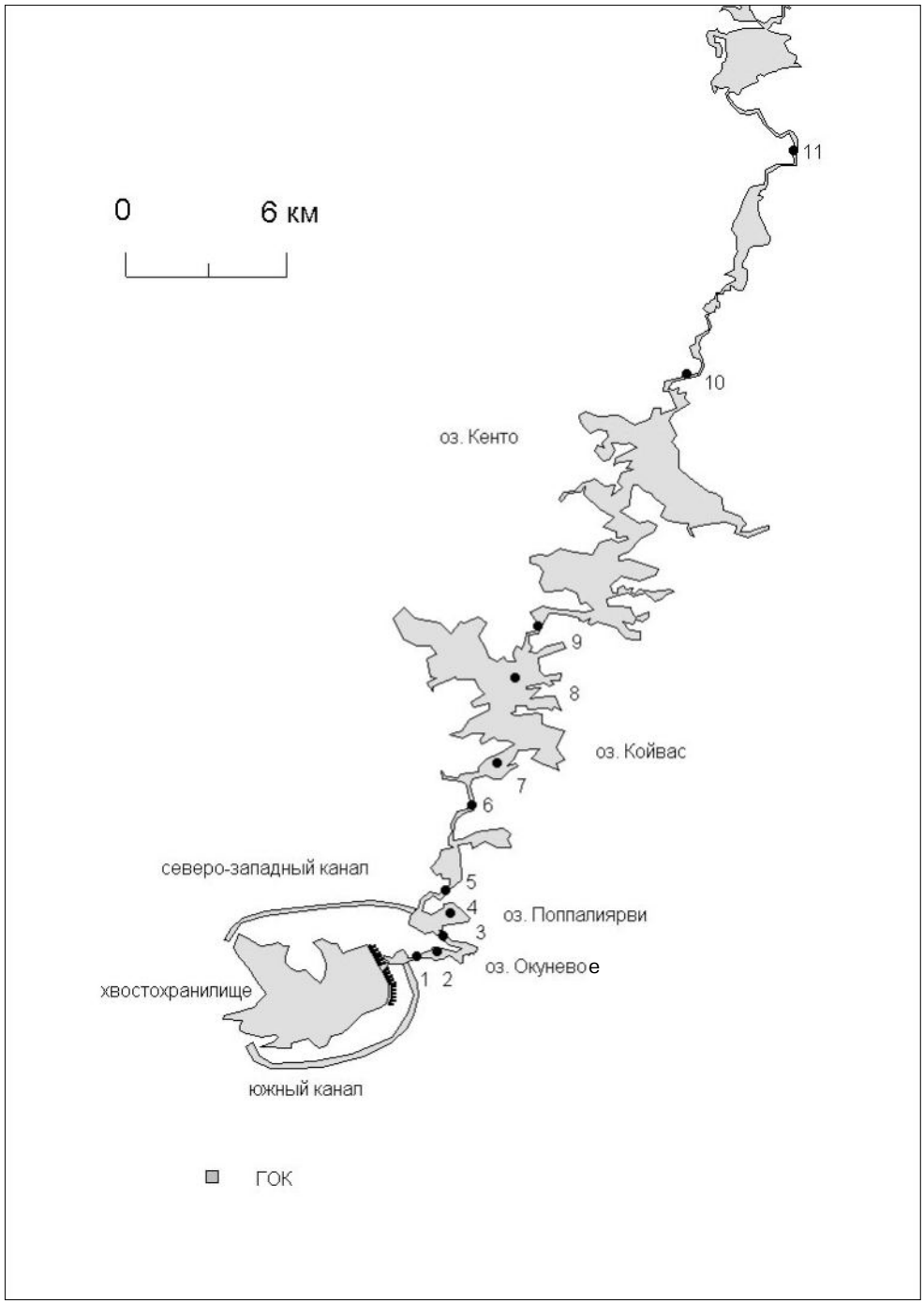
В 1970-х гг. вблизи верхних озер системы р. Кенти возник г. Костомукша, который был построен в связи с возведением крупного горно-обогатительного комбината – Костомукшского. Так началось промышленное освоение человеком этого удивительного края. Сильно изменилась природа вблизи комбината. В прежние годы озера системы р. Кенти были населены обычными для этого края животными. Из рыб



Р и с. 1. ОЗЕРО КЕНТО



Р и с. 2. ПОРОЖИСТЫЙ УЧАСТОК Р. КЕНТИ



Р и с. 3. ОЗЕРНО-РЕЧНАЯ СИСТЕМА Р. КЕНТИ; НОМЕРАМИ ОБОЗНАЧЕНЫ СТАНЦИИ ОТБОРА ГИДРОХИМИЧЕСКИХ И ГИДРОБИОЛОГИЧЕСКИХ ПРОБ

здесь обитали окунь, щука, плотва, в оз. Кенто встречались сиг, ряпушка, корюшка. На порожистых участках реки можно было поймать хариуса. Из озер Куйто в р. Кенти заходили лососи. Рыбы питались мелкими рачками, в изобилии водившимися в озерах. Среди них встречались и виды, обитающие в чистых, так называемых олиготрофных водоемах: *Heterocope appendiculata* Sars, *Holopedium gibberum* Zaddach и др.

В 1982 г. был построен Костомукшский горно-обогатительный комбинат, на котором обогащается железная руда, добываемая на Костомукшском железорудном месторождении. Сначала руда перемалывается до очень мелких частиц (размером 56 микрон и менее), которые затем смешиваются с водой. Применение сильных магнитов позволяет отделить руду с высоким содержанием железа от относительно бедной руды. Последняя называется «хвостами», которые отводятся по специальным трубам в верхнее озеро системы – бывшее оз. Костомукшское, превращенное теперь в хвостохранилище (рис. 3).

При полной проектной мощности на комбинате ежегодно добывается 24 млн. т железной руды, обеспечивается выпуск 9 млн. т железорудных окатышей. За год накапливается около 14 млн. т хвостов, которые заполняют хвостохранилище. За 20 лет работы комбината площадь хвостохранилища возросла многократно. По литературным данным, хвостохранилище Костомукшского ГОКа по площади – 3400 га – одно из самых больших в России. Для сравнения: площадь хвостохранилища Михайловского ГОКа – 2212 га, Оленегорского – 1074 га, Ковдорского ГОКа – 869 га (Чайкина, Объедкова, 1995).

Хотя в настоящее время комбинат работает вполовину своей мощности, тем не менее остро стоит проблема переполнения хвостохранилища не только хвостами, но и скапливающимися в нем атмосферными осадками. Для предотвращения прорыва плотины, которая отделяет хвостохранилище от озер системы р. Кенти, проводятся регулируемые сбросы техногенной воды в озера Окуневое и Поппалиярви. В Институте водных проблем Севера Карельского научного центра РАН под руководством П. А. Лозовика к настоящему времени подробно исследовано изменение химического состава воды озер системы р. Кенти (Современное состояние.., 1998; Поверхностные воды.., 2001).

Вода, поступающая из хвостохранилища в водоемы, имеет своеобразный химический состав. Так, в 1999 г. общая минерализация воды в хвостохранилище достигла 506 мг/л. Концентрация ионов калия в техногенных водах составляет 125 мг/л, натрия – 13, кальция – 26, магния – 12, хлоридных ионов – 7, сульфатных ионов – 110, гидрокарбонатных ионов – 145 мг/л, нитратных ионов – 7 мг N/л. Для сравнения приведем природные уровни содержания этих веществ, характерные для водоемов севера Карелии: концентрация калия – 0,3 мг/л, натрия – 1,1, кальция – 2,8, магния – 1,2, хлоридных ионов – 0,8, сульфатных ионов – 1,9, гидрокарбонатных ионов – 11 мг/л, нитратные ионы отсутствуют.

Каковы же источники поступления в техногенные воды, а вместе с ними и в водоемы минеральных веществ? Ответить на поставленный вопрос позволяют знания о составе пород Костомукшского железорудного месторождения. Железные руды этого месторождения вмещают глубоко измененные осадочные породы – слюдистые ритмично-слоистые сланцы по песчано-глинистому осадку, углеродсодержащие сланцы с сульфидной минерализацией и железистый кварцит (Горьковец и др., 1991). В рудах широко представлена темная слюда биотит, основными компонентами которой являются: флогопит – $KMg_3AlSi_3O_{10}(OH)_2$, аннит – $KFe^{2+}{}_3AlSi_3O_{10}(OH)_2$, феррианит – $KFe^{2+}Fe^{3+}Si_3O_{10}(OH)_2$ или оксианнит – $KFe^{2+}Fe^{3+}{}_2AlSi_3O_{10}(OH)_2$ (Лазарев, 1971). Из этих же компонентов состоят и хвосты, образующиеся при обогащении руды.

В процессе выветривания силикатные минералы являются главными источниками поступления в раствор основных ионов – калия, натрия, кальция, магния. При этом минералы претерпевают ряд превращений, которые можно проследить на примере полевого шпата (Environmental geochemistry.., 1997). Конечным продуктом трансформации полевого шпата являются оксид (гидроксид) алюминия, боксит и латерит. Рассмотрим реакции превращения полевого шпата в каолинит, а затем в гиббсит. Реакция преобразования полевого шпата в каолинит выглядит следующим образом:

$$2KAlSiO_3O_8 + 9H_2O + 2H^+ \rightarrow Al_2Si_2O_5(OH)_4 + 2K^+ + 4H_4SiO_4.$$

На следующей стадии растворения каолинит преобразуется в гиббсит:

$$Al_2Si_2O_5(OH)_4 + 5H_2O \rightarrow 2Al(OH)_3 + 2H_4SiO_4.$$

При более высоких значения pH и концентрациях калия в окружающей среде из полевого шпата вместо каолинита образуется серицит:

$$3KAlSi_3O_8 + 12H_2O + 2H^+ \rightarrow KAl_2(Si_3O_{10})(OH)_2 + 2K^+ + 6H_4SiO_4.$$

Из серицита образуется гиббсит:

$$KAl_2(Si_3O_{10})(OH)_2 + 9H_2O + 2H^+ \rightarrow 2Al(OH)_3 + 3H_4SiO_4 + K^+.$$

В ходе этих реакций ионы калия из минералов поступают в раствор. Натрий и кальций выщелачиваются при растворении плагиоклаза ($NaAlSi_3O_8 – CaAl_2Si_2O_8$):

$$2NaAlSi_3O_8 + 9H_2O + 2H^+ \rightarrow Al_2Si_2O_5(OH)_4 + 2Na^+ + 4H_4SiO_4.$$

В естественных условиях, когда горные породы не нарушены, скорость этих реакций чрезвычайно мала, в результате концентрация основных ионов в природных водах, контактирующих с горными породами, оказывается невысокой. Что же происходит при переработке руд? Во-первых, руду очень сильно измельчают, вследствие чего многократно увеличивается площадь соприкосновения частиц минералов с водой, что вызывает усиление поступления ионов из минералов. Во-вторых, воду многократно используют при обогащении руды: процесс магнитной сепарации приводит к дефициту электронов в атомах компонентов техногенных вод, что усиливает процесс выщелачивания катионов из руды.

Кроме основных ионов, в техногенных водах отмечаются высокие концентрации сульфатных и нитратных ионов. Источником сульфатов являются сульфиды, представленные в рудах Костомукшского месторождения пиритом. Нитраты поступают в хвостохранилище

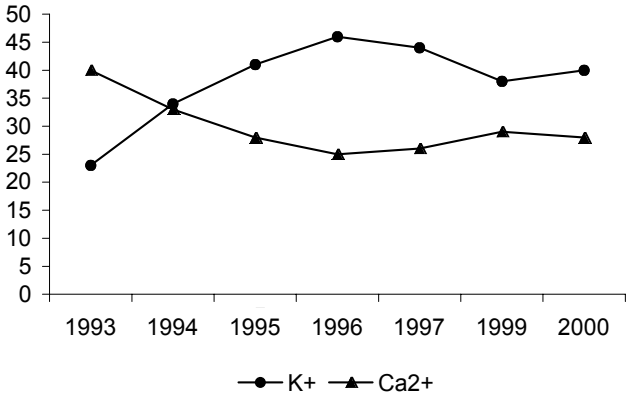
из карьера вместе с рудничными водами. При взрывных работах в карьере в большом количестве используются азотсодержащие взрывчатые вещества, они и являются источником нитратных ионов.

Из пород Костомукшского месторождения в воду хвостохранилища поступают тяжелые металлы, однако концентрации никеля, хрома, кобальта, свинца и кадмия в техногенных водах невелики – ниже предельно допустимых уровней для воды рыбохозяйственных водоемов. Данное явление объясняется тем, что в хвостохранилище образовался геохимический барьер, который препятствует поступлению металлов из твердых отходов в техногенную воду. Одна из причин этого – щелочные условия (pH = 8,3), характерные для воды, скопившейся в хвостохранилище. Подвижность многих металлов при таких значениях pH сильно снижается. Кроме того, в техногенных водах содержатся гидроксиды марганца и железа, которые адсорбируют тяжелые металлы, что уменьшает их поступление в воду (Walder, Chavez, 1995). Сформировавшийся геохимический барьер выполняет важную роль предотвращения загрязнения системы р. Кенти тяжелыми металлами.

Калий, натрий, кальций, магний, гидрокарбонатные, сульфатные, а в последнее время – и нитратные ионы поступают вместе с техногенными водами в нижележащие озера системы р. Кенти. В таблице приведен химический состав одного из водоемов системы – оз. Койвас. До строительства Костомукшского комбината минерализация воды озер системы р. Кенти составляла 14–16 мг/л. В 1993 г. ее величина для оз. Койвас достигла 35 мг/л, за 7 лет наблюдений общая минерализация воды в этом озере возросла в три раза. Заметно изменился ионный состав, особенно увеличились концентрации калия – главного компонента техногенных вод. На рис. 4 хорошо заметно, что в 1994 г. этот катион стал преобладать в водах озера, одновременно кальций перестал доминировать в ионном составе. Возросло также содержание сульфатов и нитратов. Подобная картина нарушения минерального состава воды наблюдается и в озерах Окуневом, Поппалиярви и Кенто.

СРЕДНИЕ ЗНАЧЕНИЯ СУММЫ ИОНОВ (мг/л)
И ИОННОГО СОСТАВА ВОДЫ (ММОЛЬ%)
ОЗ. КОЙВАС в 1993–2000 гг.

Год	Ионный состав								Сумма ионов
	K^+	Na^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	HCO_3^-	SO_4^{2-}	Cl^-	NO_3^-	
1993	23	10	40	27	44	52	4	0	35,0
1994	34	13	33	20	30	44	6	3	69,1
1995	41	11	28	20	44	48	4	4	85,5
1996	46	10	25	19	43	52	3	2	102,1
1997	44	12	26	19	42	50	4	4	96,1
1999	38	10	29	23	38	52	5	5	118,0
2000	40	10	28	22	37	56	4	3	129,0

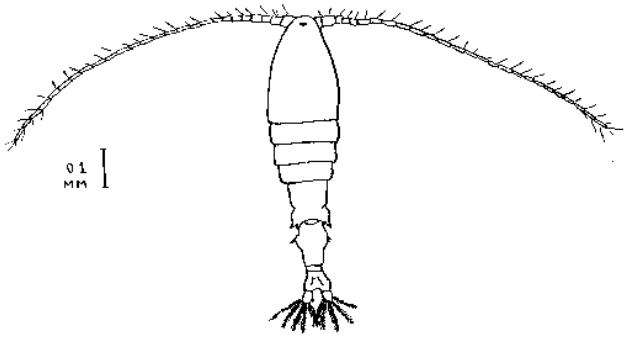


Р и с. 4. КОНЦЕНТРАЦИЯ ИОНОВ КАЛИЯ И КАЛЬЦИЯ В ВОДЕ ОЗ. КОЙВАС В 1993–2000 гг.; ПО ОСИ АБСЦИСС – ГОДЫ НАБЛЮДЕНИЯ; ПО ОСИ ОРДИНАТ – ММОЛЬ%

В результате человеческой деятельности самые разнообразные вещества поступают в озерно-речную систему р. Кенти. Какова же была реакция водных организмов на столь сильное изменение химического состава среды их обитания?

В Институте водных проблем Севера Карельского научного центра РАН ведутся многолетние гидробиологические исследования на водоемах системы р. Кенти под руководством В. И. Кухарева. К настоящему времени изучено состояние фитопланктона, зоопланктона, зообентоса озер, установлены причины, вызвавшие изменения в сообществах гидробионтов (Чекрыжева, 1995; Кухарев и др., 1998; Калинкина и др., 1999; Хазов и др., 1999).

Исследования показали, что одними из наиболее уязвимых к действию отходов комбината оказались организмы зоопланктона. На самых первых стадиях загрязнения из верхних озер пропали рачки *Holopedium gibberum*, затем – *Eudiaptomus gracilis* Sars (рис. 5) и *Heterocope appendiculata* Sars.



Р и с. 5. ВНЕШНИЙ ВИД САМКИ *EUDIAPTOMUS GRACILIS*

Указанные виды зоопланктона являются ценным кормом для рыб. Важно было узнать, каковы причины, вызвавшие вымирание



Р и с. 6. ПРОВЕДЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТОВ В ПОЛЕВЫХ УСЛОВИЯХ НА ОЗ. КОЙВАС

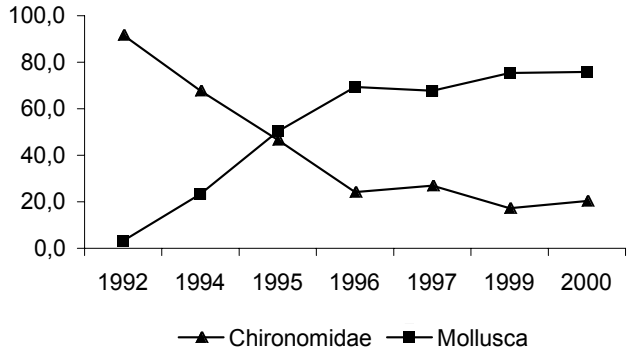
названных животных в озерах. Для этого был специально разработан токсикологический метод, который можно использовать в полевых условиях (Калинкина, Коросов, 1995; Калинкина, 1999). Согласно данному методу, в опытах применяются обычные пробирки, которые заполнены растворами соли калия с различными концентрациями. Пробирки укреплены в штативе (рис. 6). В каждую пробирку помещают по два рачка. Штативы находятся в специальных кюветах, расположенных в прибрежной зоне водоема для поддержания температуры, близкой к естественной. Через сутки исследуют реакцию рачков на действие растворов калия.

Метод основан на фундаментальной закономерности, согласно которой реакция каждого организма на воздействие вещества зависит от его концентрации в среде обитания. Особенно ярко эта зависимость проявляется при воздействии минеральных компонентов. Чем больше концентрация, тем более выражена реакция организма. Именно данная закономерность положена в основу токсикологических методов, позволяющих оценить вредность вещества. Она же была использована и нами, но с другой целью – оценить толерантность (устойчивость) рачков к действию вещества, т. е. определить те концентрации загрязнителя, при которых рачки не смогут существовать. В опытах было установлено, что критические концентрации калия, при которых следует ожидать вымирание рачков *Eudiaptomus gracilis* и *Heterocope appendiculata,* составили 50–60 мг/л.

Предложенный нами прогноз подтвердился для озер Окуневого и Поппалиярви, где в 1994–1995 гг. была достигнута эта концентрация, после чего рачки в названных водоемах исчезли. Эти виды относятся к типичным обитателям северных водоемов со слабоминерализованной водой и являются стенобионтными видами, приспособленными к жизни только в очень узких диапазонах различных факторов среды, в данном случае – при низких концентрациях в воде минеральных компонентов (в том числе и калия). Именно они и оказались наиболее уязвимыми к загрязнению водоемов калием.

В то же время в загрязняемых водоемах стали отмечаться случаи массового развития других видов зоопланктона. Например, в оз. Окуневом в 1995 г. наблюдалось массовое развитие коловратки *Asplanchna girodi* de Guerne. В оз. Поппалиярви в 1996 г. произошла вспышка численности босмины *Bosmina longirostris* O. F. Muller. Характерно, что массовое развитие отмечалось для эврибионтных видов, т. е. имеющих всесветное распространение. Эти виды способны выживать в широком диапазоне факторов среды. Именно они не только смогли выдержать увеличение минерализации воды, но и нашли здесь для себя благоприятные условия, что явилось причиной их массового развития.

Водные организмы, обитающие на дне водоемов (зообентос), сходным образом отреагировали на загрязнение озерно-речной системы р. Кенти. Как на порожистых речных участках, так и в озерах системы р. Кенти реже стали встречаться в пробах именно стенобионтные виды – веснянки (*Plecoptera*), большинство обнаруженных видов поденок (*Ephemeroptera*) и ручейников (*Trichoptera*), личинки мошек (*Simuliidae*) и жуков (*Helmidae*). В то же время в донных сообществах сохранились такие эврибионтные виды, как малощетинковые черви (*Oligochaeta*), ручейники семейства *Limnophilidae*, пиявки (*Hirudinea*) и большинство видов моллюсков (*Mollusca*). Последние увеличили свою численность, больше стали их размеры, толще – раковина. На рис. 7 хорошо заметно, что смена доминирующих видов в сообществах зообентоса произошла после 1994 г., что совпадает по времени с коренным изменением ионного состава воды. Именно в 1994 г. вместо ионов кальция доминирующее положение среди катионов заняли ионы калия (рис. 4).



Р и с. 7. ИЗМЕНЕНИЕ ЧИСЛЕННОСТИ ДВУХ ОСНОВНЫХ ГРУПП (*CHIRONOMIDAE* И *MOLLUSCA*) В СООБЩЕСТВАХ ЗООБЕНТОСА ОЗ. КОЙВАС В 1992–2000 гг.; ПО ОСИ АБСЦИСС – ГОДЫ НАБЛЮДЕНИЯ; ПО ОСИ ОРДИНАТ – ДОЛЯ ОТ ОБЩЕЙ ЧИСЛЕННОСТИ (%)

Изменения наблюдаются и в сообществах рыб. В хвостохранилище исчезли окуни, а у щук найдены отклонения в структуре и функционировании печени (Богдан и др., 2000). В оз. Окуневом практически вымерли окуни, появилась уклея. У выживших окуней наблюдаются уродства – мопсовидная голова, недоразвитые гонады (Китаев, 1998). У щуки, окуня и плотвы из озер Окуневого и Поппалиярви отмечаются патологические изменения в состоянии крови: увеличилось количество лейкоцитов, нарушилось протекание процессов эритрогемолиза (Аленичев, 2000).

Таким образом, нарушение химического состава воды вызвало изменения в различных сообществах водоемов – зоопланктоне, зообентосе, ихтиоценозах. Наиболее ярко эти изменения в настоящее время проявляются в верхних озерах системы – Окуневом и Поппалиярви.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

Аленичев С. В. Динамика гематологических показателей типичных представителей ихтиофауны водоемов Карелии: Автореф. дис. … канд. биол. наук. Петрозаводск, 2000. 25 с.

Богдан В. В., Зекина Л. М., Такшеев В. И. и др. Желчнокислотный состав желчи у щуки Esox lucius при техногенном воздействии // Вопросы ихтиологии. 2000. Т. 40, № 4. С. 573–576.

Горьковец В. Я., Раевская М. Б., Володичев О. И., Голованова Л. С. Геология и метаморфизм железисто-кремнистых формаций Карелии. Л., 1991. 176 с.

Калинкина Н. М. Два метода биотестирования природных и сточных вод // Экологические исследования природных вод Карелии. Петрозаводск, 1999. С. 83–87.

Калинкина Н. М., Коросов А. В. Исследование химической толерантности гидробионтов методами водной токсикологии // Контроль состояния и регуляция функций биосистем. Петрозаводск, 1995. С. 93–97.

Калинкина Н. М., Власова Л. И., Морозов А. К. Сравнительная толерантность эколого-географических групп пресноводного зоопланктона к соотношению главных катионов // Важнейшие результаты научных исследований КарНЦ РАН: Тез. докл. Петрозаводск, 1999. С. 33–35.

Китаев С. П. Экспертная оценка состояния особей и популяций рыб из озерно-речной системы Кенти–Кенто и Верхнего Куйто по патолого-морфологическим показателям // Проблемы лососевых на Европейском Севере. Петрозаводск, 1998. С. 90–99.

Кухарев В. И., Калинкина Н. М., Дубровина Л. В. и др. Комплексная оценка эколого-техногенной нагрузки (Костомукшский ГОК) на водные системы (р. Кенти) // Инженерная экология. 1998. № 6. С. 33–41.

Лазарев Ю. И. Структурная и метаморфическая петрология железистых кварцитов Костомукшского месторождения. Л., 1971. 192 с.

Поверхностные воды Калевальского района и территории Костомукши в условиях антропогенного воздействия / Лозовик П. А., Маркканен С.-Л., Морозов А. К. и др. Петрозаводск, 2001. 168 с.

Современное состояние водных объектов Республики Карелия. По результатам мониторинга 1992–1997 гг. Петрозаводск, 1998. 188 с.

Хазов А. Р., Калинкина Н. М., Власова Л. И. Стабильность сообществ гидробионтов и оценка их биологического разнообразия в условиях минерального загрязнения водоемов северо-запада Карелии // Экология. 1999. № 5. С. 373–374.

Чайкина Г. М., Объедкова В. А. Биологическая рекультивация хвостохранилищ как фактор повышения экологической безопасности горного производства на рудных карьерах // Экологические проблемы горного производства, переработка и размещение отходов. Вторая науч.-техн. конф. М., 1995. С. 112–114.

Чекрыжева Т. А. Фитопланктон озер системы р. Кенти // Влияние техногенных вод горно-обогатительного комбината на водоемы системы реки Кенти. Петрозаводск, 1995. С. 68–79.

Environmental geochemisrty of the deposits and mining activities. Short course. SARB Consulting Inc., Albuquerque, New Mexico, 1997.

Walder I. F., Chavez W. X. Mineralogical and geochemical behavior of mill tailing material produced from lead-zink skarn mineralization, Hanover, Grant County, New Mexico, USA // Environment Geology. 1995. V. 26. P. 1–18.

ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ КОНДОПОЖСКОЙ ГУБЫ ОНЕЖСКОГО ОЗЕРА

Т. М. Тимакова

Человек с древних времен строит свои жилища на берегах рек и озер. До последнего времени он жил в мире с природой. И лишь в период развития технического прогресса, каких-нибудь 150 лет назад, человек вступил в конфликт с ней. Этот конфликт заключается

в интенсивном загрязнении окружающей среды и прежде всего водных объектов, так как для развития любых отраслей развивающейся промышленности требуется вода. Таким образом, улучшая свои условия жизни за счет технического прогресса, человек жертвовал природой, загрязняя ее. Уже в XIX веке в наиболее развитых странах стали замечать, что водоемы, на берегах которых сосредоточены крупные поселения людей, заметно изменяются. Эти изменения проявляются в ухудшении качественных характеристик воды, ее органолептических свойств, прозрачности, увеличении взвесей в воде. Но особенно вызывает тревогу изменение некоторых химических показателей воды, возрастание содержания вредных для здоровья человека веществ и ухудшение бактериологического состояния водоемов, поскольку последнее приводит к возникновению эпидемиологической опасности. Ведь именно через водную среду передаются многие инфекционные заболевания: чума, дизентерия, гепатит, холера и др. В последние десятилетия загрязнение водоемов достигло таких масштабов, что возникла необходимость проводить постоянный контроль за состоянием их экосистем. Можно привести много примеров, когда исследователи описывали изменения, происходящие в водных объектах при воздействии на них различных антропогенных факторов (сельское хозяйство, мелиорация, горное, металлургическое, химическое производство, а в последнее время на мелких водоемах – дачное хозяйство). Существует специально разработанная система, которая отражает степень вредности разных производств при сбрасывании их сточных вод в водоемы.

К опасным производствам, оказывающим воздействие на окружающую среду, относятся целлюлозно-бумажные комбинаты (ЦБК). Производство целлюлозы и бумаги достаточно широко развито в Карелии, так как республика обладает высоким сырьевым ресурсом для данной промышленности. Это одно из самых водоемких производств, существующих в мире. Как правило, такие комбинаты находятся на берегах крупных водоемов, обладающих первозданно высоким качеством воды. Такими водоемами в Карелии являются озера – Онежское*, Ладожское, Выгозеро.

Каким же образом сточные воды целлюлозно-бумажных комбинатов оказывают воздействие на экосистему водоемов и в чем их вредность?

Сточные воды ЦБК относятся к одним из опасных для водоемов. При производстве целлюлозы и бумаги требуется очень большое количество воды. На 1 т продукции расходуется более 500 м^3 воды. Производственные сточные воды ЦБК весьма загрязнены. На окисление этих загрязнений требуется большое количество кислорода.

Вредность производственных сточных вод ЦБК таится в тех отходах, которые образуются при варке целлюлозы. Они содержат большое количество органического вещества, часть которого относится к легкоминерализуемому (сахара, органические кислоты), а значительная часть – к трудноминерализуемому (лигнины, смолистые, дубильные вещества). Кроме того, сточные воды содержат значительное количество взвешенных веществ (разлагающиеся волокна целлюлозы и древесины, частицы коры), минеральных соединений, особенно сернистых. Важной особенностью сточных вод ЦБП является низкое содержание в них биогенных веществ – азота и фосфора, основных компонентов, вызывающих эвтрофирование водоемов. Негативное влияние этих сточных вод на водоем проявляется в интенсивном изъятии из воды кислорода на окисление органического вещества, входящего в их состав, кроме того, многие органические (фурфурол, фенолы, смолистые вещества) и сернистые соединения ядовиты для водных организмов. Сброс таких сточных вод без предварительного удаления из них органического вещества недопустим. Поэтому обязательным для ЦБК природоохранным мероприятием является удаление из их сточных вод взвесей и органического вещества. А это требует строительства мощных сооружений механической и биологической очистки сточных вод.

На конкретном примере можно проследить, каковы же последствия воздействия сточных вод ЦБК на водные экосистемы. В пределах нашей республики таким ярким примером служит АО «Кондопогабумпром» и воздействие его сточных вод на экосистему Кондопожской губы.

Кондопожская губа – один из крупных глубоководных заливов Онежского озера. Длина губы достигает 33 км, а максимальная глубина – 85 м. Совсем недавно (50–60 лет назад) этот водоем был типично олиготрофным и характеризовался высоким качеством воды. Еще в конце 1950-х гг. в вершинной части губы на побережье были обустроены прекрасное место отдыха для жителей г. Кондопоги, лодочная станция и пляж. К сожалению, в настоящее время вода здесь имеет очень неприглядный вид, обладает низким качеством и запрещена для всех видов пользования. Что же произошло с заливом?

При изготовлении целлюлозы на Кондопожском ЦБК применяется обработка древесины бисульфитом кальция с содержанием от 3 до 8% сернистой кислоты (так называемая варка целлюлозы или гидролиз древесины). В данном технологическом процессе происходит образование большого количества растворенных органических веществ, в которых преобладают лигнин и сахара. Они-то и являются наиболее опасными для водных экосистем. Для их удаления из сточных вод требуется проведение сложных операций. Например, большое количество сахаров, образующихся при гидролизе древесины, удаляется из сточных вод при использовании их для

* Онежское озеро. Экологические проблемы. Петрозаводск, 1999. 290 с.

получения этилового спирта, а отходов спиртового производства – барда – для получения кормовых дрожжей, в которых нуждается сельское хозяйство. Однако такая предварительная обработка сточных вод (или, как их иначе называют, щелоков) не освобождает их полностью от присутствия органических и минеральных компонентов. Даже при наиболее совершенной утилизации около 10% органического вещества щелоков переходит в сточные воды. Кроме того, сточные воды ЦБК содержат значительное количество взвешенных веществ.

В Кондопожскую губу сточные воды ЦБК стали сбрасываться с 1929 г. Сначала производство имело маленькие мощности и в водоем ежегодно поступало небольшое количество сточных вод (7 тыс. м^3), которые практически не имели никакой очистки. В течение первого десятилетия вредное воздействие на водоем ощущалось на очень небольшой площади около комбината. Особенно оно проявлялось в донных отложениях, где на площади 1 га образовалось искусственное дно, состоящее из древесного волокна, коры, щепы. В 1942 г. комбинат был остановлен и вновь функционировать начал только в 1947–1948 гг. Объем сточных вод в этот период был также небольшим (2,6 тыс. м^3/год). Впоследствии производство наращивало мощности, и объем сточных вод непрерывно увеличивался. Вплоть до начала 1960-х гг. комбинат работал без каких-либо очистных сооружений. За это время в вершинной части губы заметно расширился район, подверженный загрязнению. Явно проявились изменения в химическом составе воды, отмечалось обеднение ее кислородом. В отдельных участках кислород в воде полностью отсутствовал. Правда, ситуация немного улучшалась в периоды водообменных процессов, когда благодаря сильным ветрам восточного направления происходил нагон чистых вод в вершинную часть губы из озера. Донные отложения к этому периоду пострадали еще больше. Уже на территории около 15–17 км^2 вблизи комбината они были сформированы техногенными отходами. Кислород интенсивно поглощался из воды илами и расходовался на микробиологические процессы минерализации органического вещества. И в илах, и в воде около дна скапливались очень вредные для организмов вещества – сероводород, метан, аммиак. Такие илы оказались непригодными для жизни донных организмов. К данным условиям могли приспособиться лишь самые выносливые организмы – олигохеты, интенсивно развивалась бактериальная флора. Положение усугублялось в зимний период, когда залив был покрыт льдом. Зимой из-за льда был нарушен контакт водной массы с атмосферой, кроме того, практически отсутствовал фотосинтез, т. е. в этот период как никогда складывались тяжелые условия для обогащения вод кислородом. И хотя низкая температура воды сдерживала процессы самоочищения, на которые расходуется большое количество кислорода, тем не менее его дефицит проявлялся наиболее сильно. Сточные воды комбината в этот период распространялись в придонных слоях водной толщи на значительные расстояния в глубь губы.

В конце 1960-х гг. экологическая ситуация в вершинной части губы была крайне неблагополучной. Присутствие взвеси волокна в воде, наличие в ней вредных веществ, развитие бактерий, среди которых могли быть и патогенные микробы, явилось причиной закрытия места отдыха для жителей г. Кондопоги, которое находилось в вершинной части губы, и перенесения места водозабора из губы в оз. Нигозеро. Загрязнение прослеживалось вплоть до о. Соколий. Остальная часть акватории губы оставалась относительно чистой, хотя в отдельные периоды при сильных ветрах северо-западного направления происходил вынос загрязнений из вершинной части в центр губы.

Чтобы избежать дальнейшего распространения загрязнений на акватории водоема, перед ЦБК встала проблема проведения природоохранных мероприятий по удалению из сточных вод волокна и органических веществ. Необходимо отметить, что с 1960-х гг. на ЦБК постоянно проводились природоохранные мероприятия, включающие сокращение употребления свежей воды, внедрение новых технологий и оборудования по очистке сточных вод и утилизации отходов производства. Для снижения в сточных водах содержания органических веществ и волокна были запущены два производства, которые привели к частичному извлечению из них сахаров (гексоз и пентоз) и лигносульфонатов, и механические очистные сооружения для изъятия волокна. Это весьма благоприятно сказалось на экосистеме губы, в первую очередь, на донных отложениях, так как заметно снизилось их загрязнение бумажным и целлюлозным волокном. Та площадь дна, которая уже была подвержена загрязнению бумажной пульпой, до сих пор остается практически безжизненной. Благоприятные условия для жизни здесь имеют лишь микроорганизмы. Изъятие из сточных вод сахаров также благоприятно сказалось на заливе. Прежде всего уменьшилось поглощение из воды кислорода на их минерализацию. Однако расширение производства, увеличение выпускаемой газетной бумаги сопровождалось неуклонным ростом объема сбрасываемых в губу сточных вод. Разбавляющая способность озерных вод в вершинной части губы уже не справлялась с объемом сбрасываемых в нее загрязнений. Поэтому было принято решение построить рассеивающий выпуск сточных вод. Он был построен и введен в эксплуатацию в 1979 г. Теперь сточные воды стали сбрасываться не потоком в прибрежье, а подавались по трубам в глубь водной массы, где и рассеивались в воде. При этом способе происходило значительно более сильное их разбавление водами залива. В меньшей степени стало проявляться их

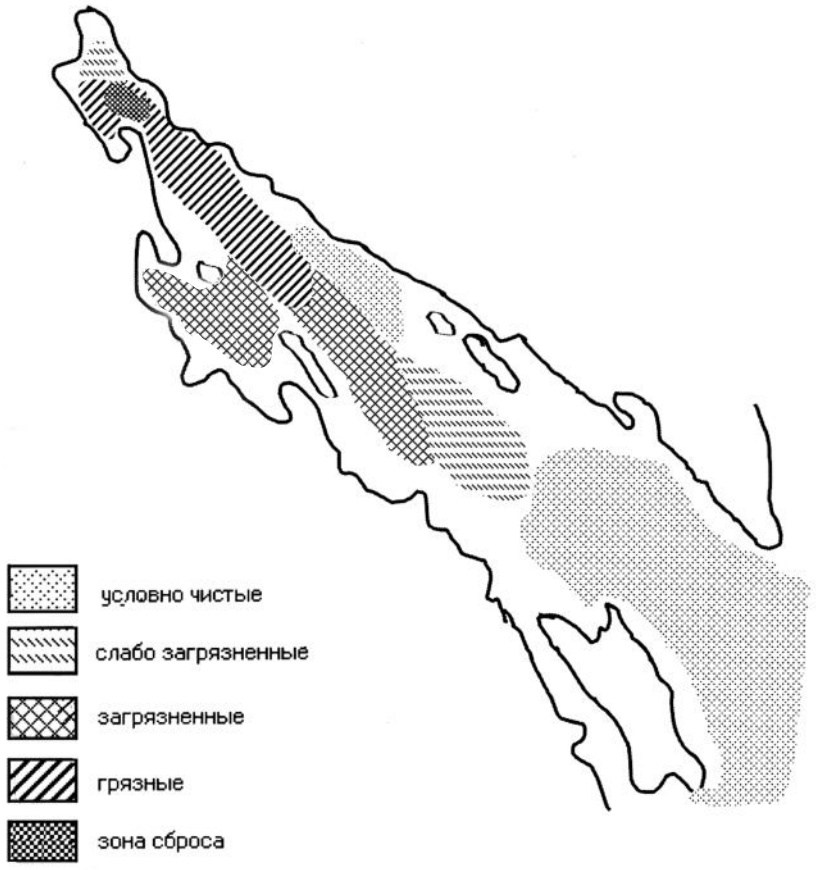


СХЕМА РАСПРОСТРАНЕНИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ В КОНДОПОЖСКОЙ ГУБЕ ОНЕЖСКОГО ОЗЕРА

вредное действие на водные организмы, создавались более благоприятные условия для минерализации органических веществ. Уже в первые годы работы рассеивающего выпуска в экосистеме губы произошли изменения, которые свидетельствовали о некотором улучшении экологического состояния в вершинной части губы. В то же время площадь загрязнения расширилась. Практически вся акватория залива в большей или меньшей степени оказалась под влиянием сточных вод комбината. Как и в прошлые годы, наиболее загрязненным участком оставался вершинный район.

В начале 1980-х гг. на комбинате была запущена Станция биологической очистки (СБО) сточных вод. Почти все производственные воды и коммунально-бытовые сточные воды г. Кондопоги стали подаваться на биологические очистные сооружения. Очистка сточных вод на СБО осуществляется в аэротенках при участии активного ила. Она основана на микробиологическом разложении органического вещества сточных вод в аэробных условиях. В сточные воды, которые непрерывно перемешиваются и насыщаются кислородом, вводится активный ил, представляющий собой скопление бактерий, грибов, водорослей, простейших. Все эти организмы питаются органическим веществом сточных вод, при этом они разрушают его, интенсивно размножаются и увеличивают свою биомассу. Затем, когда в сточных водах питательный ресурс исчерпывается, образуется осадок активного ила. Активный ил со станции биологической очистки удаляется, но небольшие его количества повторно вводятся в сточную воду в качестве материала для интенсификации микробиологических процессов при очистке следующей порции сточных вод. Данный процесс требует определенного времени, хотя значительно меньшего, чем если бы он происходил в водоеме. В нем участвуют в основном микроорганизмы из различных систематических групп, которые способны разрушать всевозможные органические вещества (сахара, крахмалы, спирты, фенольные соединения, жирные кислоты, эфиры), а также окислять восстановленные серосодержащие, азотсодержащие, углеродсодержащие соединения. Для активизации работы микроорганизмов в аэротенки добавляются биогенные элементы – соли азота и фосфора. Их доза не должна превышать количества биогенных веществ, необходимых для жизнедеятельности микроорганизмов, иначе неизрасходованные биогенные вещества будут выноситься в водоем. Отладка работы станции биологической очистки – процедура довольно сложная. На Кондопожском ЦБК эта работа, включая реконструкцию СБО, продолжалась более 10 лет. Следует отметить, что функционирование СБО в период ее существования сопровождалось

постоянным улучшением ее работы. Негативным моментом работы СБО является непрогнозируемый вынос биогенных веществ – азота и фосфора в водоем, что провоцирует развитие в нем процессов антропогенного эвтрофирования.

Насыщение водных масс Кондопожской губы солями фосфора – главного эвтрофирующего агента – происходило весьма быстро. Уже к концу 1980-х гг. его концентрация в воде достигла около 30 мкг/л, т. е. того предела, когда в экосистеме явно проявились признаки эвтрофирования. Прежде всего это сказалось на ускорении развития планктонных водорослей. Их численность и биомасса увеличились в десятки раз. Заметное ускорение получили процессы первичного продуцирования органического вещества. Первоначально эвтрофированием была затронута вершинная часть губы, но к настоящему времени этот процесс распространился на значительную часть акватории водоема, хотя интенсивность его в разных районах неодинакова. Наиболее сильное развитие он имеет в вершинной части губы. Этот район характеризуется как эвтрофный, центральная часть приближается к мезотрофному уровню, а на выходе из губы пока сохраняются признаки олиготрофии. Эвтрофирование водоема сказывается на всех его обитателях (водных и донных сообществах организмов). На первых этапах эвтрофирования, за счет наиболее обильного развития планктонных водорослей и микроорганизмов, в водоеме улучшаются кормовые условия для зоопланктона (мелкие рачки, которыми питаются рыбы), а также обитателей донных отложений. В сообществах, населяющих водную массу и донные отложения, увеличиваются их численность и биомасса (вес организмов во всем сообществе). Но неизменным остается их разнообразие (состав видов организмов в сообществе). Когда же процесс эвтрофирования достигает высокого уровня развития, возникают негативные изменения уже в самих сообществах. Проявляются они в изменении состава видов организмов, образующих данное сообщество. Как правило, преимущественное развитие в сообществе приобретают наиболее приспособленные к новым условиям обитания организмы. В экосистеме Кондопожской губы такие измененные сообщества прослеживаются на расстоянии 10 км от места расположения ЦБК (рис.). Следует отметить, что трансформация здесь биологических сообществ обусловлена также и загрязняющими веществами, поступающими в составе сточных вод.

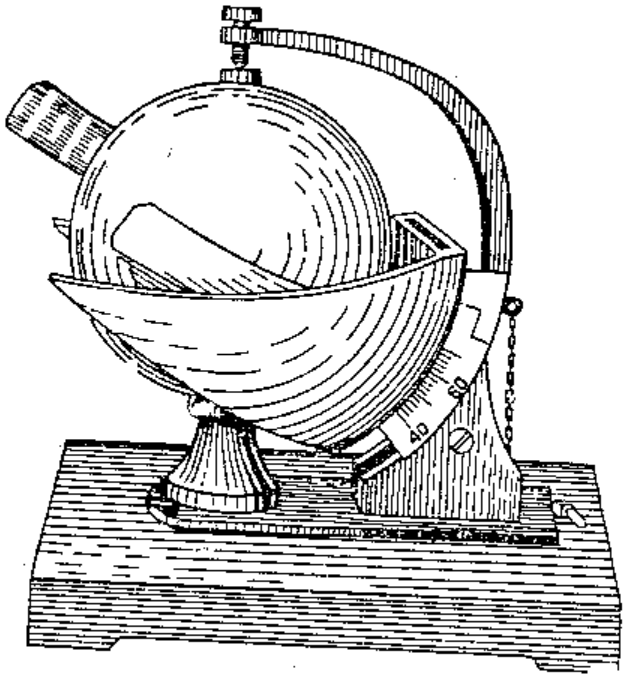
На примере изменений в экосистеме Кондопожской губы видно, что несмотря на многочисленные природоохранные мероприятия, проводимые на комбинате, вернуть красивейший залив Онежского озера в свое первоначальное состояние не удается. Даже если комбинат прекратит работать, то потребуется очень много времени (не один десяток лет), чтобы загрязнения, которые накопились на дне губы, переработались при участии бактерий.

Продолжительность солнечного сияния в Карелии

Л. Е. Назарова

Территория Карелии расположена между 61 и 67° с. ш., что в первую очередь определяет количество солнечной энергии, получаемой в течение года. Годовой приход суммарной радиации колеблется в пределах 70–80 ккал/см^2 при общем увеличении с севера на юг и по месяцам крайне неравномерен. Наибольшие суммы радиации на горизонтальную поверхность приходятся на июнь (13–15 ккал/см^2), наименьшие – на декабрь (на юге территории 0,6–0,7 ккал/см^2, на севере – 0,2–0,0 ккал/см^2). Около 65% солнечной радиации приходит на подстилающую поверхность в течение мая – августа. Ни для кого не секрет, что недостаток солнечных лучей, особенно такой столь важной для живых организмов части солнечного спектра, как ультрафиолетовая радиация, негативно сказывается на здоровье и самочувствии людей. При недостатке ультрафиолета наблюдаются ухудшение памяти, сна, быстрая утомляемость, повышается возбудимость, снижается работоспособность. В период с ноября по январь в Карелии отмечается 0–1% годового количества поступающей ультрафиолетовой радиации. В это время наступает период УФ-недостаточности, «солнечного голодания». Продолжительность дневного солнечного освещения зимой составляет около 5 часов на юге и около 2 часов – на севере республики. Летом же самый длинный день на 67° с. ш. длится 24 часа, на широте Петрозаводска – около 20 часов, что позволяет получать до 13–14 ккал/см^2 солнечной радиации в месяц, т. е. почти столько же, сколько получают северные области Украины.

Первые наблюдения за продолжительностью солнечного сияния в Карелии стали производиться в конце 20-х – начале 30-х годов XX века на трех метеорологических станциях – Петрозаводск, Медвежьегорск и Лоухи по гелиографам Кемпбела. Но эти наблюдения были нерегулярны и осуществлялись в течение сравнительно непродолжительного промежутка времени.



Р и с. 1. ГЕЛИОГРАФ КЕМПБЕЛА – СТОКСА

В начале 1950-х гг. на семи метеостанциях метеорологической сети Карелии, а в 1970-е гг. еще на трех были начаты регулярные инструментальные наблюдения за продолжительностью солнечного сияния (ПСС). Под ПСС подразумевается продолжительность освещения земной поверхности солнечными лучами. В соответствии со средним порогом чувствительности гелиографа, продолжительностью солнечного сияния считают время с интенсивностью прямой радиации более 0,3 кал/см^2 • мин. Гелиограф – прибор для определения продолжительности солнечного сияния в течение суток, регистрирующий наличие прямой солнечной радиации. Наиболее распространен гелиограф Кемпбела – Стокса (рис. 1), в котором стеклянный шар играет роль линзы, преломляющей солнечные лучи, с какой бы стороны они ни падали. За шаром на расстоянии его фокуса с северной стороны укрепляется с помощью специального держателя голубая или фиолетовая бумажная лента с делениями в часах, по которой в течение дня перемещается изображение солнца. Под действием солнечных лучей бумага обугливается, получается прожог. По прожженным участкам ленты можно подсчитать время, в течение которого солнце находилось над горизонтом и не было закрыто облаками.

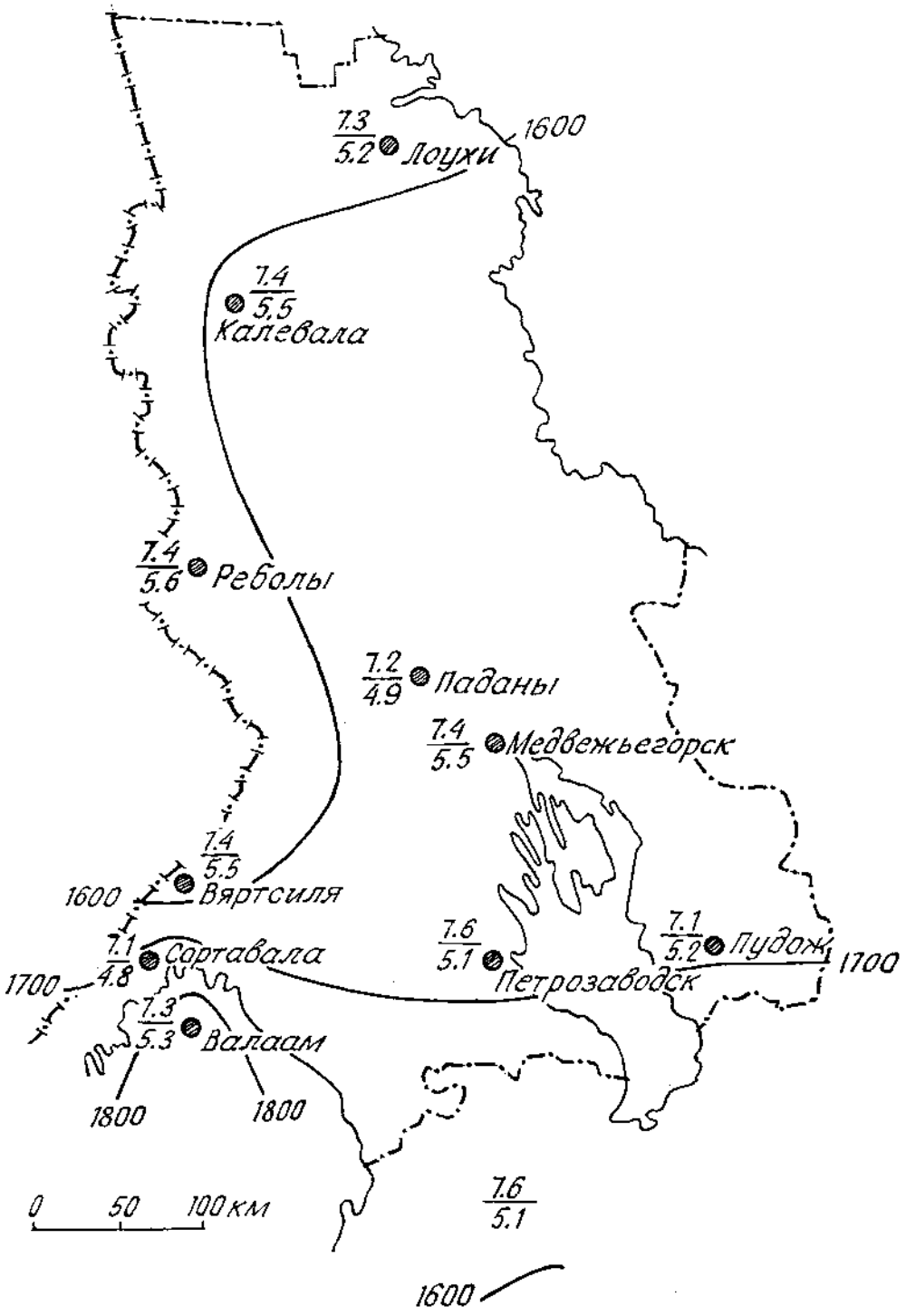
ПСС зависит от астрономических факторов и особенностей циркуляции атмосферы. Количество поступающей солнечной радиации в широтах Карелии значительно меньше, чем в районах средней европейской части, так как количество пришедшей солнечной радиации может существенно измениться под влиянием циркуляционных процессов в атмосфере. Так, отношение наблюдавшейся ПСС к возможной для Карелии составляет 34–37%, а уже в Ленинградской, Новгородской и Псковской областях это отношение увеличивается до 41–45%. В Карелии в течение года преобладает интенсивная циклоническая деятельность (в среднем 215 дней с циклонами за год), что приводит к развитию значительной облачности, которая, в свою очередь, заметно снижает количество поступающей радиации. Так, облачность 8–10 баллов (по десятибалльной шкале) задерживает до 80% солнечной радиации. По данным ГМС Сортавала, с увеличением облачности на 1 балл суммарная радиация уменьшается на 15% в январе – марте, на 13–20% в сентябре – ноябре, на 17% в июне – июле и на 9% в апреле, августе и декабре. В среднем за год с увеличением облачности на 1 балл величина суммарной радиации уменьшается на 15%.

В районе Петрозаводска теоретически возможная ПСС составляет 4530 часов за год. Но поскольку в течение года преобладающим является пасмурное состояние неба (повторяемость пасмурного состояния неба по общей облачности за год составляет 69%, по нижней – 48%), действительная ПСС значительно уменьшается, до 1674 часов за год, что составляет 37% от возможного. На территории Карелии ПСС распределяется довольно равномерно, постепенно увеличиваясь с севера на юг (см. табл.). На побережьях крупных водоемов ПСС несколько больше, что обусловлено уменьшением количества облачности в теплое время года над районами, непосредственно прилегающими к Ладожскому и Онежскому озерам (рис. 2).

ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ СОЛНЕЧНОГО СИЯНИЯ И ЧИСЛО ДНЕЙ БЕЗ СОЛНЦА (СРЕДНИЕ ЗА 1951–1990 гг.)

Станция	ПСС, сумма часов за год	Число дней без солнца, сумма за год
Лоухи	1560	141
Калевала	1613	133
Реболы	1582	135
Медвежьегорск	1617	124
Петрозаводск	1674	119
Пудож	1694	126
Сортавала	1749	120

Число дней без солнца в Карелии составляет 120–130 за год, на севере – 140 (для сравнения, в Павловске под Санкт-Петербургом – 111 дней за год, в Бресте – 93, в Омске – 57). Днями без солнца считаются те, в течение которых солнечные лучи в дневное время не достигают поверхности земли в данном месте из-за облачности или тумана. С ноября по январь пасмурная погода в Карелии является преобладающей. В северной Карелии в этот период солнечное сияние практически отсутствует, солнце не появляется в течение 20–25 дней в месяц. Наибольшее число дней без солнца за год по

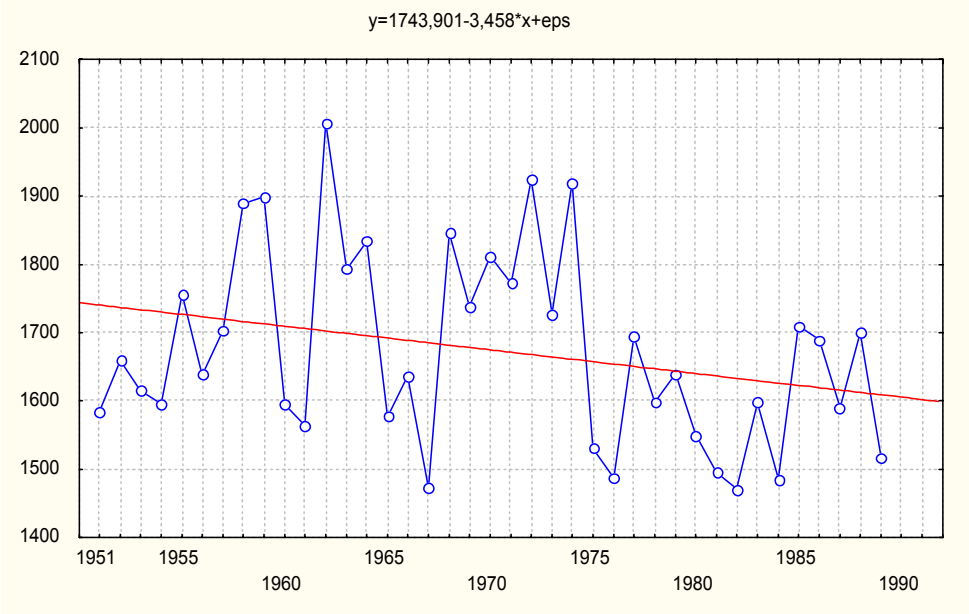


Р и с. 2. ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ СОЛНЕЧНОГО СИЯНИЯ (ЧАСЫ) И СРЕДНЕГОДОВОЕ КОЛИЧЕСТВО ОБЛАЧНОСТИ ОБЩЕЙ/НИЖНЕЙ (БАЛЛЫ) НА ТЕРРИТОРИИ КАРЕЛИИ ЗА 1951–1990 гг.

республике было отмечено в 1984 г. в Реболах и составило 164 дня.

Значительно реже дни без солнца наблюдаются с мая по август. Наименьшее число дней без солнца отмечается в июне, в среднем 1 день за месяц. Абсолютный минимум числа дней без солнца для Карелии за период с 1951 по 1990 г. был зарегистрирован в Медвежьегорске в 1963 г. – 93 дня за год.

Солнечное сияние имеет хорошо выраженный годовой ход. Максимум часов с солнцем приходится на июль на севере республики (280–290 часов), на юге – на июнь (290–300 часов), что составляет 50–60% от возможной продолжительности. Наибольшая потеря солнечного сияния в июне – июле отмечается на севере в условиях самого длинного светового дня из-за значительной облачности.



Р и с. 3. ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ СОЛНЕЧНОГО СИЯНИЯ (СУММА В ЧАСАХ ЗА ГОД) ПО ДАННЫМ МС ПЕТРОЗАВОДСК ЗА 1951–1990 гг.

Наблюдаемая ПСС составляет 50% от возможной.

Минимальное число часов солнечного сияния отмечается в декабре (0–14 часов), что объясняется наименьшей продолжительностью дня и наибольшей облачностью в году. Севернее 66° с. ш. солнечное сияние в это время практически отсутствует.

В отдельные годы вследствие изменчивости циркуляционных процессов в атмосфере могут наблюдаться значительные отклонения от средних многолетних значений ПСС. Так, для Петрозаводска в декабре 1984 г. был отмечен абсолютный минимум ПСС – за месяц солнце наблюдалось в течение 42 минут при норме 8,3 часа, абсолютный максимум ПСС за месяц для Петрозаводска составляет 407 часов (май, 1978 г., норма – 294,5 часа).

Наибольшее значение годовой суммы часов солнечного сияния для Карелии за период инструментальных наблюдений было отмечено в 1963 г. в Сортавале и составило 2018 часов. Для сравнения, средняя многолетняя ПСС в Киеве за год составляет 1843 часа, на Черноморском побережье Кавказа (Сочи и прилегающие районы) – 1700–2000 часов. Минимальное количество часов с солнцем за год для территории республики наблюдалось в 1961 г. в пос. Лоухи – 1217 часов.

Для изучения изменений солнечного режима республики были рассмотрены ряды годовых сумм часов с солнцем для 10 метеостанций Карелии начиная с 1951 по 1990 г. Во временном ходе ПСС на всех станциях отмечено уменьшение времени с солнцем, особенно за последние 15 лет рассматриваемого отрезка времени (рис. 3).

Это объясняется, видимо, некоторым увеличением количества облачности в летние месяцы, что может быть связано с особенностями атмосферной циркуляции в данный период, а также с увеличением количества аэрозолей и накоплением парниковых газов в атмосфере. Со второй половины XX века быстрыми темпами растут города, развивается промышленность, увеличивается количество автотранспорта и т. д. Все это во много раз повышает загрязнение атмосферного воздуха окислами серы и азота, угарным газом, пылевидными частицами. Запыленность и задымленность воздуха, снижающие прозрачность атмосферы, также уменьшают и приход лучистой энергии.

Использование подземных вод Карелии для водоснабжения

Г. С. Бородулина, В. В. Тренин

Среди экологических проблем Карелии одна из важнейших – проблема обеспечения населения качественной питьевой водой. Исторически сложилось, что поверхностные воды являлись основным источником водоснабжения, и это устраивало всех, пока хозяйственная

деятельность человека не стала мощным фактором преобразования природы, соизмеримым по своим масштабам с естественными геологическими, климатическими и геохимическими процессами. Как правило, сточные воды сбрасываются в водоемы, являющиеся основными источниками водоснабжения, поэтому помимо зачастую неудовлетворительного природного качества поверхностных вод (главным образом из-за высоких концентраций органических веществ) антропогенное загрязнение водоемов в ряде районов вызывает острую проблему обеспечения населения Карелии питьевой водой нормативного качества. Подземные воды в большинстве своем имеют высокие питьевые показатели. Это позволяет подавать воду потребителям без применения дорогостоящей предварительной обработки. Кроме того, подземные воды имеют более высокую минерализацию (100–300 мг/л) по сравнению с поверхностными (около 50 мг/л), что повышает ценность их как источника питьевой воды. Организация водоснабжения за счет подземных вод во многих случаях более экономична и эффективна, чем из поверхностных водоемов.

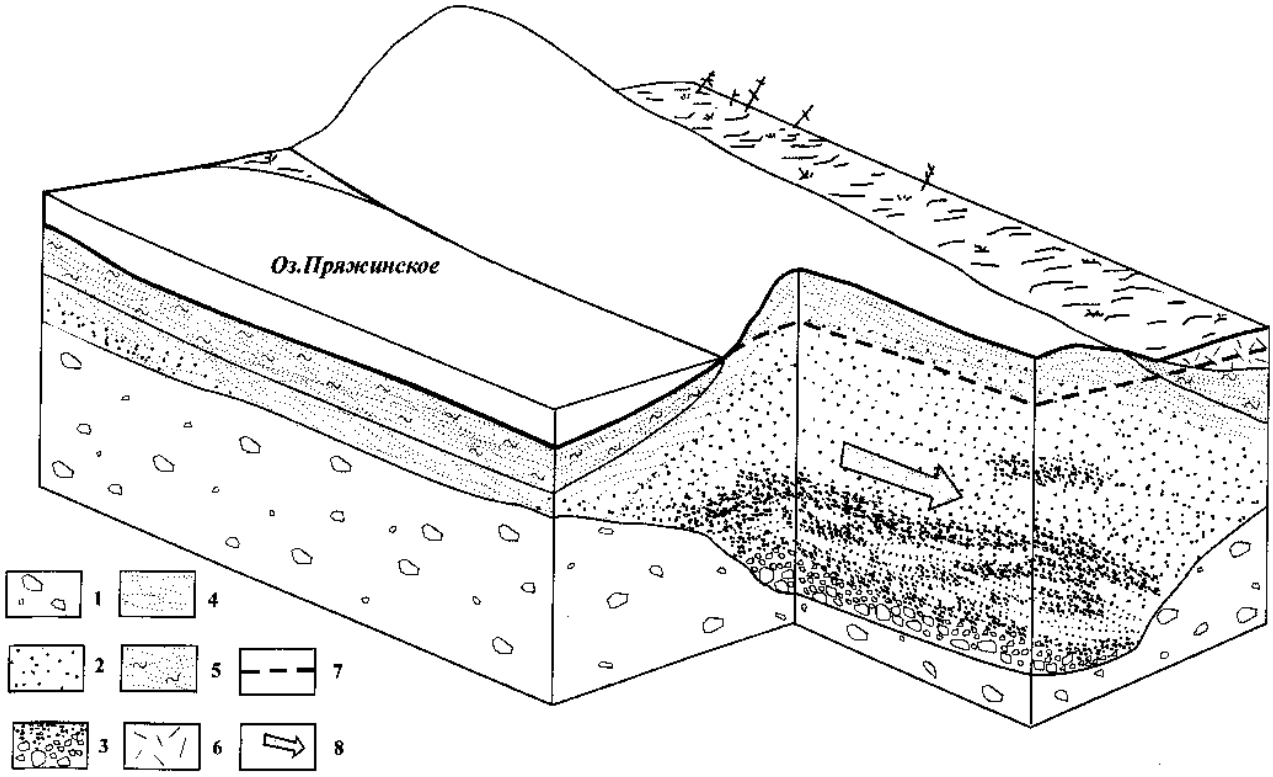
Тем не менее доля подземных вод в общем балансе хозяйственно-питьевого водоснабжения республики никогда не превышала 4%, что является наименьшим показателем для регионов России. Доля использования подземных вод в общем водоотборе в 2000 г. составила 1,9%, в хозяйственно-питьевом водоснабжении – около 6%. По районам республики доля использования подземных вод колеблется от 0% в Костомукше, Беломорском, Кемском и Калевальском районах до 70% в Олонецком районе. Региональные эксплуатационные ресурсы подземных вод оцениваются в количестве 133 тыс. м^3/сут (обеспеченность на одного человека составляет 0,17 м^3/сут). Обеспеченность населения разведанными запасами еще ниже и составляет около 0,03 м^3/сут. За последние 10 лет в Карелии не введено в эксплуатацию ни одного нового месторождения подземных вод (Государственный доклад.., 2000, 2001). Такое положение объясняется многими причинами.

Во-первых, это гидрогеологические условия региона. Подавляющая часть территории Карелии входит в состав Балтийского бассейна трещинных вод, и только на юге и юго-востоке небольшие площади относятся к окраинам Ленинградского и Московского артезианского бассейна. Практически на всей территории в рыхлых отложениях четвертичного покрова распространены поровые грунтовые воды. Таким образом, за исключением южных окраин подземные воды образуют единый водоносный горизонт четвертичных отложений и верхней трещиноватой зоны кристаллических пород, мощность которой составляет обычно 30–50 м. Ниже этой зоны породы практически безводны. Только на участках тектонических нарушений глубина распространения обводненных трещин увеличивается и местами достигает 150–250 м. Водопритоки в скважины из кристаллических пород, как правило, относительно низкие. Около 50% водозаборных скважин имеют удельный дебит от 0,01 до 0,1 л/с и только 2% вскрывают зоны с высокими для условий Карелии фильтрационными свойствами – более 1 л/с. Участки расположения таких скважин представляют несомненный интерес для решения вопроса водоснабжения близлежащих населенных пунктов. Возможная производительность водозаборов оценивается здесь в пределах 400–2000 м^3/сут. Однако необходимо иметь в виду, что такие водообильные скважины следует рассматривать как исключение из правил, и поиски подобных зон являются весьма дорогостоящим делом.

Следует отметить весьма неравномерное распределение запасов подземных вод по площади. Наибольшее эксплуатационное значение принадлежит гдовскому и котлинскому горизонтам, распространенным на незначительной территории южной Карелии. Современная и перспективная водопотребности полностью обеспечены утвержденными запасами подземных вод из котлинского горизонта только в г. Олонце. Гдовский водоносный горизонт песчаников в районе г. Петрозаводска располагает эксплуатационными запасами подземных вод в количестве 10,7 тыс. м^3/сут. В последние годы это месторождение функционирует в режиме самоизлива с суммарным дебитом около 1,5 тыс. м^3/сут (Государственный доклад.., 2001). Дополнительные работы по оценке эксплуатационных запасов подземных вод для города, возможно, увеличат эту цифру в 3–4 раза, но и этого количества воды недостаточно для водоснабжения всего города, хотя удовлетворит потребности отдельных микрорайонов (например, Кукковки, Древлянки).

Трещинные подземные воды в целом по Карелии эксплуатируются одиночными и групповыми водозаборами, работающими на неутвержденных запасах. Групповые водозаборы организованы в отдельных поселках: Повенец, Матросы, Чална, Н. Вилга, Ладва. На подавляющем большинстве предприятий водоснабжение за счет использования подземных вод организовано одиночными эксплуатационными скважинами без разводящей сети, с водоотбором от 10 до 200 м^3/сут. По сведениям (Государственный доклад.., 2000) за 1999 г., в водоотборе участвовали 178 скважин, 21 скважина находилась в резерве, в 2000 г. – соответственно 205 и 16 (Государственный доклад.., 2001). Общий годовой отбор подземных вод только за 1999 г. снизился на 19%.

Во-вторых, эксплуатация подземных вод кристаллических пород часто затруднена из-за проблем, связанных с природным качеством воды. Как известно, существует вертикальная дифференциация подземных вод по гидрогеохимическим параметрам: с глубиной закономерно возрастает минерализация, меняется химический тип воды, уменьшается количество растворенного кислорода, что вызывает нарастание концентраций некоторых нормируемых



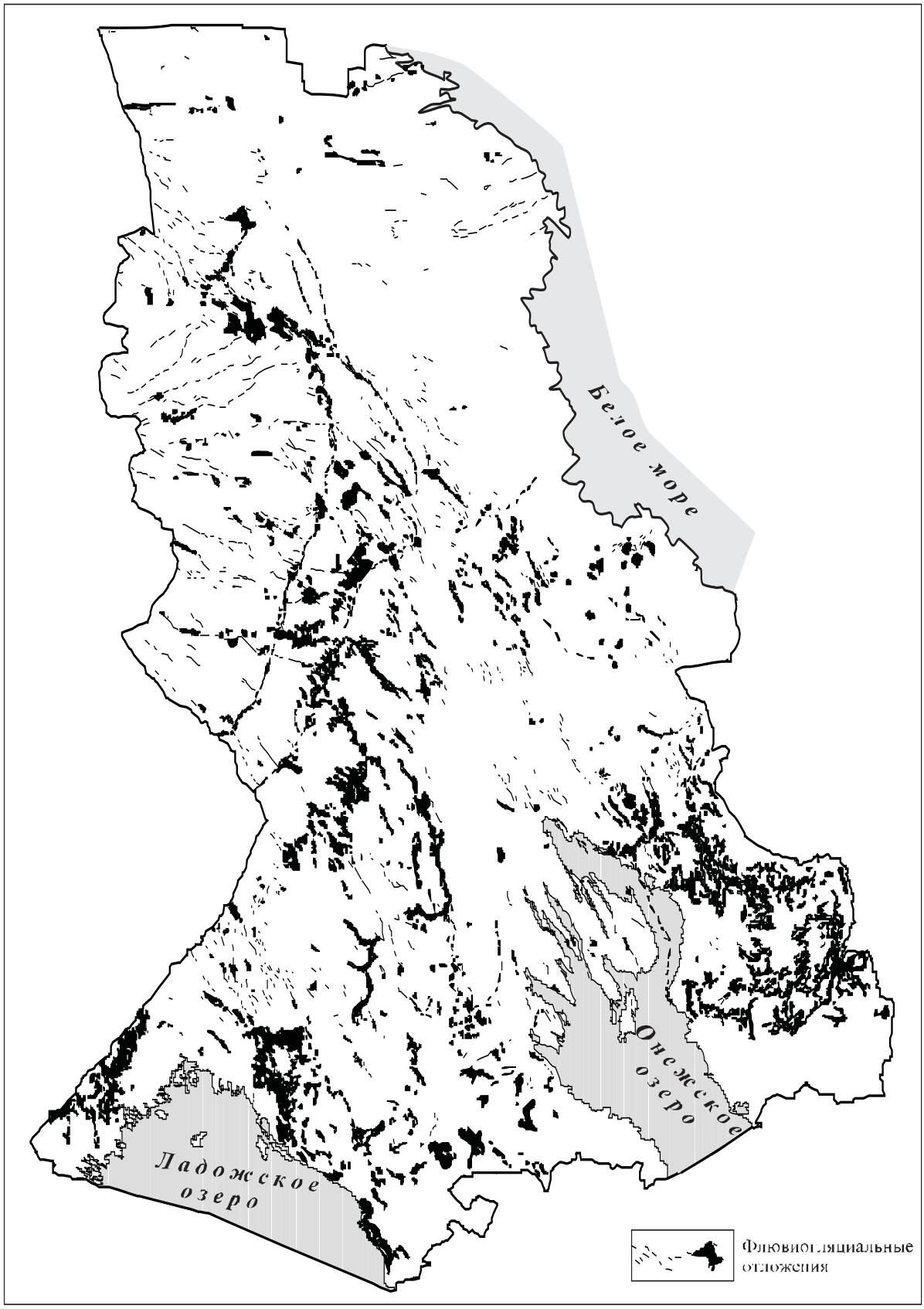
Р и с. 1. СХЕМАТИЧЕСКАЯ БЛОК-ДИАГРАММА СТРОЕНИЯ ОЗОВОЙ ГРЯДЫ НА СЕВЕРО-ВОСТОЧНОМ БЕРЕГУ ПРЯЖИНСКОГО ОЗЕРА (ЮЖНАЯ КАРЕЛИЯ):

1 – моренные отложения (валунные пески, супеси, суглинки); *2–4* – флювиогляциальные отложения: *2* – крупно- и разнозернистые пески, *3* – валунно-галечный материал, *4* – мелкозернистые пески; *5* – озерно-ледниковые тонко- и мелкозернистые глинистые пески; *6* – торф; *7* – уровень грунтовых вод; *8* – направление движения основного потока грунтовых вод в озовой гряде

элементов, в первую очередь железа и марганца. Вот почему воды большинства скважин, пробуренных в кристаллических породах на глубину в несколько десятков метров (многие скважины имеют глубину 100–200 м и более), отличаются концентрациями железа и марганца, превышающими допустимые нормы. По этой причине в республике не эксплуатируются многие водозаборные скважины или отбор воды из них ведется в ограниченном количестве для хозяйственных целей. В водоносных горизонтах на юге Карелии (Олонецкий район) с глубиной возрастают минерализация воды (более 1 г/л) и содержание хлоридов.

Естественно возникает вопрос, почему же при практически одинаковых климатических и геолого-гидрогеологических условиях в соседней Финляндии доля подземных вод в общем водоотборе достигает 50–70%? Дело в том, что в Финляндии широко эксплуатируются подземные воды четвертичных отложений. Водообильность песчаных отложений на порядок выше, чем кристаллических пород. Производительность водозаборов в Финляндии колеблется от нескольких м^3/сут для хуторов до 1000–2000 м^3/сут для коллективных потребителей (фото 1, вклейка). Преимуществом использования вод четвертичных отложений (главным образом флювиогляциальных) является их довольно широкое распространение, благоприятные условия питания и аккумуляции, неглубокое залегание, высокие фильтрационные свойства, хорошее качество воды (см. рис. 1).

Следует подчеркнуть, что подземные воды, за исключением котлинского и гдовского горизонтов, на большей части территории республики не имеют естественной защиты (т. е. не перекрыты такими водонепроницаемыми слоями пород, как глины, суглинки) и практически не защищены от загрязнения. Эксплуатация подземных вод в настоящее время осуществляется главным образом скважинами, пробуренными в непосредственной близости от потребителя. Скважины, как правило, располагаются в пределах населенных пунктов, что исключает возможность создания вокруг них каких-либо охранных зон и не гарантирует надлежащее санитарное состояние водозабора. Особенно уязвимыми для загрязнения являются грунтовые воды четвертичных отложений, что требует тщательного выбора места будущих водозаборов и строго выполнения мероприятий охраны подземных вод (Бородулина, Перский, 1998; Богачев и др., 2000). Грунтовые воды издавна эксплуатируются населением: используются естественные выходы подземных вод на поверхность – родники или несложные гидротехнические сооружения – колодцы. Как правило, эти источники нецентрализованного



Р и с. 2. КАРТА РАСПРОСТРАНЕНИЯ ФЛЮВИОГЛЯЦИАЛЬНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ НА ТЕРРИТОРИИ КАРЕЛИИ.
Масштаб 1 : 3 000 000

Составлена на основе цифровой карты четвертичных отложений Северо-Запада РСФСР. М 1 : 500 000
(Гаскельберг и др., 1988)

водоснабжения располагаются непосредственно на территории населенных пунктов и подвергаются значительному хозяйственно-бытовому загрязнению. Основными элементами-загрязнителями являются азот, калий, хлориды, нефтепродукты, иногда тяжелые металлы, характерно микробное загрязнение. Общее число источников нецентрализованного питьевого водоснабжения в 2000 г. составляло 807, из них 640 расположено в сельской местности (Государственный доклад.., 2001). Таким водоснабжением пользуется около 35% всего населения республики. Около 40% исследованных проб воды не отвечают нормам по санитарно-химическим показателям. Основными причинами такого высокого уровня загрязнения грунтовых вод являются, как уже упоминалось, их природная незащищенность и отсутствие элементарных мероприятий по охране вод от загрязнения. В Финляндии к строительству колодцев относятся очень серьезно. Во-первых, место выбирается так, чтобы в области питания грунтовых вод не было очагов загрязнения, во-вторых, соблюдается технология сооружения колодца: обеспечивается надежная изоляция от проникновения поверхностного стока (водонепроницаемые стыки между бетонными кольцами, глиняный замок вокруг колодца, в случае необходимости – покрытие полиэтиленовой пленкой, крышка с вентиляцией над сооружением) (фото 2, 3, вклейка). Обязательна организация зон санитарной охраны водозабора. На фото 1 запечатлен один из подземных водозаборов для г. Каяни с огороженной зоной строгого режима. Территории, предназначенные для предупреждения загрязнения подземной воды, по всей стране помечены специальными знаками. На этих территориях запрещены все виды хозяйственной деятельности, приводящие к ухудшению качества воды, например, даже не разрешается остановка автотранспорта на обочинах дорог, проходящих по таким участкам, а сами дороги в этих местах строятся с дополнительными мероприятиями по обеспечению изоляции водоносного горизонта. В Финляндии проведено районирование подземных вод и выделены перспективные территории их залегания и проводится строгая политика по охране этих районов, даже если эксплуатация подземных вод в настоящее время не производится. К сожалению, в нашем регионе многие перспективные для водоснабжения песчаные участки вблизи населенных пунктов загублены в результате организованных и неорганизованных свалок мусора и отходов производства.

На основании оценки эксплуатационных ресурсов подземных вод Карелии (Ресурсы и геохимия.., 1987) и в результате разведочных работ, проведенных в последние годы, сделан вывод о том, что в Карелии имеются все предпосылки для более широкого и рационального использования подземных вод. Водоснабжение большинства небольших поселков и деревень, животноводческих ферм, а при благоприятных гидрогеологических условиях и крупных населенных пунктов может полностью или частично решаться за счет подземных вод четвертичных отложений. Наиболее высокий водоприток можно получить в районах, сложенных песчаными, главным образом флювиогляциальными отложениями мощностью 10 м и более. Такие отложения не имеют повсеместного распространения, но в отдельных районах занимают значительные площади (рис. 2).

С 1991 г. ведутся совместные с финскими специалистами работы по разведке и оценке запасов подземных вод из четвертичных отложений в Карелии. С помощью легкого и мобильного полевого оборудования, переданного финскими коллегами, проводятся разведочные и опытно-фильтрационные работы на перспективных участках, определяются гидрогеологические параметры водоносных горизонтов, оценивается качество подземных вод (фото 4, вклейка).

В 1999 г. администрации г. Суоярви передано в опытно-промышленную эксплуатацию первое такое месторождение подземных вод с запасами категории C_1 1500 м^3/сут. (Богачев и др., 1999). Препятствием для ввода в эксплуатацию этого месторождения в ближайшее время является его удаленность от города (около 14 км), что требует значительных средств на строительство водовода. С помощью финской стороны на месторождении уже сооружены два колодца.

В 2000 г. утверждены эксплуатационные запасы подобных месторождений для поселков Поросозеро (720 м^3/сут) и Калевала (900 м^3/сут). Перспективные участки выявлены в районе поселков Лоухи, Чупа, Пряжа, Челмужи, Матросы, где в настоящее время продолжаются работы по оценке запасов подземных вод.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

Богачев М. А., Бородулина Г. С., Регеранд Т. И. Инженерно-экологические проблемы использования подземных вод для водоснабжения // Водоснабжение и канализация. Технические и экономические аспекты: Тез. докл. Петрозаводск, 1999. С. 41–42.

Богачев М. А., Бородулина Г. С., Паартикиви Р., Саркиойя А. Решение проблемы питьевого водоснабжения Карелии на основе подземных вод четвертичных отложений // Экологическая геология и рациональное недропользование. Материалы конференции. СПб., 2000. С. 154–155.

Бородулина Г. С., Перский Н. Е. Инженерно-экологические проблемы использования подземных вод для водоснабжения // Инженерная экология. 1998. № 5. С. 57–63.

Государственный доклад о состоянии окружающей природной среды Республики Карелия в 1999 году. Петрозаводск, 2000.

Государственный доклад о состоянии окружающей природной среды Республики Карелия в 2000 году. Петрозаводск, 2001. 247 с.

Ресурсы и геохимия подземных вод Карелии. Петрозаводск, 1987. 151 с.

СЛОВАРЬ используемых терминов

ПОДЗЕМНЫЕ ВОДЫ – воды, находящиеся в толщах горных пород земной коры во всех физических состояниях. В свободном состоянии воды существуют в виде пара и гравитационной воды. Воды в связанном состоянии могут быть в виде: 1) льда, 2) воды, физически связанной с поверхностью частиц горных пород, 3) воды, химически связанной с минералами. Подземные воды являются геологическим объектом, изучение которого невозможно проводить в отрыве от исследований горных пород, строения и истории геологических структур, процессов, происходящих в земной коре и мантии.

ИСТОЧНИКИ (РОДНИКИ) – естественные выходы подземных вод на поверхность земли. Самые крупные родники в Карелии связаны с водно-ледниковыми отложениями, главным образом флювиогляциальными. Один из самых крупных родников – оз. Талая Ламба (бассейн р. Семчи) с дебитом от 40 (зимой) до 150 л/с (летом). Крупный родник, расположенный в основании мощной озовой гряды вблизи с. Крошнозеро, имеет дебит около 100 л/с. Большинство же родников в Карелии малодебитные.



Это интересно

Подземные воды представляют собой водный объект, являясь частью единой гидросферы Земли. Можно считать, что все внутриземные молекулы H_2O, находящиеся в атмосфере, горных породах, живом веществе, или являлись в определенный период своей истории частью единой гидросферы Земли, или могут при определенных условиях быть включены в состав водной оболочки планеты.

Подземные воды во всех случаях без исключения представляют собой не просто совокупность молекул H_2O, а сложные природные системы, содержащие в растворенном, коллоидном, свободном состоянии различные минеральные вещества, органические соединения и газы.

Подземные воды, по выражению академика А. П. Карпинского, «самое драгоценное полезное ископаемое», причем возможности использования этого ископаемого чрезвычайно широки: пресных подземных вод для хозяйственно-питьевого водоснабжения, минеральных (лечебных) вод, промышленных – для получения ряда химических веществ (йода, брома, бора и др.), термальных – для получения электроэнергии и теплофикации.

Подземная вода содержится в пустотах пород, и в зависимости от типа пород воды могут быть поровыми, трещинными и карстовыми. На территории Карелии преимущественно развиты трещинные воды, и только в рыхлых отложениях четвертичного покрова распространены поровые воды.

Подземные воды Карелии являются пресными и ультрапресными, минерализация (количество растворенных солей) изменяется от 0,03 до 1 г/л. Воды с минерализацией более 1 г/л развиты локально. Они характерны для водоносных горизонтов на юге республики и вскрываются отдельными глубокими скважинами.

«Марциальные воды» – первый русский курорт. Здесь со времен Петра I используются в лечебных целях высокожелезистые минеральные воды. Необходимо отметить, что в стране и мире очень широко развиты железистые подземные воды, но уникальность «Марциальных вод» – в сочетании

невысокой минерализации, что важно для питьевых целей, с замечательным химическим составом, в котором преобладающим катионом является двухвалентное железо – важный биологически активный компонент.

Радоновые воды с концентрациями более 185 Бк/л, что позволяет отнести их к минеральным водам, имеют широкое распространение на территории Карелии. Это связано с повышенным содержанием радиоактивных элементов в кристаллических породах. Наиболее хорошо изучены радоновые воды Северного Приладожья, где разведаны несколько месторождений радоновых вод, ряд из которых вошли в «Каталог минеральных вод СССР».

Влияние рубок леса на речной сток Карелии

Н. Л. Бондарик

Карелия расположена в северной и средней подзонах тайги и богата лесными и водными ресурсами. Сосняки занимают 64% покрытой лесом площади, ельники – 27, березняки – 10%. Одним из наиболее масштабных видов хозяйственной деятельности в тайге являются рубки леса.

Самый распространенный способ заготовки древесины – сплошные рубки, при которых все деревья удаляются с лесосеки за один прием. При этом существенно изменяется состояние лесного биогеоценоза: уничтожается растительность, нарушается почвенный покров, изменяются водно-физические свойства почвогрунтов. В результате удаления древостоя исчезает возможность для задержания осадков кронами деревьев и поглощения суммарной солнечной радиации, изменяются альбедо поверхности и условия снегонакопления. В итоге кардинально перестраивается структура суммарного испарения и стока. В дальнейшем на месте вырубленных коренных формируются производные леса, иные по составу и возрастной структуре. Гидрологическая роль производных лесов меняется с возрастом.

Влияние леса на элементы водного баланса исследовалось для 27 речных водосборов (рис. 1), залесенные участки которых достаточно полно отражают многообразие лесов Карелии. Площади исследуемых водосборов изменяются в широких пределах: от 1,5 до почти 400 км^2, лесистость составляет от 23 до 92% (в среднем 72%). Высокая залесенность позволяет предполагать, что сток с водосборов в значительной степени формируется под влиянием процессов, протекающих в лесу.

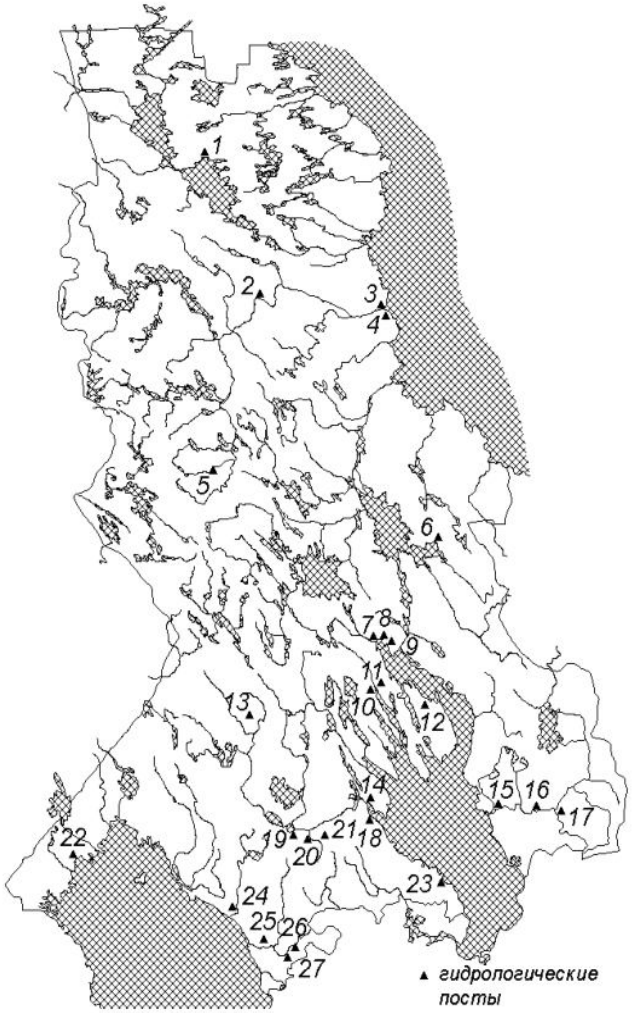
По данным 1998 г. площадь ежегодных сплошных рубок в Карелии составила 0,2% от площади лесного фонда республики (Государственный доклад.., 1999). При этом расчетная лесосека была выбрана на 66%. Чтобы смоделировать вырубку на исследуемых водосборах, были просуммированы лесные площади и объемы древесины для насаждений каждого бонитета, возраста и породы по всем водосборам. В дальнейшем рассматривался такой «суммарный водосбор» с общей площадью лесного фонда 4600 км^2 (3% от площади лесного фонда Карелии). В соответствии с этой долей расчетная лесосека для суммарного водосбора по хвойным породам составила 225 тыс. м^3, по лиственным – 60 тыс. м^3. Лесистость суммарного водосбора – 66%. Годовые величины осадков, испаряемости и суммарного испарения с безлесных участков были приняты равными средним многолетним по всем водосборам. Однако полученный водосбор нельзя считать репрезентативным для всей Карелии, так как продолжительные наблюдения за речным стоком имеются именно там, где 40–50 лет назад интенсивно проводились лесозаготовительные работы.

Временной шаг модели был принят равным 20 годам, что соответствует величине одного класса возраста хвойного леса. Текущий прирост насаждений (ΔM) определялся по формуле (Карпечко, 1994):

$$\Delta M = a \cdot M \cdot \exp(-b \cdot \tau),$$

где M – запас насаждений, м^3/га; τ – возраст леса, годы; a, b – коэффициенты, равные 0,0813 и 0,0228 для сосны, 0,0943 и 0,0205 для ели, 0,118 и 0,0347 для березы.

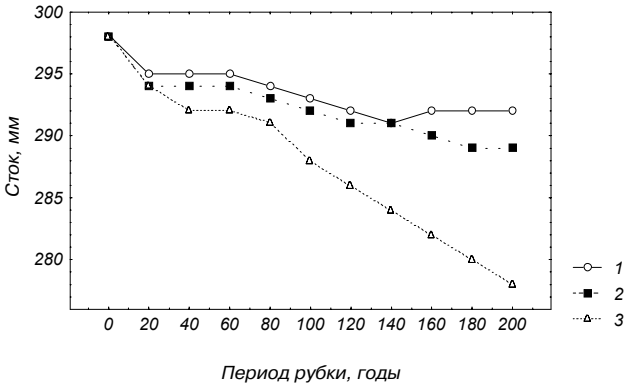
В ходе модельного эксперимента на рассматриваемом водосборе сначала была «проведена» рубка согласно расчетной лесосеке. Затем имитировался рост насаждений: для каждого участка леса данной породы, класса возраста и бонитета был рассчитан прирост за 20 лет и сделан перевод древостоя в следующий класс возраста. После прироста на водосборе моделировались рубки за 20-летний период. Предельный возраст развития березы был принят равным 100 годам. По достижении этого возраста соответствующие площади распределялись поровну между сосной и елью I класса возраста.



Р и с. 1. СХЕМА РАСПОЛОЖЕНИЯ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ПОСТОВ (РЕКА – ПОСТ):

1 – р. Така – пгт Кестеньга, *2* – руч. Лесной – пос. Шомба, *3* – р. Пуэта – г. Кемь, *4* – р. Мягрека – рзд Мягрека, *5* – р. Муезерка – пгт Муезерский, *6* – р. Ундужа – д. Вожмогора, *7* – р. Вичка – свх Вичка, *8* – р. Лумбушка – д. Лумбуши, *9* – р. Пиндушка – пос. Кожпром, *10* – р. Уница – с. Уница, *11* – р. М. Пигма – с. Уница, *12* – р. Падма – д. Падмозеро, *13* – р. Вихтимйоки – с. Лахколампи, *14* – р. Падас – ст. Шуйская, *15* – р. Черная – с. Каршево, *16* – р. Б. Велмукса – г. Пудож, *17* – р. Самбатукса – д. Кривцы, *18* – р. Лососинка – г. Петрозаводск, *19* – р. Петаоя – с. Крошнозеро, *20* – р. Маньга – пос. Маньга, *21* – р. Святрека – пгт Пряжа, *22* – р. Аурайоки – г. Лахденпохья, *23* – р. Шелтозерка – с. Шелтозеро, *24* – р. Новзема – с. Видлица, *25* – р. Тукса – с. Тукса, *26* – р. Мегрека – д. Куйтежа, *27* – р. Инема – д. Инема

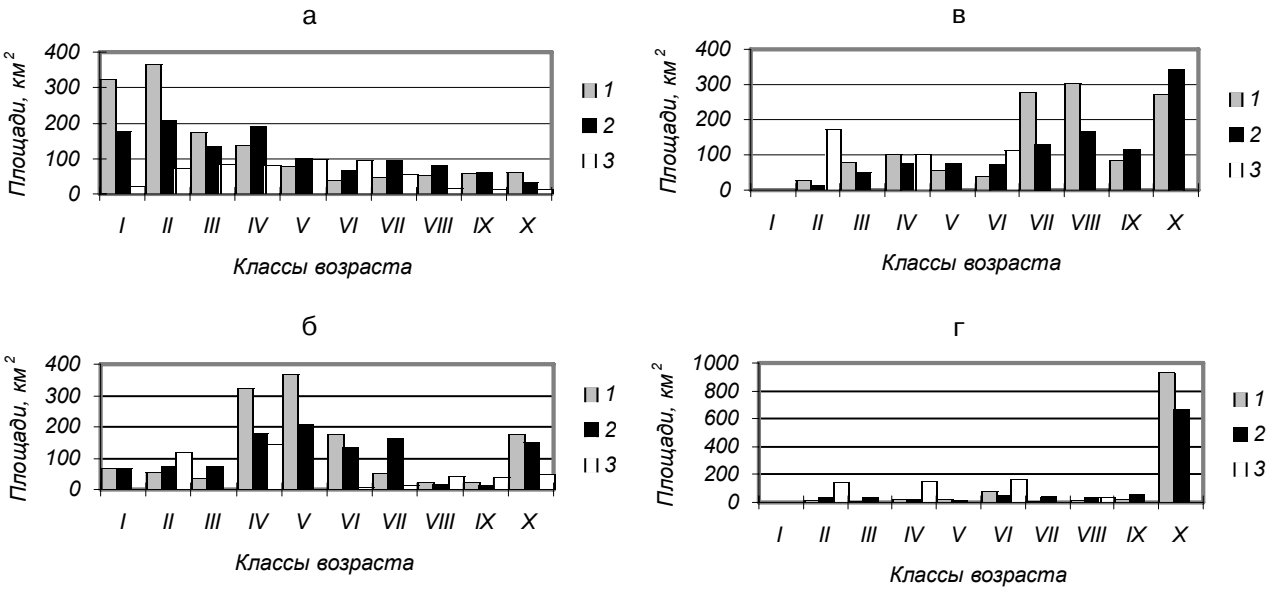
Развитие леса моделировалось на 200-летний период для трех вариантов. В первом вырубался лес III–V классов бонитета в размере расчетной лесосеки, во втором велась вырубка всех бонитетов в том же объеме, в третьем – вырубка леса всех бонитетов при использовании лесосеки на 66%. Во всех случаях вырубался древостой старше VII класса возраста. Испарение с модельного водосбора для каждого 20-летнего периода определялось по таксационным и биометрическим характеристикам леса (Карпечко, Бондарик, 1997; Бондарик, Карпечко, 1999), сток с водосбора – по уравнению водного баланса. Результаты расчетов показаны на рис. 2.



Р и с. 2. СТОК С МОДЕЛЬНОГО ВОДОСБОРА:

1 – вырубка леса III–V классов бонитета в размере расчетной лесосеки, *2* – вырубка леса всех бонитетов в размере расчетной лесосеки, *3* – то же при использовании лесосеки на 66%

Получено, что динамика стока с леса определяется интенсивностью прошлых и нынешних рубок на исследуемой территории. При первых двух вариантах лесопользования сток с водосбора стабилизируется через 160–180 лет, снижаясь на 2–3%. При использовании лесосеки на 66% снижение стока за 200 лет составляет 7%. Рассмотрим возрастную структуру исходного водосбора. На гистограмме 3, а видно, что наибольшие площади заняты хвойным лесом I и II класса возраста, т. е. вырубками моложе 40 лет. Эти данные хорошо согласуются с динамикой рубок, интенсивность которых резко возросла после Великой Отечественной войны и достигла максимума в середине 1960-х – в 1980-е гг. Так как леса I–III классов возраста увеличивают сток с территории (Крестовский, 1986), можно предполагать, что в начале рассматриваемого периода сток с модельного водосбора был несколько выше районной нормы. По мере роста леса независимо от принятого варианта лесопользования сток должен снижаться и достигнуть минимума в промежутке через 40–160 лет после начала моделирования, когда леса, которые были молодыми на исходном водосборе, будут находиться в возрасте максимального испарения (IV–VIII классы; Карпечко, 1994). Возрастная структура леса на водосборе при втором варианте лесопользования представлена на рис. 3, б–г. Видно, что рубки начинают влиять на сток только во второй половине рассматриваемого периода, когда кривые стока (рис. 2) все больше отдаляются друг от друга.



Р и с. 3. ВОЗРАСТНАЯ СТРУКТУРА ЛЕСА НА МОДЕЛЬНОМ ВОДОСБОРЕ ПРИ ВТОРОМ ВАРИАНТЕ ЛЕСОПОЛЬЗОВАНИЯ:
а – исходный водосбор, б – через 60 лет, в – через 120 лет, г – через 180 лет после начала моделирования; *1* – сосна, *2* – ель, *3* – береза

При определении расчетной лесосеки учитывается текущий прирост насаждений, поэтому если она выбирается только на 2/3 (третий вариант моделирования), со временем не только изменяется возрастная структура леса, но также поступательно растет запас древесины и масса полога древостоя. В результате роста испарения сток с исследуемого водосбора снижается с практически постоянной скоростью около 1 мм/10 лет.

Возрастная структура рассмотренного водосбора свидетельствует о том, что он сформировался под влиянием хозяйственной деятельности. На значительных площадях республики сохранились еще коренные (девственные) леса. Коренные ельники характеризуются абсолютной разновозрастностью, а в коренных сосняках обычно четко выделяются 2–3 поколения деревьев (Волков, 1998). К тому же девственные леса обладают меньшим запасом древесины и большей уязвимостью к воздействию человека, чем производные. Поэтому уничтожение коренных насаждений приведет к более весомым изменениям водного баланса территории, чем это показано при моделировании. На малых бассейнах, где рубки одного года существенно влияют на возрастную структуру леса, также наблюдаются более значительные колебания стока. Это говорит о необходимости бассейнового подхода к лесоэксплуатации в условиях рационального природопользования.

Выводы

Моделирование рубок и расчет стока на лесном водосборе Карелии для 200-летнего периода показали, что при вырубке леса в размере принятой в настоящее время расчетной лесосеки в результате сложившейся ранее возрастной структуры насаждений сток с водосбора уменьшается на 2–3% и стабилизируется через 160–180 лет. При использовании лесосеки на 2/3 за рассматриваемый период сток равномерно снижается приблизительно на 7%, т. е. со скоростью около 1 мм/10 лет. Вырубка лесов Карелии в размере расчетной лесосеки в настоящее время не приводит к ощутимым изменениям в водном балансе региона.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

Бондарик Н. Л., Карпечко Ю. В. Сравнение методов определения среднемноголетней величины испарения с леса // Метеорология и гидрология. 1999. № 9. С. 98–105.

Волков А. Д. Природные особенности коренных лесов таежной зоны и проблемы их сохранения // Биологические основы изучения, освоения и охраны животного и растительного мира, почвенного покрова Восточной Фенноскандии: Тез. докл. междунар. конф. и выездной сессии отделения Общей биологии РАН. Гатчина, 1998. С. 234–245.

Государственный доклад о состоянии окружающей природной среды Республики Карелия в 1998 году. Петрозаводск, 1999. 264 с.

Карпечко Ю. В. Влияние характеристик леса на водность рек Карелии // Вопросы экологии и гидрологические расчеты. СПб., 1994. С. 38–42.

Карпечко Ю. В., Бондарик Н. Л. Определение испарения с леса. Методические указания к выполнению лабораторных работ по лесной метеорологии. Петрозаводск, 1997. 36 с.

Крестовский О. И. Влияние вырубок и восстановления лесов на водность рек. Л., 1986. 119 с.

СЛОВАРЬ используемых терминов

БОНИТЕТ НАСАЖДЕНИЙ – показатель добротности и производительности почвы, по которому в условных единицах (классах) дается представление о продуктивности леса. Лучшие условия произрастания, а значит, наиболее высокопродуктивный лес обозначаются I классом бонитета. Худшие условия и соответственно низкопроизводительные насаждения имеют V класс бонитета.

ЗАПАС ДРЕВЕСИНЫ – объем древесины на единице площади леса.

КЛАСС ВОЗРАСТА НАСАЖДЕНИЙ – единица измерения возраста леса, равная 20 годам для хвойных и твердолиственных пород (дуб, бук, клен и др.) и 10 годам – для мягколиственных (осина, береза, ольха и др.).

ПРИРОСТ ДРЕВЕСИНЫ (ТЕКУЩИЙ) – увеличение запаса древесины за год.

РАСЧЕТНАЯ ЛЕСОСЕКА – планируемый объем ежегодных рубок. Одним из распространенных способов ее определения является расчет исходя из равенства объема древесины, вырубленной и приросшей за один и тот же период.

УРАВНЕНИЕ ВОДНОГО БАЛАНСА отражает закон сохранения вещества для речного водосбора. Применительно к многолетнему периоду для достаточно большого бассейна сток за гидрологический год равен разности выпавших осадков и испарения за тот же период.

Макрофиты как индикатор природной среды

А. В. Фрейндлинг

При изучении биологии водоема выделяются макроскопические растения, которые получили название «макрофиты». Термин «макрофиты» нередко служит синонимом понятия «высшие водные растения». Но такое толкование не совсем точно, видимо, следует согласиться с учеными, понимающими под термином «макрофиты» растительные организмы вне зависимости от их организации и систематического положения, но доступные наблюдению невооруженным глазом. Отечественные и зарубежные авторы к категории макрофитов наряду с цветковыми и высшими споровыми растениями относят харовые водоросли, а также большие скопления нитчатых водорослей, таких как *Cladophora* и *Rhizoclonium*.

В отечественной литературе широко распространено понятие «высшие водные растения», а в зарубежной – соответствующие ему «aquatic vascular plants», «aquatic angiosperms», «hohere Wasserpflanzen», которые включают высшие споровые и цветковые растения, произрастающие в водной среде.

Водные растения издавна привлекали к себе внимание исследователей. В начале XIX века для них был предложен термин «гидрофиты». В последующем предлагались другие названия и различные толкования понятия «водные растения».

Высшими водными растениями следует считать травянистые растения, анатомически и морфологически приспособленные к жизни в водной среде в погруженном, плавающем на поверхности воды или полупогруженном состоянии, и за ними целесообразно сохранить название «гидрофиты». Гидрофиты не представляют собой единого целого, и их целесообразно подразделить на три большие группы:

1. Погруженные растения, или гидатофиты (submerged plants, submerse Pflanzen) – растения, весь жизненный цикл которых проходит под водой, и растения, у которых генеративные побеги возвышаются над поверхностью или плавают на поверхности воды, но основная растительная масса находится в толще воды.

2. Растения с плавающими ассимиляционными органами, или плейстофиты (floating-leaf plants, Schwimmblattpflanzen) – растения, большая часть вегетативных побегов и листьев которых плавает на поверхности воды (в литературе эту группу часто называют нимфеидами, или плавающими – нейстофитами).

3. Воздушно-водные растения, или гелофиты (emerged plants, emerse Pflanzen) – растения с побегами, часть которых находится в водной среде, а часть возвышается над поверхностью воды.

Виды водных растений в зависимости от экологических условий произрастания могут принимать различную форму, например, плавающую или возвышающуюся над поверхностью воды. Следовательно, некоторые растения могут относится то к одной, то к другой группе гидрофитов.

Деление гидрофитов на три группы не всегда бывает достаточным, поэтому иногда приходится применять более дробные классификации.

Высшие водные растения являются одним из основных компонентов большинства пресноводных экосистем. Они участвуют во внутриводоемных процессах, извлекают из воды и донных отложений ряд веществ, поступающих с водосборной площади. Они способны накапливать биогенные элементы, микроэлементы, ионы тяжелых металлов, радионуклиды. Поглощая в процессе своей жизнедеятельности углекислоту и выделяя кислород, погруженные гидрофиты в значительной степени обеспечивают экосистему водоема кислородом, поддерживающим жизнедеятельность гетеротрофных организмов и идущим на окисление растворенных и взвешенных органических веществ. Макрофиты принимают участие в деструкции поступающих в водоем ядохимикатов, детергентов, что приводит в конечном итоге к обезвреживанию токсических веществ.

Способность высших водных растений аккумулировать различные вещества антропогенного происхождения позволяет использовать их в качестве биоиндикатора при мониторинге природной среды.

Для гидробиологического анализа качества вод могут быть использованы практически все группы организмов, населяющих водоемы: планктонные и бентосные беспозвоночные, простейшие, водоросли, макрофиты, бактерии и рыбы. Каждая из них, выступая в роли биологического индикатора, имеет свою специфику, которая и определяет границы ее использования при решении задач биоиндикации.

Высшие водные растения среди указанных групп организмов являются наименее изученными. С одной стороны, они отражают природные условия водоема и могут использоваться как биоиндикаторы состава и качества вод, с другой – сами оказывают влияние на их формирование. Они позволяют в первом приближении визуально оценить экологическое состояние водоема, дают возможность определить трофические свойства воды, а иногда и специфику ее химического состава, что имеет существенное значение при биоиндикации их качества. Отмечено, что весьма показательно изучение подземной биомассы и подземной структуры фитоценоза, но оно слишком трудоемко и поэтому не может найти применения в гидробиологическом мониторинге.

В большом разнообразии водных растений выделяется ряд видов-индикаторов типа озер и качества их вод. Выявление таких растений осложнено тем, что многие из них обладают широкими экологическими и географическими ареалами и в различных физико-географических условиях могут встречаться в водоемах неодинакового трофического статуса, иметь соответственно различное индикаторное значение. Выявлять индикаторные виды растений сложно также и из-за ограниченности сведений об экологии и физиологии большинства из них. Более того, среди макрофитов преобладают эвритопные виды растений, которые даже в пределах своего ареала распространения предъявляют различные требования к факторам среды. Стенотопных видов макрофитов, которые могут быть верными индикаторами каких-либо конкретных показателей природных условий, немного, и это обстоятельство является одной из трудностей при фитоиндикации.

Исследования, связанные с применением геоботанического метода при индикации состояния пресноводных экосистем, в том числе и вод различной степени трофии, по методам их постановки и проведения близки к наблюдениям за динамикой растительности водоемов, при осуществлении которых учитывается флора, строение основных растительных сообществ и фитомасса.

Макрофиты, являясь одним из важнейших элементов системы контроля загрязнения поверхностных вод и донных отложений, дают возможность:

⇒ оценивать направление антропогенной сукцессии в водоемах,
⇒ определять трофический статус водоема,
⇒ выявлять возникновение вторичного загрязнения, в ряде случаев его химическую специфику и происхождение.

Высшая водная растительность, несомненно, более консервативный показатель состава и качества вод по сравнению с другими звеньями экосистемы, что связано с большей ее устойчивостью к антропогенному воздействию, особенно к кратковременным вспышкам загрязнения. Поэтому мониторинг водоемов и водотоков по показателям состояния макрофитов должен осуществляться в течение ряда лет.

Вода, поступающая с водосбора в реку, озеро, водохранилище, протекает через заросли гидрофитов, при этом на поверхности вегетативных органов растений осаждается взвешенный в воде материал. Высшие водные растения могут извлекать из воды и накапливать различные поллютанты, концентрация которых в органах растений может в сотни и тысячи раз превышать их содержание в окружающей среде. Обладая достаточной аналитической базой, с помощью макрофитов можно осуществлять качественный и количественный мониторинг поступивших загрязнений, так как растения обладают «памятью», накапливая поллютанты. Например, есть сведения, что накопление ионов тяжелых металлов растениями отражается на их окраске. Следовательно, по внешнему виду растений в зависимости от окраски их вегетативных частей можно судить о концентрации в воде ионов тех или иных тяжелых металлов.

В системе мониторинга качества поверхностных вод по гидробиологическим показателям определенное место отводится палеобиомониторингу (исторический биомониторинг, биомониторинг исторического прошлого, ретроспективный биомониторинг) тяжелых металлов. Данный метод основан на сравнительном изучении содержания металлов в современных биообъектах и аналогичных образцах исторического прошлого. Необходимость разработки такого метода диктуется потребностями прогнозирования последствий антропогенного воздействия на биосферу. Подобные исследования были проведены также с использованием цветковых растений. Показано, что содержание тяжелых металлов в водных растениях напрямую зависит от степени загрязнения окружающей среды, но каждый вид либо приспосабливается к высоким дозам металлов, либо погибает.

Растительный ценоз – один из важных компонентов водной экосистемы – реагирует на изменения окружающей среды как единое целое. Все преобразования в нем, происходящие в результате антропогенного воздействия, носят адаптивный характер и позволяют ему существовать в довольно широком диапазоне окружающей среды. В основе функционирования фитоценоза лежит биотический круговорот – основа возможности саморегуляции экосистемы. Однако способность биоценоза к саморегуляции далеко не безгранична – при высоких уровнях антропогенного воздействия она может быть нарушена, что влечет за собой существенное ухудшение его состояния. Антропогенная нагрузка окружающей среды оказывает значительное воздействие на поток энергии в водной экосистеме и на состояние растительных ценозов. В зависимости от ее величины возможны различные ответные реакции со стороны фитоценозов на изменения внешней среды. В целом при гидробиологическом контроле состояния поверхностных вод необходим системный подход, сочетающий качественные и количественные методы, дающий возможность охарактеризовать функциональное состояние экосистемы, выявить причины нарушений процессов круговорота вещества и энергии. При таком подходе становится возможным установление закономерностей изменений сообществ водных растений при различных антропогенных воздействиях разной интенсивности, появляется возможность прогнозирования состояния экосистемы в результате изменения внешних факторов, в том числе включая действие различных загрязнителей среды.

По общепринятой классификации озера по уровню трофии делятся на ацидотрофные, дистрофные, олиготрофные, мезотрофные и эвтрофные. В Карелии встречаются все эти типы водоемов, кроме того, имеется ряд переходных стадий. Об уровне трофии водоемов и степени их закисления можно судить по произрастающим в них макрофитам.

Ацидотрофно-олиготрофные олигогумозные озера довольно своеобразны по своей природе. По классификации Тинеманна – Науманна, к ним относятся озера с кислой реакцией воды (pH < 5,5). С. А. Зернов (1934), описывая озера этого типа, отмечал, что они могут иметь как бесцветную, так и окрашенную в бурый цвет воду. В первом случае имеет место комбинация ацидотрофии с олиготрофией, во втором – ацидотрофии с дистрофией. По классификации И. В. Баранова (1958), первую группу озер можно назвать ацидотрофно-олиготрофными олигогумозными, вторую – ацидотрофно-дистрофными полигумозными (Харкевич, 1970). Ацидотрофные водоемы, как правило, имеют небольшую площадь, малый удельный водосбор, малые или большие глубины. Водосбор таких водоемов, заросший сфагнумом, довольно часто заболочен, но без заметных торфяных отложений. Грунты иловые со значительным количеством неразложившегося мха. Питание в основном атмосферно-болотное. К озерам этого типа в Карелии могут быть отнесены следующие: Ливозеро, Столпозеро, Светлое, Бачанское, Аглимозеро (восточное побережье Онежского озера), а также Голубая Ламба (басс. р. Суны). В озерах Аглимозеро и Столпозеро макрофитами покрыто соответственно 2 и 6% водной поверхности. Береговая линия оконтуривается полосой прибрежной растительности на 21 и 69% ее протяженности. Ведущая роль в зарастании водоемов принадлежит нейстофитам. Флористический состав растений изменяется от 4 (Аглимозеро) до 15 видов (Ливозеро) (Клюкина, 1970).

Такие водоемы выделяются по наличию видов-показателей олиготрофии (лобелия Дортмана, уруть очередноцветковая), значительной разреженности зарослей, угнетенному состоянию растений, низким значениям фитомассы.

Ацидотрофно-дистрофные полигумозные водоемы более разнообразны по величине водной поверхности, часто значительны по площади, со сравнительно большими водосборами, которые обычно сильно заболочены и заторфованы. Преобладают верховые и переходные болота. Питание озер атмосферно-болотное. Озера данной группы в основном неглубокие, в большинстве своем проточные, за исключением небольших ламб. Типичными представителями водоемов этого типа являются озера Вегарусъярви, Салонъярви (бассейн р. Шуи) и Хижозеро (южный склон Беломорско-Балтийского канала). Степень зарастания этих озер незначительна, колеблется от 2,2 (Вегарусъярви) до 2,4% (Салонъярви), протяженность полосы прибрежных зарослей изменяется от 17 (Салонъярви) до 40% (Вегарусъярви) длины береговой линии, флористический состав растений насчитывает 14 (Салонъярви) – 17 видов (Вегарусъярви) (Клюкина, 1974). Эта группа озер устанавливается по преобладанию водно-болотных растений (вахта трехлистная, кизляк кистецветный, сабельник болотный и др.). Отмечены в них также водяная сосенка и пузырчатка обыкновенная. Уруть очередноцветковая и лобелия Дортмана представлены незначительно. Кислая реакция среды и низкая прозрачность воды ограничивают распространение гелофитов.

Своеобразие растительного покрова рассмотренных озер, обусловленное их гидрохимическими чертами, позволяет предположить различный путь изменений в озерных фитоценозах, связанных с антропогенным закислением вод. При увеличении кислотности воды, независимо от источника закисления – естественного или антропогенного, происходит упрощение структуры фитоценозов, в частности, уменьшение флористического разнообразия, сокращение плотности фитоценозов, снижение величин фитомассы растений и угнетение их жизнедеятельности. При этом одни виды макрофитов заменяются другими. Наблюдается экологическй регресс. Так, еще С. А. Зернов (1934) отмечал, что густые заросли тростника и камыша, произрастающие в щелочных водах, в очень кислых водах исчезают совсем, на их месте начинают развиваться осока, хвощ, манник. Аналогичные результаты были получены В. Н. Черновым (1949) при изучении водоемов Карелии. Он отмечал, что при увеличении кислотности вод происходит обеднение флористического состава макрофитов, разрежение зарослей и даже полное их исчезновение. В озерах, где pH снижается до 6,8, пропадают прежде всего рдесты, имеющие значительное распространение в нижней литорали карельских озер (хотя, по нашим данным, рдесты исчезают при более низких значениях pH). Позже других видов рдестов исчезает рдест плавающий, затем уруть, элодея и др. Значительно разреживаются прибрежные заросли тростника и хвоща. Зональность в зарастании таких озер отсутствует. На полное исчезновение рдестов и частичную замену их зарослями ежеголовника в дистрофированных озерах Западной Карелии указывал также С. В. Герд (1961). Аналогичная тенденция – исчезновение ряда видов и замена их другими при закислении озер – отмечена нами на ряде озер Северо-Запада России, а также многочисленными исследователями Финляндии, Швеции, Норвегии, США, Канады.

Дистрофные водоемы широко встречаются в условиях Карелии. Процесс дистрофикации водоемов сопровождается обеднением качественного состава макрофитов, при этом заросли становятся более редкими и исчезают полностью. Принадлежность водоема к этому типу определяется по характеру высшей водной растительности довольно четко. Озера дистрофного типа расположены в заболоченной местности, берега их низкие, болотистые, покрытые редкой растительностью, часто сложены сфагнумом. Реакция среды в них кислая, вода сильно окрашена, прозрачность ее очень низкая. В дистрофных озерах Южной Карелии, наиболее изученных среди водоемов этого типа в республике, флористический состав макрофитов изменяется от 11 до 21 вида. Зарастание незначительное, встречаются водоемы с преобладанием гелофитов и с доминированием нейстофитов. Степень их зарастания макрофитами колеблется в следующих пределах: у водоемов с доминированием гелофитов – 2,2–2,6% площади акватории, длина полосы прибрежных зарослей – 17–40% протяженности береговой линии (у водоемов с естественным режимом она достигает 63%), у водохранилищ с доминированием нейстофитов степень зарастания изменяется от единичных зарослей до 3% площади зеркала, растительный пояс вдоль берега практически отсутствует – обычно не превышает 6,5%. Для озер этого типа характерно наличие сфагнового мха на дне, различных видов осок и водно-болотных растений вдоль уреза воды. Из гелофитов в них наиболее часто встречаются тростник обыкновенный и хвощ топяной, среди нейстофитов доминируют кубышка желтая и ежеголовник родственный. Гидатофиты вследствие кислой реакции среды и малой прозрачности воды имеют ограниченное распространение. Показательно отсутствие рдестов пронзеннолистного и блестящего, элодеи канадской. Индикаторами озер дистрофного типа являются сфагновые мхи, вахта трехлистная, белокрыльник болотный (*Calla palustris* L.), сабельник болотный (*Comarum palustre* L.). Из растений с плавающими листьями к ним следует отнести кубышку желтую и ежеголовник родственный. Однако надо заметить, что кубышка желтая обладает довольно широким ареалом распространения и встречается в водоемах разной степени трофности.

Олиготрофный тип озер, широко распространенный в регионе, характеризуется большими глубинами, как правило, незначительно развитой, преимущественно каменисто-песчаной литоралью и высокопрозрачной маломинерализованной водой. Реакция среды изменяется от кислой до щелочной. Озерам этого типа свойственно присутствие видов, являющихся показателями олиготрофии, таких, как лобелия Дортмана и уруть очередноцветковая. Причем распространение этих растений по мере продвижения на север может увеличиваться. Растительные сообщества имеют ограниченное распространение. Фитоценозы в основном разрежены, развитие растений удовлетворительное. Индикатором олиготрофных озер Скандинавии является также лютик стелющийся (*Ranunculus reptans* L.), полушник колючеплодный (*Isoetes echinospora* Dur.) и полушник озерный (*I. lacustris* L.). Два последних растения встречены в олиготрофных озерах бассейнов рек Шуи и Суны, в водоемах восточного побережья Онежского озера и в Онежском озере. По мнению некоторых ученых, лобелия Дортмана и полушник озерный являются наиболее чувствительными индикаторными видами, указывающими на олиготрофию водоема.

При осуществлении контроля за закислением озерных вод с использованием макрофитов необходимы наблюдения за развитием сфагновых мхов. Они предпочитают подкисленную воду с $pH < 6$ и в озерах, подвергающихся закислению, развиваются более усиленно. Связано это с тем, что мхи – светолюбивые растения и в светлой и прозрачной воде могут заселять незанятую часть дна. При этом они способны вытеснять другие растения, в частности, лобелию Дортмана

и полушник озерный. Нимфейные растения более устойчивы, так как добывают себе питательные вещества с больших глубин, где pH выше.

Мезотрофный и эвтрофный типы водоемов встречаются преимущественно в Южной, реже в Средней Карелии. Это, как правило, мелководные водоемы с хорошо развитой литоральной зоной, покрытой водной растительностью. Им свойственна нейтральная или слабощелочная реакция среды, малая прозрачность. Показательно присутствие в них горца земноводного, рдеста плавающего, элодеи канадской. Растительные сообщества хорошо развиты, макрофиты широко распространены по акватории, полоса прибрежных зарослей значительной ширины. Рдест блестящий для таких озер не типичен, так как требователен к высокопрозрачной воде, хотя в крупных мелководных озерах Вологодской и Архангельской областей (Лача, Воже, Кубенское) он произрастал при незначительной ее прозрачности (Распопов, 1978). По мнению ряда авторов, увеличение площадей кубышки желтой и малой свидетельствует об эвтрофировании водоема. На принадлежность к мезотрофным и эвтрофным водоемам в Карелии может указывать повойничек водяной перец (*Elatine hydropiper* L.). Для эвтрофированных местообитаний характерны следующие виды растений: рдесты блестящий и сплюснутый (*Potamogeton compressus* L.), ряска трехдольная и малая (*Lemna minor* L.), уруть мутовчатая, шелковники неукореняющийся (*Batrachium eradicatum* (Laest.) Fries) и фенхелевидный (*B. foeniculaceum* (Gilib.) V. Krees), элодея канадская и стрелолист стрелолистный (*Sagittaria sagittifolia* L), осока пузырчатая и кувшинка четырехгранная (*Nymphaea tetragona* Georgi), частуха подорожниковая (*Alisma plantago-aquatica* L.), рдест плавающий.

Отдельные виды растительности, которые являются индикаторами этого типа водоема, могут свидетельствовать о наличии тех или иных питательных веществ в биотопах. Например, требовательны к наличию в грунтах биогенных веществ рдест маленький (*P. pusillus* L.), водокрас обыкновенный (*Hydrocharis morsus-ranae* L.), рогоз узколистный (*Typha angustifolia* L.). Массовое развитие кувшинки чисто-белой указывает на высокое содержание органических соединений в илистом грунте.

Важное значение имеет мониторинг самой высшей водной растительности. С этой целью выбирается наиболее интересный в плане зарастания или важный с хозяйственной точки зрения природный объект, на котором проводятся многолетние исследования сукцессий водной растительности. Фиксацию динамики зарастания водного объекта целесообразно выполнять с использованием видеокамеры, на больших озерах и водохранилищах, кроме того, периодически осуществлять аэрофото- и космическую съемку.

Особое внимание также должно быть уделено контролю за состоянием редких и исчезающих видов высших водных растений, их фитоценозов или сообществ, в которых они присутствуют. Актуален также мониторинг инвазивных видов и их взаимоотношение с аборигенными растениями – проблема, которая в настоящее время находится в сфере внимания ученых.

Для зарастающих водоемов и водотоков характерна ярко выраженная неоднородность полей гидрофизических, гидрохимических и гидробиологических показателей, что крайне затрудняет мониторинг их состояния. В районах с обильно развитой растительностью, где применение традиционных методов изучения крайне затруднительно вследствие ряда причин, практически единственным способом получения оперативной информации о состоянии водного объекта является использование дистанционных методов. Информацию о растительном покрове сравнительно легко получить на основе тематического дешифрирования аэро- и космических фотоснимков. По мнению В. Д. Казмирука (2000), при этом индикационными признаками будут места произрастания тех или иных видов, скорость их распространения по акватории, конфигурация и структура ассоциации, наклон растений, как индикатор направления течения воды. Совокупность этих признаков дает возможность достаточно точно судить о глубинах, скоростях и направлении течений, динамике взвешенных наносов, типе, состоянии и свойствах донных отложений, направленности руслового процесса. Так, видами-индикаторами зон со слабой гидродинамической активностью являются кувшинка чисто-белая, кубышка желтая. В таких зонах формируются органические илы, чему активно способствует наличие роголистника, элодеи канадской, наяды малой. Индикатором наличия заторфованных илов может выступать телорез алоэвидный, зон сплавинообразования и заболоченных участков – хвощ приречный. Индикатором направленности течений может быть мягкая растительность, особенно рдесты. Наклон растений по направлению течения сохраняется даже при сильных ветрах до 15 м/с.

Интересен также вопрос о линейных размерах листеца ряски малой в связи с возможностью использования этого показателя в биоиндикационных исследованиях. По данным О. А. Капитоновой (2000), в водоемах, подверженных промышленному загрязнению, ряска малая имеет в среднем меньшие по сравнению с растениями, выросшими в чистых водоемах, размеры листецов.

Говоря о проведении мониторинговых исследований в России, следует отметить, что в настоящее время макрофиты практически не используются в мониторинговых программах, в том числе и в региональных, хотя для этого имеется хорошая основа. Для этого можно использовать снимки среднего и высокого разрешения (соответственно 170 и 40 м) с российских спутников серии Космос-1939. Дешифровка спутниковых и аэрофотоснимков позволит получить определенную информацию и о макрофитах водных объектов.

Значительное количество водоемов на территории Восточной Фенноскандии, чрезвычайно разнообразный химический состав их вод делают практически невозможным детальное изучение каждого типа водоемов в отдельности, это потребовало бы существенных затрат сил и времени. Поэтому целесообразно использовать индикаторные виды макрофитов, позволяющие в первом приближении при визуальном рекогносцировочном обследовании водоема определить его статус. С этой целью на основании результатов многолетних исследований и анализа литературных данных по макрофитам более 300 водоемов различной трофии разных климатических зон Карелии нами выделен ряд индикаторных видов, по наличию которых можно судить о принадлежности озера к определенному типу трофии и установить биоиндикаторные границы водных растений озер с различной степенью трофии (ацидотрофных, дистрофных, олиготрофных, мезотрофных и эвтрофных).

Анализ литературы по озерам Восточной Фенноскандии, касающийся некоторых сведений о макрофитах, сопоставление с результатами исследований водоемов Карелии позволяют в целом рассматривать и использовать ряд выделенных нами видов растений в качестве биоиндикаторов озер различной степени трофии применительно к условиям региона (Фрейндлинг, 1988).

К таким видам растений-индикаторов относятся (см. приложение):

I. Для дистрофных озер: сфагновые мхи, белокрыльник болотный, вахта трехлистная, сабельник болотный, ежеголовник родственный, кубышка желтая.

II. Для олиготрофных озер: лобелия Дортмана, лютик стелющийся, уруть очередноцветковая, шелковник щитовидный, полушники колючеплодный и озерный.

III. Для мезотрофных и эвтрофных озер: осока пузырчатая, частуха подорожниковая, стрелолист плавающий, рогоз узколистный, водокрас лягушачий, кувшинки четырехгранная и чисто-белая, ряски малая и трехдольная, повойничек водяной перец, рдесты маленький и сплюснутый, уруть мутовчатая, шелковники неукореняющийся и грязный, элодея канадская.

Очевидно, что указанный перечень растений не является исчерпывающим. С накоплением данных по разнотипным водоемам различных климатических зон он будет расширяться. Появится возможность уточнения индикаторных границ макрофитов и более точного суждения о качестве вод на основании сведений об их растительности.

Наблюдение за зональностью и видовым составом водной растительности предусматривает достаточно подробное и достоверное картирование зарослей. При изучении водоема необходимо знать среду произрастания макрофитов, их точное местоположение, рост и обилие.

На основании имеющихся материалов собственных исследований и литературных данных можно предложить следующую схему использования макрофитов в системе биомониторинга качества поверхностных вод:

I. Картирование
   а. Космическая съемка
   б. Аэрофотосъемка
   в. Аэровидеосъемка
   г. Маршрутная съемка
   д. Подводная съемка

II. Индикация при помощи видов-индикаторов

III. Индикация на пробных площадках

IV. Индикация в процессе камеральной обработки

V. Лабораторный эксперимент

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

Баранов И. В. Классификация озер Карело-Кольской лимнологической области // Рыбное хоз-во Карелии. 1958. Вып. 7. С. 180–193.

Герд С. В. Влияние болотных вод на фауну и флору озер // Учен. зап. Карельского педагогического института. Биологические науки. 1961. Т. 11, вып. 2. С. 3–14.

Зернов С. А. Общая гидробиология. М.; Л., 1934. 503 с.

Казмирук В. Д. Фитоиндикация состояния водных масс и донных отложений при дистанционном мониторинге водных объектов: Тез. докл. V Всерос. конф. по водным растениям «Гидроботаника 2000». Борок, 10–13 октября 2000 г. Борок, 2000. С. 150–151.

Капитонова О. А. К вопросу о линейных размерах листеца ряски малой (*Lemna minor* L.): Тез. докл. V Всерос. конф. по водным растениям «Гидроботаника 2000». Борок, 10–13 октября 2000 г. Борок, 2000. С. 151–152.

Клюкина Е. А. Геоботаническая характеристика озер восточного побережья Онежского озера // Водные ресурсы Карелии и пути их использования. Петрозаводск, 1970. С. 173–184.

Клюкина Е. А. Высшая водная растительность некоторых озер бассейна р. Шуи // Охрана и использование водных ресурсов Карелии. Петрозаводск, 1974. С. 248–268.

Распопов И. М. Макрофиты Онежского озера // Растительный мир Онежского озера. Л., 1971. С. 21–87.

Распопов И. М. Высшая водная растительность озер Воже и Лача // Гидробиол. озер Воже и Лача. Л., 1978. С. 12–27.

Фрейндлинг А. В. Использование макрофитов как индикаторов вод различной степени трофии (в водоемах Северо-Запада СССР): Методические рекомендации. Петрозаводск, 1988. С. 3–11.

Харкевич Н. С. Гидрохимическая характеристика ацидотрофных озер южной Карелии // Водные ресурсы Карелии и пути их использования. Петрозаводск, 1970. С. 306–314.

Чернов В. Н. Флора озер Карелии и пути ее улучшения // Тр. III науч. сессии Карело-Финского гос. университета 19–22 ноября 1948 г.: Тез. докл. 58. Петрозаводск, 1949. С. 2.

Приложение

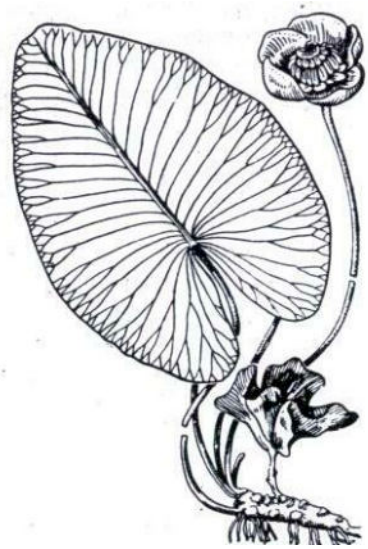
I ГРУППА РАСТЕНИЙ-ИНДИКАТОРОВ

Белокрыльник болотный (*Calla palustris* L.)



Вахта трехлистная (*Menyanthes trifoliata* L.)

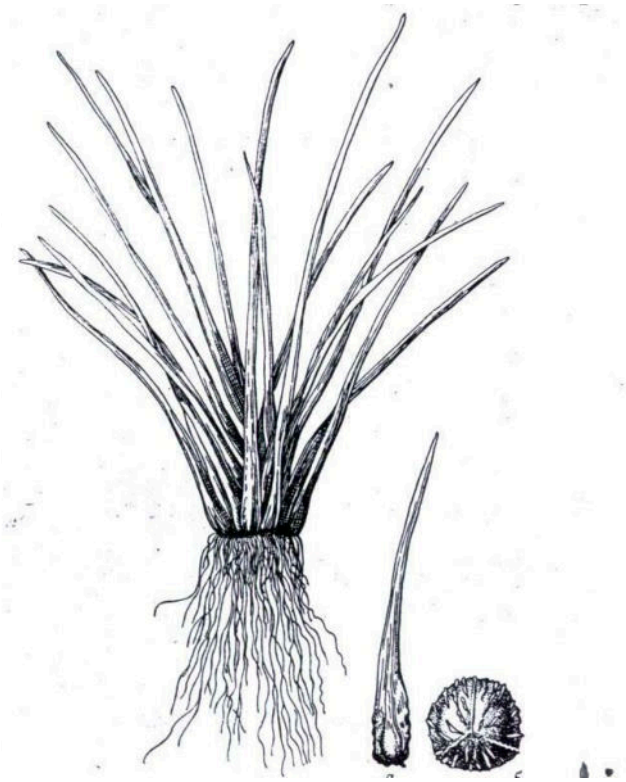


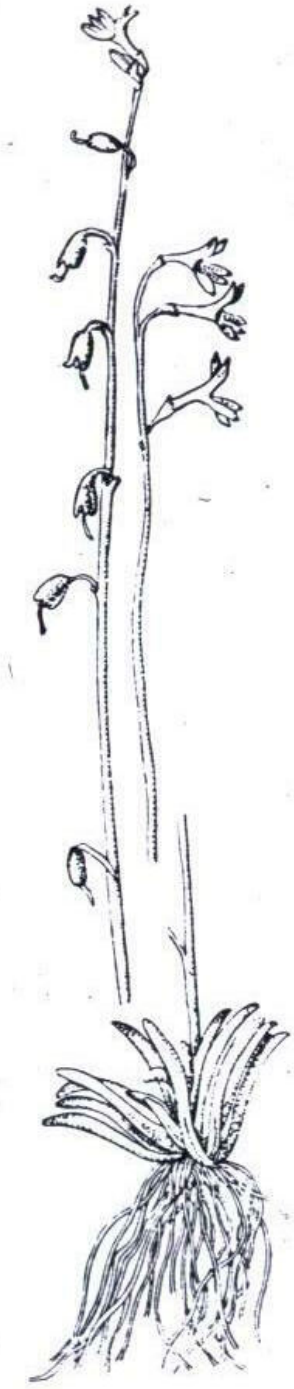


Кубышка желтая (*Nuphar lutea* (L.) Smith)

II ГРУППА РАСТЕНИЙ-ИНДИКАТОРОВ

Полушник озерный (*Isoetes lacustris* L.)

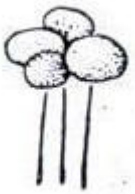


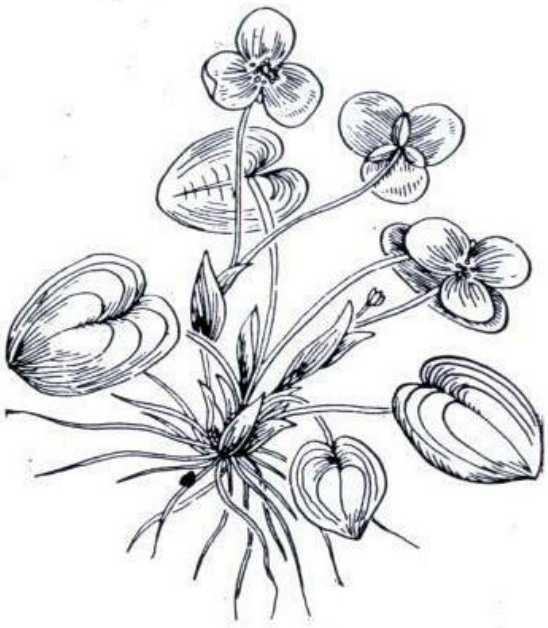


Лобелия Дортмана (*Lobelia dortmanna* L.)

III ГРУППА РАСТЕНИЙ-ИНДИКАТОРОВ

Ряска малая (*Lemna minor* L.)



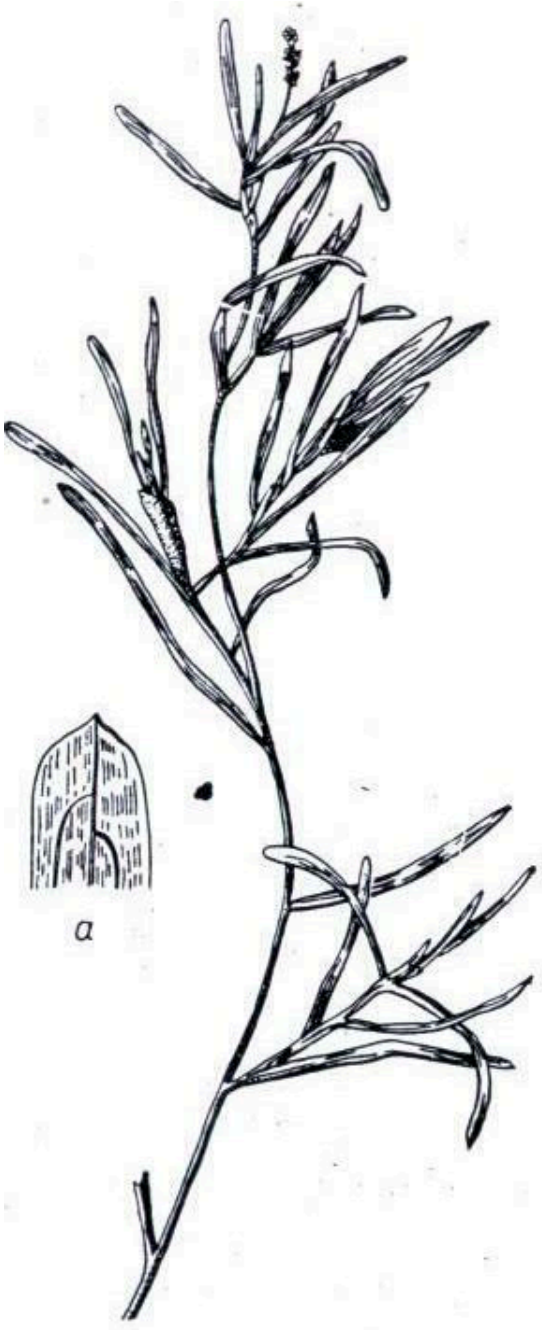


Водокрас лягушачий (*Hydrocharis morsus-ranae* L.)

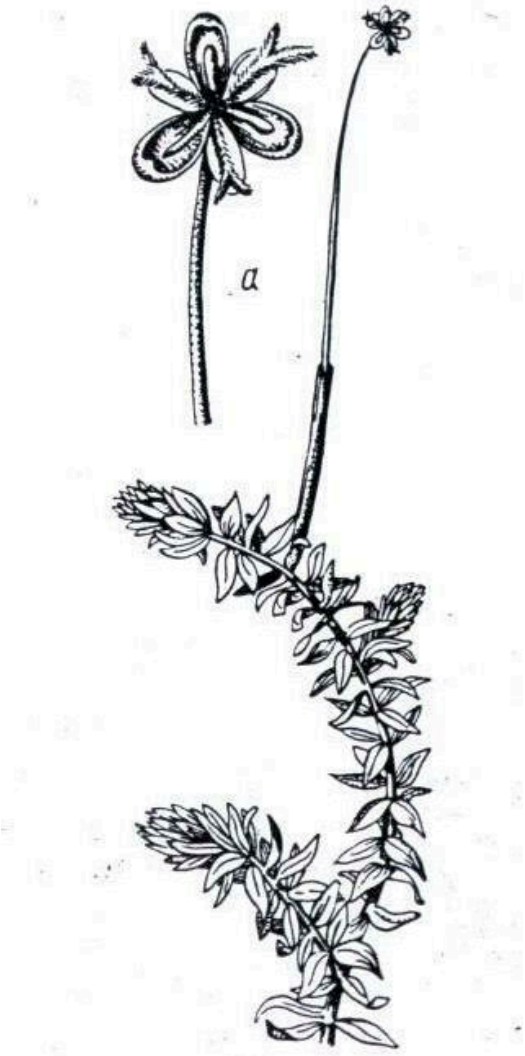


Уруть мутовчатая (*Myriophyllum verticillatum* L.)
а – прицветники

III ГРУППА РАСТЕНИЙ-ИНДИКАТОРОВ

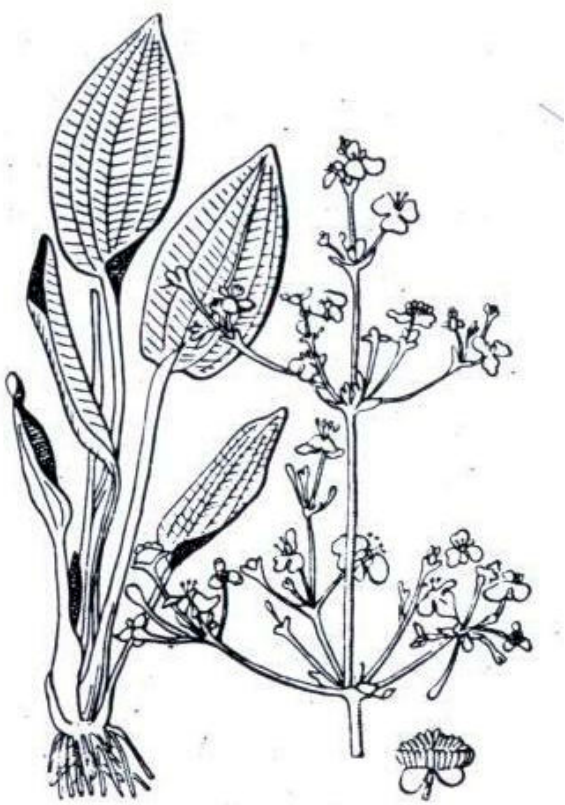


Рдест маленький
(*Potamogeton pusillus* L.)
а – кончик листа



Элодея канадская
(*Elodea canadensis* Michx.)
а – цветок

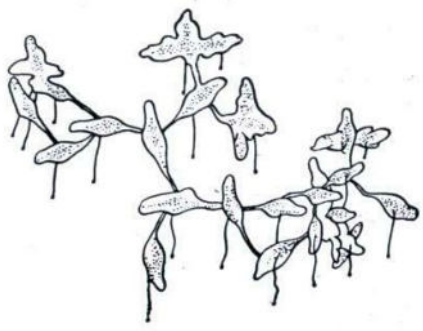
III ГРУППА РАСТЕНИЙ-ИНДИКАТОРОВ



Частуха подорожниковая
(*Alisma plantago-aquatica* L.)

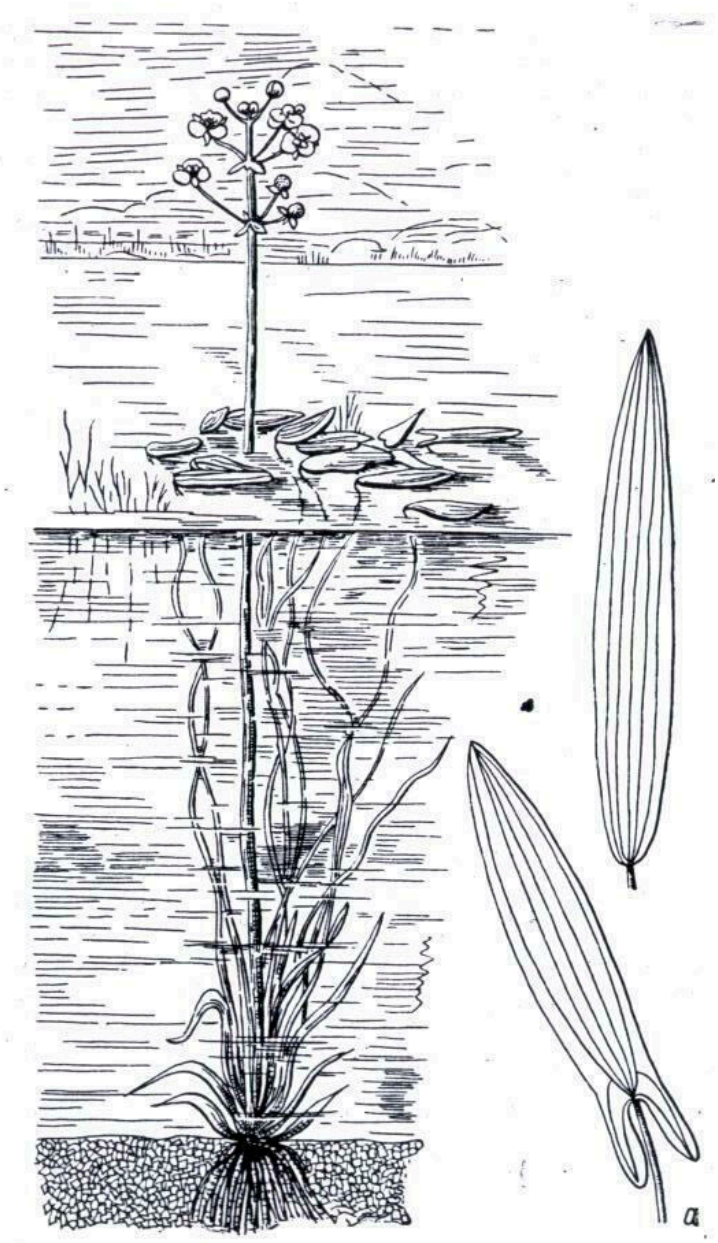


Рогоз узколистный
(*Typha angustifolia* L.)



Ряска трехдольная (*Lemna trisulca* L.)

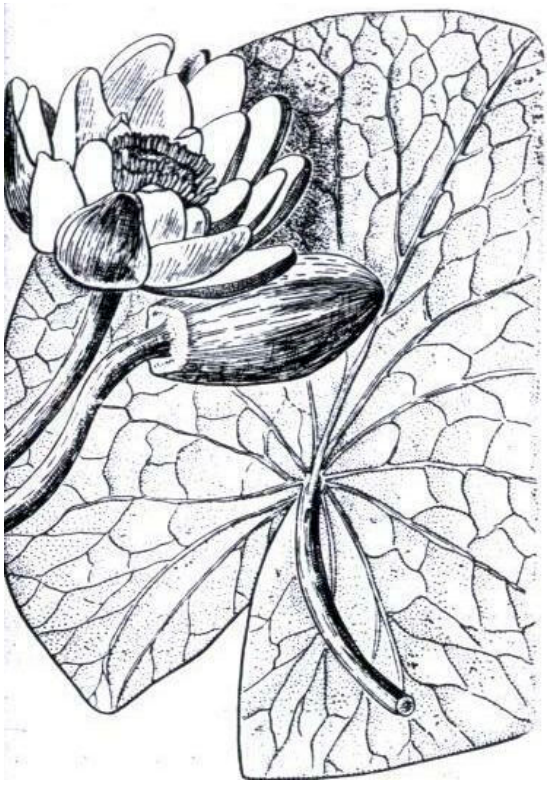
III ГРУППА РАСТЕНИЙ-ИНДИКАТОРОВ

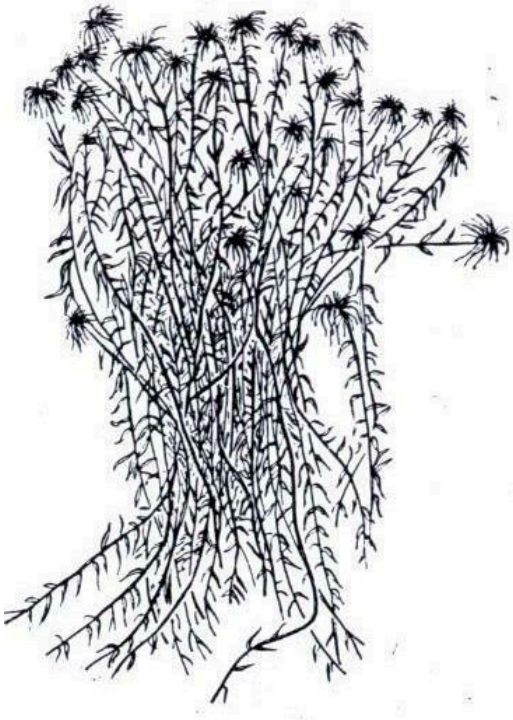


Стрелолист плавающий (*Sagittaria natans* Pall.)
а – плавающие листья

III ГРУППА РАСТЕНИЙ-ИНДИКАТОРОВ

Кувшинка чисто-белая (*Nymphaea candida* J. et C. Presl)





Сфагновый мох (*Sphagnum*)

88 ПРАКТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

Практические исследования изменчивости годовой температуры воздуха на территории Карелии

Ю. А. Сало, Л. Е. Назарова

Проблема «парникового эффекта» и связанного с ним потепления климата Земли является в настоящее время одной из самых актуальных экологических проблем глобального масштаба. На протяжении последних 120 лет средняя по земному шару годовая температура воздуха имела устойчивую положительную тенденцию, количественно оцениваемую в 0,5 °С/100 лет (рис. 1). Многие исследователи связывают выявленное глобальное потепление с антропогенными причинами, главным образом – с увеличивающимся поступлением в атмосферу Земли углекислого газа, сульфатов, соединений азота при сжигании ископаемых видов топлива.

Значительный интерес представляет исследование региональных и локальных изменений приземной температуры воздуха в различных районах Земли, оценка ее изменчивости и тенденций и, в конечном итоге, прогноз возможных изменений регионального климата.

Методические основы оценки локальных проявлений потепления климата были даны нами ранее (Сало, 1999), поэтому в данной работе основное внимание уделяется практическим

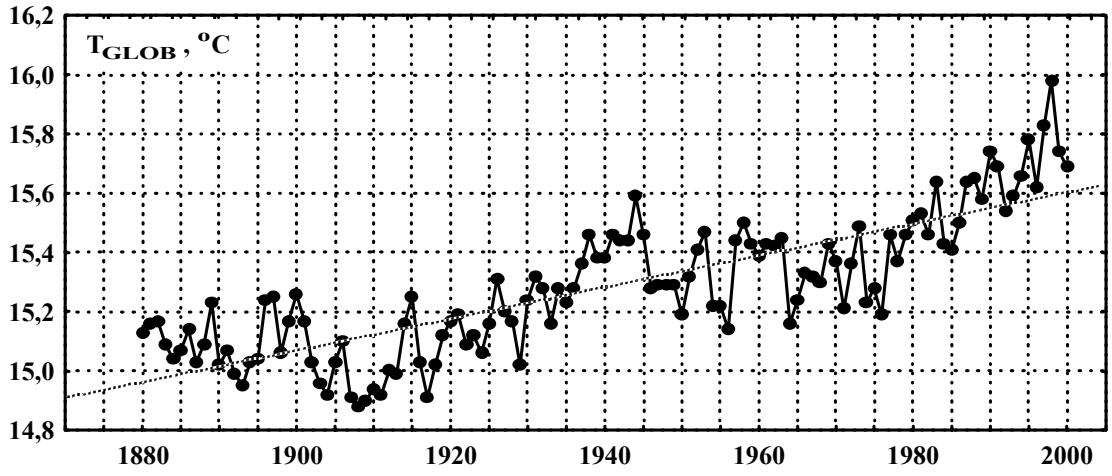


Рис. 1. ИЗМЕНЕНИЕ ГОДОВОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА В ЦЕЛОМ ПО ЗЕМНОМУ ШАРУ ЗА ПЕРИОД 1880–2000 гг.

вычислительным приемам оценки трендов годовой температуры воздуха для пунктов, расположенных на территории Карелии, на конкретном примере. При этом рассматривается наиболее простой метод расчета линейного тренда, не требующий наличия компьютера и специального программного обеспечения.

Исходными данными для расчетов является хронологический ряд годовой температуры воздуха за достаточно продолжительный период времени (не менее 40–50 лет). Эти данные имеются в справочниках по климату Карелии (Государственная публичная библиотека РК) и в базе данных Института водных проблем Севера Карельского научного центра РАН.

Основная расчетная формула для определения линейного тренда годовой температуры воздуха имеет вид:

$$T = a \cdot t + b, \qquad (1)$$

где T – годовая температура воздуха, °С, t – порядковый номер года в хронологическом ряду, a и b – численные коэффициенты.

Наибольший интерес представляет коэффициент линейного тренда (a), который и характеризует тенденцию (тренд) изменения годовой температуры воздуха в исследуемом пункте за рассматриваемый период. При $a > 0$ тренд положительный (т. е. за рассматриваемый период годовая температура воздуха имеет тенденцию к росту, наблюдается общее потепление), при $a < 0$ наблюдается общее похолодание, при $a = 0$ тренд отсутствует. Численная величина коэффициента a (°С/год) характеризует темп потепления (похолодания).

Например, для хронологического ряда глобальной температуры воздуха за период 1880–2000 гг., показанного на рис. 1, уравнение линейного тренда (1) имеет вид:

$$T = 0{,}005 \cdot t + 14{,}8. \qquad (2)$$

В данном случае $a = 0{,}005$, т. е. глобальная температура воздуха за период 1880–2000 гг. имела положительную тенденцию, наблюдалось глобальное потепление, а его темп составил 0,005 °С/год или 0,5 °С за 100 лет.

Следовательно, для оценки тенденции изменения годовой температуры воздуха в рассматриваемом пункте за выбранный период необходимо рассчитать коэффициенты уравнения (1).

Приведем расчет коэффициентов линейного тренда на примере пгт Пряжа.

Данные по годовой температуре воздуха по метеостанции Пряжа имеются за период с 1951 по 1990 г., всего N = 40 лет наблюдений. Для выполнения расчетов составим таблицу (табл.): в графе (1) – номер года (i), в графе (3) – год, в графе (4) – значение годовой температуры воздуха (T), для остальных граф и последней строки таблицы необходимо выполнить соответствующие промежуточные вычисления. При затруднениях вычислительного характера возможна консультация преподавателя-математика.

Коэффициенты a и b рассчитаем по известным формулам (Дьяконов, 1985; Тейлор, 1985):

$$b = \frac{\sum T \cdot i - \frac{1}{N} \cdot \sum i \cdot \sum T}{(\sum i^2) - \frac{1}{N} \cdot (\sum i)^2}, \qquad (3)$$

$$a = \frac{1}{N} \cdot (\sum T - b \cdot \sum i) \qquad (4)$$

С учетом того что промежуточные вычисления в таблице выполнены, рассчитаем значения коэффициентов:

$$b = \frac{2051 - \frac{1}{40} \cdot 820 \cdot 96{,}3}{22140 - \frac{1}{40} \cdot 820 \cdot 820} = 0{,}014,$$

$$a = \frac{1}{40}(96{,}3 - 0{,}014 \cdot 820) = 2{,}12.$$

Таким образом, для пгт Пряжа за период 1951–1990 гг. рассчитанное уравнение линейного тренда годовой температуры воздуха имеет вид:

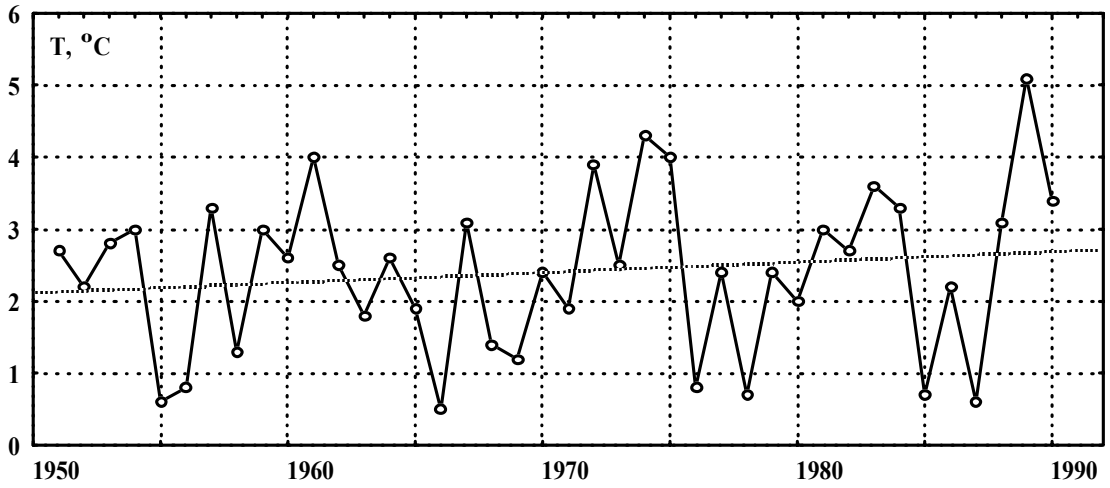
$$T = 0{,}014 \cdot t + 2{,}12. \qquad (5)$$

Коэффициент линейного тренда положителен и равен 0,014 °С/год, следовательно, в течение указанного периода в районе Пряжи наблюдалось потепление с интенсивностью 0,014 °С/год или примерно 0,6 °С за 40 лет. На рис. 2 показан график изменения годовой температуры воздуха в пгт Пряжа за 40 лет, а также (пунктиром) линейный тренд, построенный по уравнению (5). По данным таблицы (графа 4) можно рассчитать среднее многолетнее значение (норму) годовой температуры воздуха в пгт Пряжа, равное +2,4 °С, а также установить, что самым холодным за указанный период был 1966 г. (+0,5 °С), а самым теплым – 1989 (+5,1 °С). Представляет интерес сопоставление изменения годовой температуры в Пряже и глобальной температуры (рис. 1) за совместный период 1951–1990 гг.

Как следует из рассмотренного примера, оценка локальных изменений годовой температуры воздуха может быть выполнена для любого пункта Карелии, в котором имеются многолетние наблюдения за метеорологическими характеристиками. Список и схема расположения метеостанций на территории Карелии нами были даны ранее (Сало, 1999). Математические вычисления не представляют особой сложности и не требуют применения компьютерного обеспечения, что важно при

РАСЧЕТ КОЭФФИЦИЕНТОВ ЛИНЕЙНОГО ТРЕНДА ГОДОВОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА ДЛЯ ПГТ ПРЯЖА ЗА ПЕРИОД 1951–1990 гг.

№ п/п i	i^2	Год	Температура воздуха T, °C	T^2	T · i
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
1	1	1951	2,7	7,29	2,7
2	4	1952	2,2	4,84	4,4
3	9	1953	2,8	7,84	8,4
4	16	1954	3,0	9,00	12,0
5	25	1955	0,6	0,36	3,0
6	36	1956	0,8	0,64	4,8
7	49	1957	3,3	10,89	23,1
8	64	1958	1,3	1,69	10,4
9	81	1959	3,0	9,00	27,0
10	100	1960	2,6	6,76	26,0
11	121	1961	4,0	16,00	44,0
12	144	1962	2,5	6,25	30,0
13	169	1963	1,8	3,24	23,4
14	196	1964	2,6	6,76	36,4
15	225	1965	1,9	3,61	28,5
16	256	1966	0,5	0,25	8,0
17	289	1967	3,1	9,61	52,7
18	324	1968	1,4	1,96	25,2
19	361	1969	1,2	1,44	22,8
20	400	1970	2,4	5,76	48,0
21	441	1971	1,9	3,61	39,9
22	484	1972	3,9	15,21	85,8
23	529	1973	2,5	6,25	57,5
24	576	1974	4,3	18,49	103,2
25	625	1975	4,0	16,00	100,0
26	676	1976	0,8	0,64	20,8
27	729	1977	2,4	5,76	64,8
28	784	1978	0,7	0,49	19,6
29	841	1979	2,4	5,76	69,6
30	900	1980	2,0	4,00	60,0
31	961	1981	3,0	9,00	93,0
32	1024	1982	2,7	7,29	86,4
33	1084	1983	3,6	12,96	118,8
34	1156	1984	3,3	10,89	112,2
35	1225	1985	0,7	0,49	24,5
36	1296	1986	2,2	4,84	79,2
37	1369	1987	0,6	0,36	22,2
38	1444	1988	3,1	9,61	117,8
39	1521	1989	5,1	26,01	198,9
40	1600	1990	3,4	11,56	136,0
Σi = 820	Σi^2 = 22140		ΣT = 96,3		$\Sigma T \cdot i$ = 2051,0



Р и с. 2. ИЗМЕНЕНИЕ ГОДОВОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА И ЕЕ ЛИНЕЙНЫЙ ТРЕНД В ПГТ ПРЯЖА ЗА ПЕРИОД 1951–1990 гг.

проведении исследований по данной тематике на уровне средней школы. Вместе с тем результаты исследований представляют определенный интерес и могут быть использованы для углубления знаний учащихся по географии, экологии и краеведению.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

Дьяконов В. П. Справочник по расчетам на микрокалькуляторах. М., 1985. 224 с.

Сало Ю. А. Исследование локальных проявлений потепления климата на территории Карелии // Экологические исследования природных вод Карелии. Петрозаводск, 1999. С. 17–21.

Тейлор Дж. Введение в теорию ошибок. М., 1985. 272 с.

Проведение токсикологических экспериментов с использованием доступных материалов и организмов

Л. В. Дубровина, Т. Н. Полякова

Хозяйственная деятельность человека сопровождается образованием большого количества сточных вод, которые, чаще всего плохо очищенные, сбрасываются в водоемы и водотоки. Сточные воды – это воды, использованные в быту, промышленном и сельскохозяйственном производстве. Ливневые воды с полей, городских и сельских территорий, с поверхности дорог также считаются сточными. Их компонентный состав очень разнообразен и зависит от многих факторов, в том числе от технологического процесса, мощности производства, сезона года (ливневые стоки) и т. д. При этом определение только химического состава сточных вод далеко не всегда адекватно отражает их вредность для водных биоценозов, поскольку в результате взаимодействия различных компонентов может происходить или усиление, или ослабление токсического эффекта. В связи с этим, наряду с химическими методами, целесообразно использование методов водной токсикологии, которые позволяют интегрально оценить степень и характер действия загрязняющих веществ на водные организмы.

Задачей токсикологических исследований является выяснение вреда, наносимого загрязнением гидробионтам, установление научно обоснованных норм разведения сточных вод и их компонентов перед сбросом в водоем, прогнозирование последствий воздействия данного загрязнителя для водного сообщества.

Методы, используемые в водной токсикологии, носят экспериментальный характер и проводятся в стационарных условиях. Это может быть заводская или научная лаборатория, полевой стационар на берегу озера или реки и т. д. Однако следует отметить, что при выборе предмета изучения важно иметь в виду, насколько опасны для человека могут быть сточные воды. Нельзя, в частности, тестировать в условиях школьной лаборатории хозяйственно-бытовые стоки. Поэтому лучше брать отдельные компоненты сточных вод или просто вещества, которые используются на территории вашего города или поселка. Это могут быть, например, моющие средства, которые из бань попадают в озеро или реку, соли металлов или слабые кислоты, которые есть в лаборатории школы. В последнем случае можно изучать устойчивость разных организмов к закислению среды или влияние кислой среды на токсические свойства других веществ, в том числе и солей тяжелых металлов.

В качестве основного критерия интоксикации организма используется показатель смертности (или выживаемости) в различных разбавлениях сточных вод или в растворах их компонентов. Изучают также действие загрязняющих веществ на важнейшие функции организмов (рост, развитие, размножение), на поведенческие и другие реакции. Животных, которые используются в экспериментах и по степени влияния на которые судят о токсичности водной среды, называют тест-организмами или тест-объектами.

В качестве тест-организмов используют представителей различных групп животных. Это могут быть простейшие организмы, зоопланктёры, рыбы на разных стадиях развития (икра, личинки, взрослые особи). Мы предлагаем использование в качестве тест-организмов представителей зообентосных сообществ, т. е. животных, обитающих на дне водоемов.

При биотестировании сред применяют острые, длительностью 96 часов, подострые – 10 суток или хронические опыты – 20–30 суток. При краткосрочной экспозиции основной критерий интоксикации – смертность (или выживаемость). Острые опыты используют для установления факта токсичности воды, для сравнения токсических свойств двух и более веществ, а также для сравнения чувствительности (устойчивости) испытуемых организмов (Строганов, 1976; Water quality.., 1989).

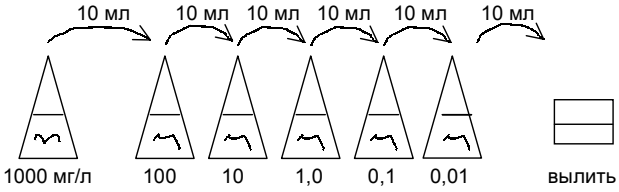
В качестве показателя токсичности используются значения TL_{50} – время гибели или иммобилизации 50% организмов в каждой

концентрации; TL_{100} – время гибели или иммобилизации 100% организмов в каждой концентрации; CL_{50} – медианная концентрация, т. е. концентрация, в которой наблюдается 50%-я гибель тест-организмов за конкретное время (24, 48, 72 или 96 часов); CL_{100} – концентрация, вызывающая 100%-ю гибель тест-организмов; CL_0 – концентрация, в которой за тот же срок не погибает ни одного животного. При этом, чем меньше полученные значения, тем токсичнее тестируемые растворы.

В более длительных экспериментах (10 суток и более) кроме показателя выживаемости (смертности или иммобилизации) на конец опыта регистрируются дополнительные параметры в зависимости от используемого тест-объекта. Общими для всех животных могут быть поведенческие реакции, поедание пищи, видимые патологические изменения, размерные и весовые характеристики. При этом выявляется степень повреждения группы организмов за стандартное время в зависимости от концентрации вещества, а также определяются сроки проявления симптомов повреждения в каждой концентрации. Находят концентрацию вещества, которая за данный срок вызывает не гибель, а какую-либо другую реакцию. Эту величину принято обозначать символом EL (EL_{50} – медианная эффективная концентрация, EL_{100} – абсолютная эффективная концентрация). Все наблюдения подробно заносятся в дневник, а затем анализируются.

Опытные растворы. В качестве контрольной и разбавляющей воды можно использовать отстоянную не менее 4 суток водопроводную воду, воду из аквариума, чистого участка озера или реки, которую предварительно необходимо профильтровать для удаления взвесей и других организмов. При длительном хранении воду необходимо обогащать кислородом при помощи компрессора или простым перемешиванием. Опытные растворы разливают в приготовленную заранее и подписанную посуду минимум в 2–4 повторностях для одного ряда концентрации. Объем рабочего раствора зависит от вида организмов. Для опытов можно использовать баночки от детского питания, обычные стеклянные банки емкостью 0,25 или 0,5 л, чашки Петри или кюветы. Частота смены растворов определяется требованиями организмов и скоростью распада вещества (но не реже одной смены в 3–4 дня). В связи с тем что некоторые бентосные организмы являются ярко выраженными оксифилами (*окси* – кислород, *фил* – любящий), смену опытных растворов необходимо проводить каждый день, а если есть возможность, то продувать воздух при помощи компрессора.

Выбор диапазона концентраций для кратковременных опытов можно осуществлять следующим образом. Для приготовления растворов навеска вещества 1000 мг растворяется в 1000 мл контрольной воды. В результате получается маточный раствор с концентрацией 1000 мг/л. Затем из маточного раствора готовятся рабочие растворы по схеме 1 (рис. 1). Следует иметь в виду, что при приготовлении растворов солей металлов необходимо делать пересчет на катионы.



Р и с. 1. ПРИГОТОВЛЕНИЕ РАСТВОРОВ

Полученные растворы тестируют в течение выбранного времени (от 24 до 96 часов). В каждом ряду концентраций используются два повтора и более. Через заданный промежуток времени фиксируется гибель животных. Наблюдаемые результаты заносятся в таблицу.

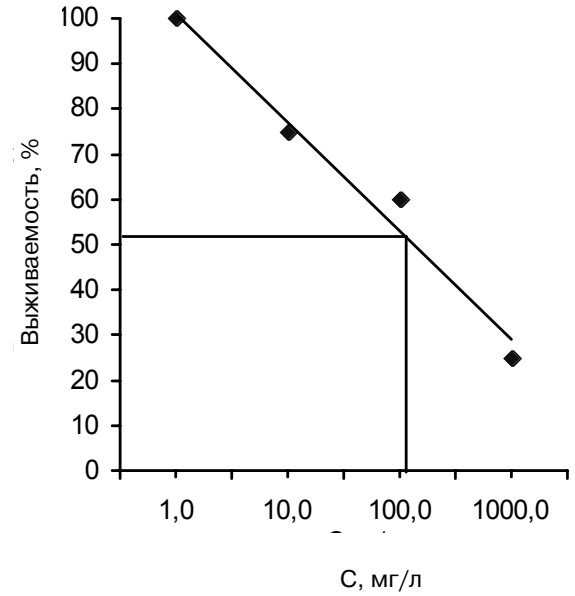
Таблица наблюдений

Название опыта_____
Дата (начало и конец опыта)_____
Тест-реагент_____
Тест-организмы_____
Концентрации: С1 –
С2 – и т. д.

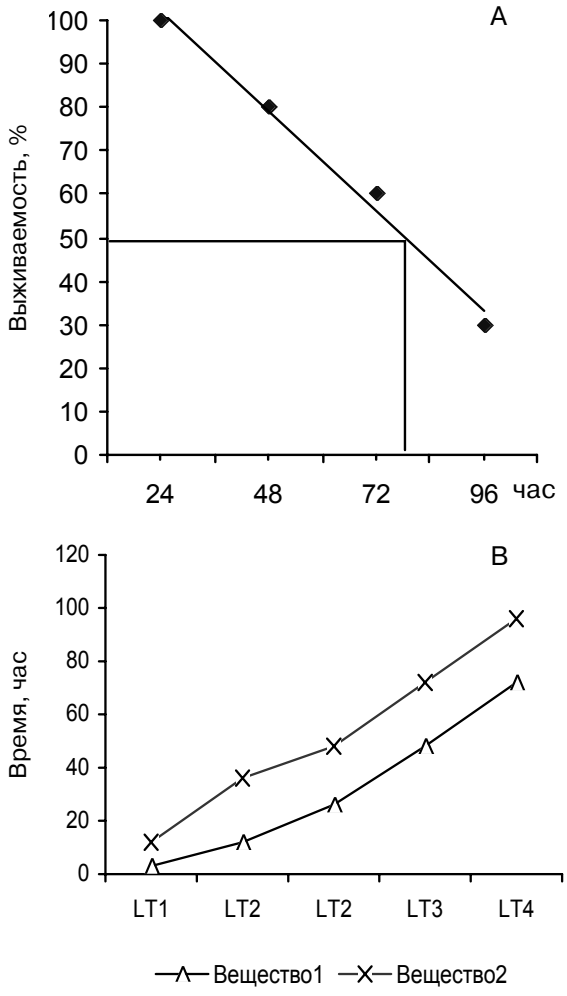
Концентрация \ Экспозиция, час		24	48	72	96	Кол. экз. на конец опыта	Кол. в % на конец опыта
Контр.	1 повт. 2 повт. 3 повт. 4 повт.						
С1	1 повт. 2 повт. 3 повт. 4 повт.						
С2 и т. д.	1 повт. 2 повт. 3 повт.						

Для приготовления разведений сточных вод можно использовать рекомендации Н. М. Калинкиной (1999).

Обработка полученных результатов. Для определения значения CL_{50} суммируется количество живых особей во всех повторностях одной параллели концентрации, а затем переводится в процентное выражение по отношению к контролю. Полученные данные заносят на график, показанный на рис. 2, и определяют концентрацию, при которой погибло 50% особей. Для этого проводится «на глаз» усредненная прямая линия, соединяющая полученные точки. От значения 50 на оси абсцисс опускается перпендикуляр до пересечения с полученной линией, затем опускается перпендикуляр на ось ординат. Точка пересечения – есть концентрация, при которой погибает 50% особей.



Р и с. 2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ CL_{50} ГРАФИЧЕСКИМ СПОСОБОМ



Р и с. 3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ TL_{50} ГРАФИЧЕСКИМ СПОСОБОМ (А). ДИНАМИКА ПОКАЗАТЕЛЯ TL_{50} ДЛЯ ДВУХ ВЕЩЕСТВ (В)

Значение TL_{50} для каждой из летальных концентраций определяется по аналогичному графику, только на ось абсцисс откладывают значения времени (рис. 3, А). Для дальнейшей интерпретации данных, полученных по всем летальным концентрациям, они наносятся на график, иллюстрирующий динамику смертности организмов (рис. 3, В).

Выбор концентраций для длительных экспериментов проводят следующим образом. Берут наименьшую безвредную концентрацию, определенную экспресс-методом, и уменьшают ее ступенчато с множителем 1/5 или 1/2 (т. е. каждая последующая концентрация в 5 или в 2 раза слабее предыдущей). При этом градиент концентраций удовлетворительно вскрывает закономерность и можно интерпретировать промежуточную концентрацию вполне точно.

В длительных экспериментах заключение о наличии или отсутствии хронического токсического действия делают на основании расчета достоверности разности между выживаемостью тест-организмов в контроле и тестируемом растворе. В случае, если выборка небольшая, можно использовать рекомендации Н. С. Строганова (1976), согласно которым находят ту концентрацию, при которой количество выживших животных составляет 75% от контроля. При этом концентрацию, при которой наблюдается гибель 25% особей, следует считать пороговой, предостерегающей концентрацией. Следует особо отметить, что при гибели в контроле более 20% организмов, опыт ставится заново.

Все наблюдаемые изменения необходимо подробно записывать. Для наглядной иллюстрации полученного материала используются гистограммы, графики, рисунки. По результатам длительного эксперимента также можно получить значения CL_{50}, CL_{100}, CL_0, LT_{50}, LT_{100} на конец опыта.

Выбор и подготовка животных к опыту. Для экспериментов следует отбирать животных примерно одинакового размера и на одной стадии развития. Организмы, взятые непосредственно из природных водоемов, необходимо предварительно выдержать в лабораторных условиях, близких к условиям эксперимента, в течение 24–48 часов. Для этого их можно поместить в контрольную, разбавляющую воду в сосуды, в которых будут проводиться опыты, или в большие емкости. Погибшие, травмированные и слабые особи выбрасываются. Температура, при которой проводятся эксперименты, должна быть стабильной, оптимальной для данного вида организма и незначительно отличаться от температуры водоема, откуда они были взяты.

Содержание подопытных животных в условиях, приближенных к естественным местообитаниям, необходимо прежде всего для их адаптации. Помимо этого, в аквариумах можно сделать много очень интересных наблюдений над

жизнью и поведением водных животных. Эти наблюдения помогут выявить специфические поведенческие и физиологические реакции организмов в токсичной среде.

Среди многочисленных и разнообразных обитателей дна в качестве тест-объектов могут быть использованы личинки водных насекомых (ручейники, поденки, стрекозы, хирономиды), ракообразные, моллюски, олигохеты. Эти организмы широко распространены в прибрежной зоне водоемов, их легко собрать в достаточном количестве и, наконец, они поддаются культивированию в лабораторных условиях.

Отбор живого материала для экспериментов не требует сложного оборудования. Простой самодельный сачок из любой редкой материи, банки и пинцет для сбора животных – все, что нужно для работы. В банку наливают воду из водоема, в котором производили отлов, и кладут несколько веточек элодеи или какое-нибудь другое водное растение. Следует помнить о том, что при длительной экскурсии, особенно в жаркую погоду, нельзя в одну банку сажать много животных, так как часть их погибнет от недостатка кислорода; нельзя в одну банку помещать хищников (личинок плавунцов, стрекоз) с мелкими беззащитными животными, которые обязательно будут съедены еще до окончания экскурсии.

Наиболее многочисленны и легкодоступны в прибрежной зоне **моллюски** (*Mollusca*). Они обитают в самых различных водоемах: в стоячих и текучих, в мелких и глубоких, в наземных и подземных, а некоторые и на суше. Все пресноводные моллюски имеют раковину, по внешнему виду которой они делятся на две большие группы (Жадин, 1952). **Брюхоногие** (или улитки) – раковина цельная и чаще всего спиралевидно закрученная и **двустворчатые** (ракушки) – раковина состоит из двух симметричных створок (рис. 4–6). У брюхоногих отверстие раковины бывает или свободно (у дышащих атмосферным воздухом), или прикрыто крышечкой (у дышащих растворенным в воде кислородом). На это обстоятельство следует обратить внимание, отбирая одинаковых животных для наблюдений.

Большинство видов брюхоногих моллюсков обитает среди водной растительности. Пищей им служат водоросли обрастаний, ткани высших растений, иногда погибшие животные. У двустворчатых моллюсков тип питания фильтрационный. Через тело двустворчатой ракушки в процессе питания и дыхания проходит весьма значительное количество воды. Их пищей являются взвешенные вещества, как живые (бактерии, фитопланктон), так и в виде детрита. Использование этих моллюсков для экспериментальных работ вызывает дополнительные трудности, связанные с кормлением и учетом пищевой взвеси.

Обычными и широко распространенными представителями фауны брюхоногих моллюсков в озерах, реках и всевозможных небольших водоемах являются различные виды **прудовиков, катушек** и **затворок** (рис. 4, 5). При наличии пищи эти моллюски хорошо живут и размножаются в аквариумах. В экспериментах поэтому можно использовать не только взрослых особей, но и яйцевые кладки на разных стадиях развития.

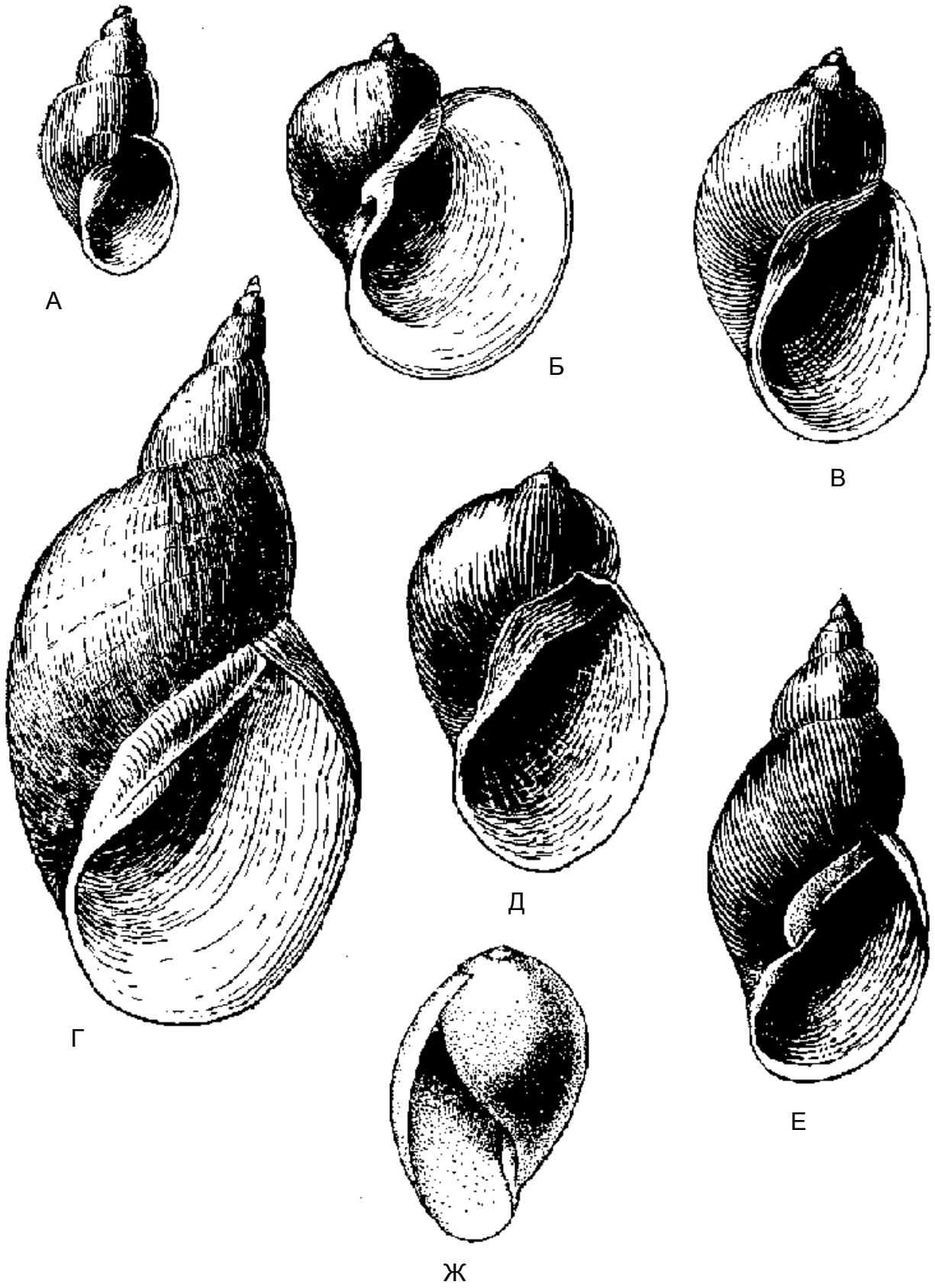
Наиболее обычными тест-объектами в токсикологических исследованиях являются различные виды прудовиков (*Lymnaea stagnalis, L. ovata* и др.*).* Количество опытного раствора, необходимого для пяти экземпляров прудовиков, составляет примерно 300 мл. В остром опыте животных не кормят. В длительном эксперименте их следует кормить листьями капусты или одуванчика. Листья нарезают в виде четырехугольных пластинок одинаковых размеров. Измеряют площадь, взвешивают и помещают в опытные сосуды. Прудовики съедают листья полностью или частично. Зная площадь и вес листовой пластинки и площадь съеденного листа или оставшуюся его часть, можно рассчитать количество потребленного за сутки корма. Эти данные о питании прудовиков при разных концентрациях токсиканта и в контроле (EL) дополняют данные о выживаемости. Можно также взвешивать самих прудовиков до и после опыта. В процессе эксперимента следует обратить внимание на состояние раковины. Длительность опыта – до 20 суток и более. Смена растворов – через 1–2 суток. Поскольку прудовики могут вылезать из банок, их следует накрывать так, чтобы между водой и крышкой оставалось пространство для дыхания животных.

По этой же схеме можно проводить опыты на роговой катушке (*Planorbis corneus*), болотной живородке (*Viviparus contectus*), пузырчатой физе (*Physa fontinalis*).

Насекомые и особенно их личинки составляют значительную часть населения дна различных водоемов, от небольших луж до самых больших озер. Среди этого многообразия личинки **ручейников** (*Trichoptera*) всегда привлекают к себе внимание наблюдателя.

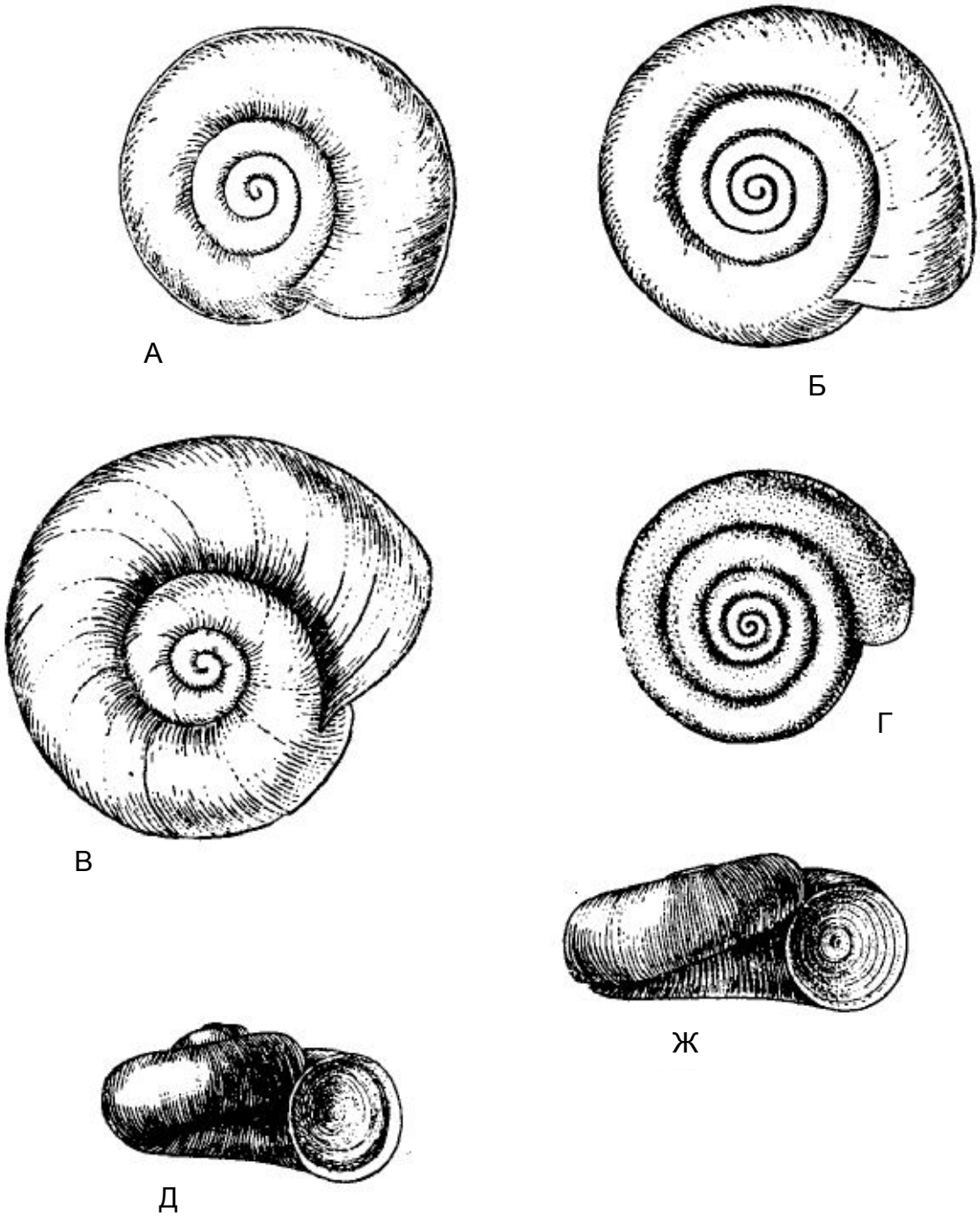
Взрослые ручейники (имаго) – невзрачные, покрытые густыми волосками, похожие на молей насекомые (рис. 7). Они ведут ночной образ жизни, и мы часто принимаем их за мотыльков, когда они бьются в окна, привлеченные светом. Днем они держатся среди прибрежных трав и кустарников вблизи водоемов, в которых проходило их развитие. Живут несколько дней, ничего не едят, лишь слизывают капли дождя или росы. Самки ручейников откладывают яйца в воду, на растения, камни и коряги. После откладки яиц они вскоре погибают.

Из яиц выходят личинки, похожие на гусениц бабочек (рис. 8). Большинство видов строят себе трубчатые чехлики – домики из песчинок, палочек, листиков, мелких раковин моллюсков, растительных остатков, скрепляя их секретом прядильных (паутинных) желез. Личинки быстро растут, но старый домик не бросают, а надстраивают его. Домики тех личинок, которые живут на дне, построены из тяжелого материала – песка или камешков, раковин моллюсков, пропитанных водой кусочков дерева и т. п.



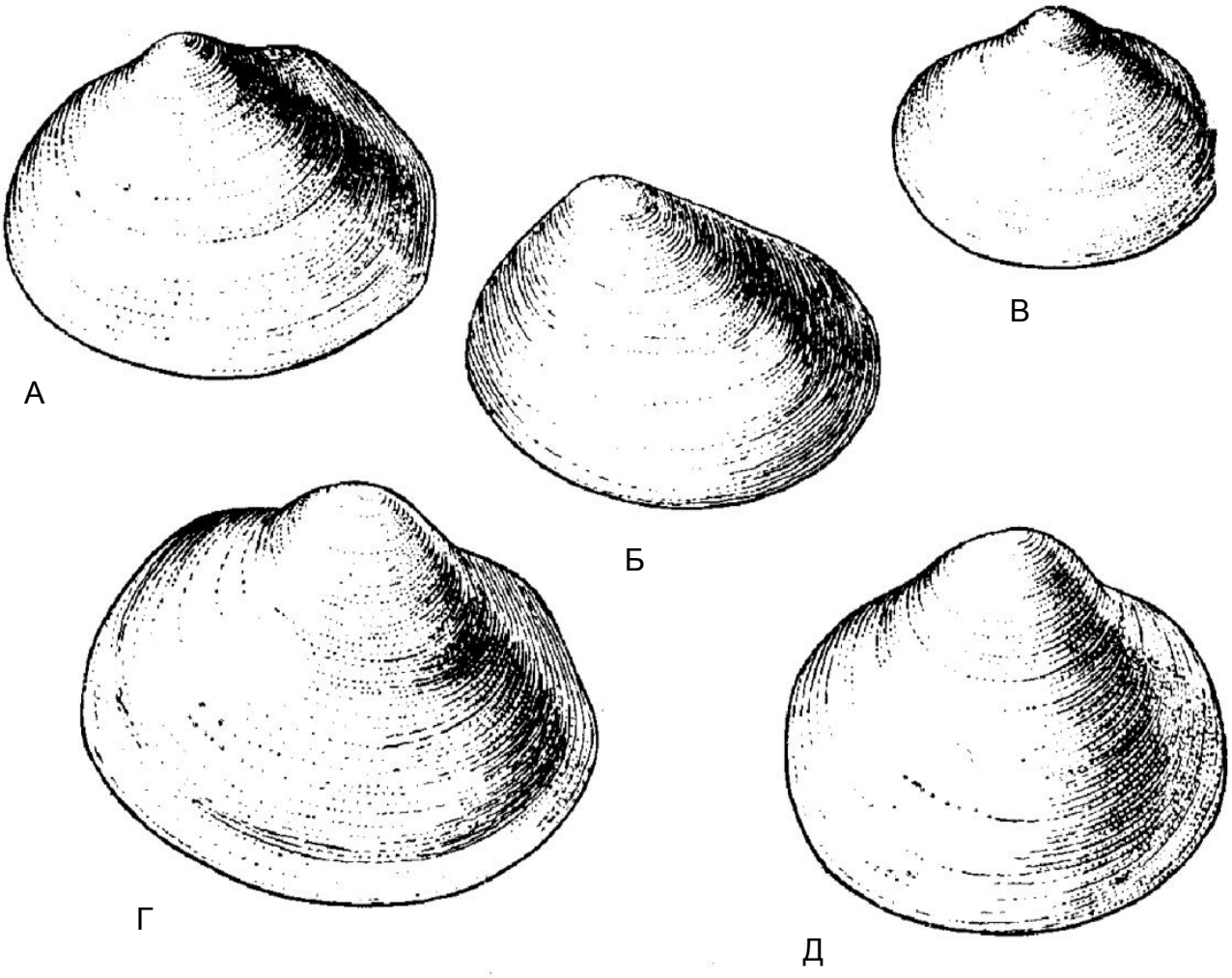
Р и с. 4. БРЮХОНОГИЕ МОЛЛЮСКИ (*GASTROPODA*)

Прудовики: *А* – малый прудовик (*Limnaea truncatula*), *Б* – ушковый прудовик (*L. auricularia*), *В* – вытянутый прудовик (*L. peregra*), *Г* – обыкновенный прудовик (*L. stagnalis*), *Д* – овальный прудовик (*L. ovata*), *Е* – болотный прудовик (*L. palustris*); *Ж* – физа пузырчатая (*Physa fontinalis*)



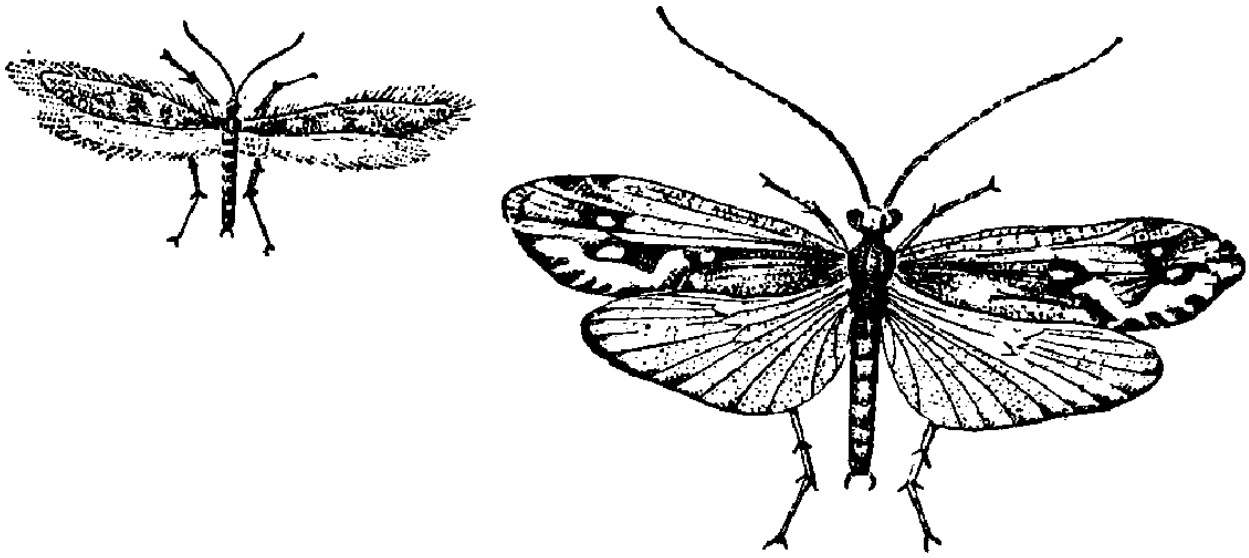
Р и с. 5. БРЮХОНОГИЕ МОЛЛЮСКИ (КАТУШКИ И ЗАТВОРКИ):

А – килеватая катушка (*Planorbis carinatus*), *Б* – окаймленная катушка (*P. planorbis*), *В* – роговая катушка (*P. corneus*), *Г* – катушка завиток (*Anisus vortex*), *Д* – красивая затворка (*Valvata pulchella*), *Ж* – сибирская затворка (*V. sibirica*)

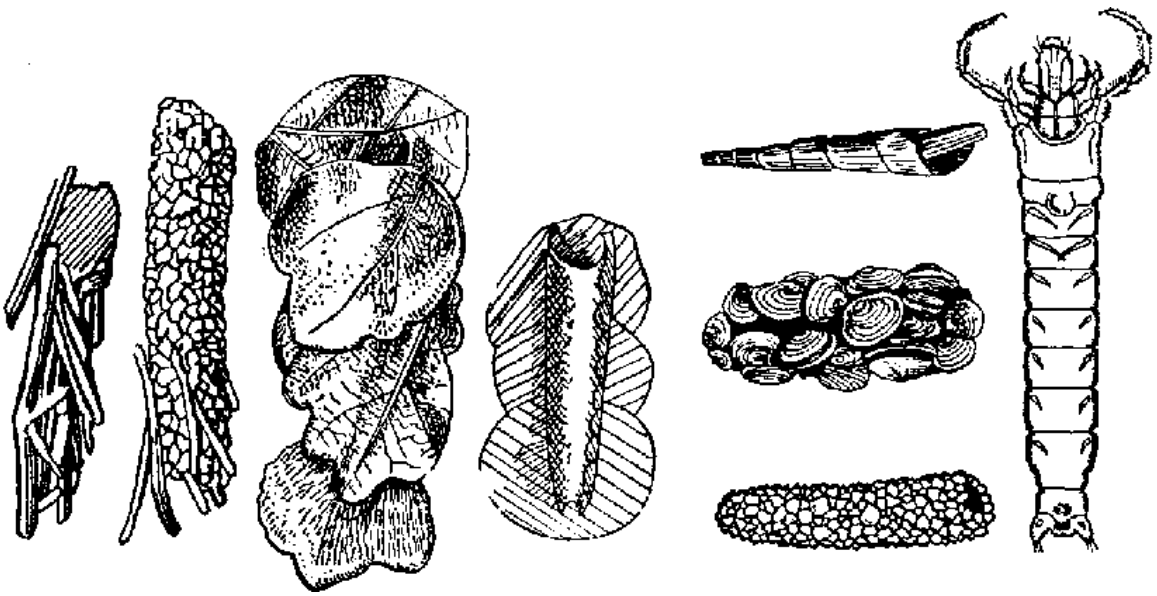


Р и с. 6. ДВУСТВОРЧАТЫЕ МОЛЛЮСКИ (*BIVALVIA*). ШАРОВКИ И ГОРОШИНКИ:

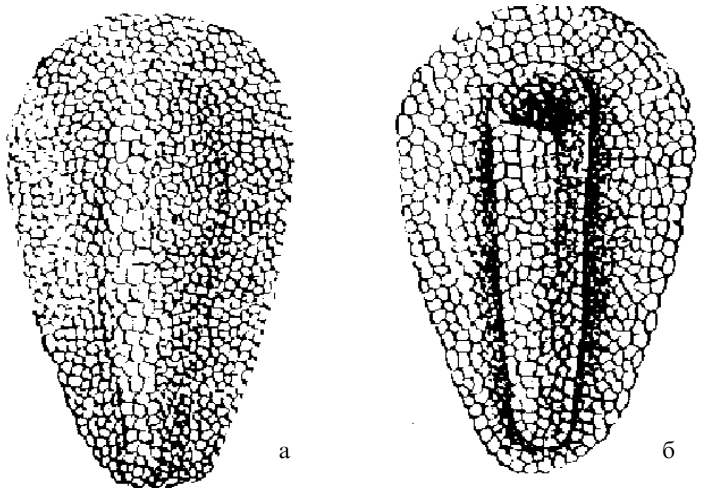
А – полуоткрытая шаровка (*Amesoda scaldiana*), *Б* – холодноводная горошинка (*Neopisidium coventus*), *В* – массивная шаровка (*Amesoda solida*), *Г* – речная шаровка (*Sphaeriastrum rivicola*), *Д* – роговая шаровка (*Sphaerium corneum*)



Р и с. 7. ИМАГО РУЧЕЙНИКОВ



Р и с. 8. ЛИЧИНКА И ТИПЫ ДОМИКОВ РУЧЕЙНИКОВ



а б

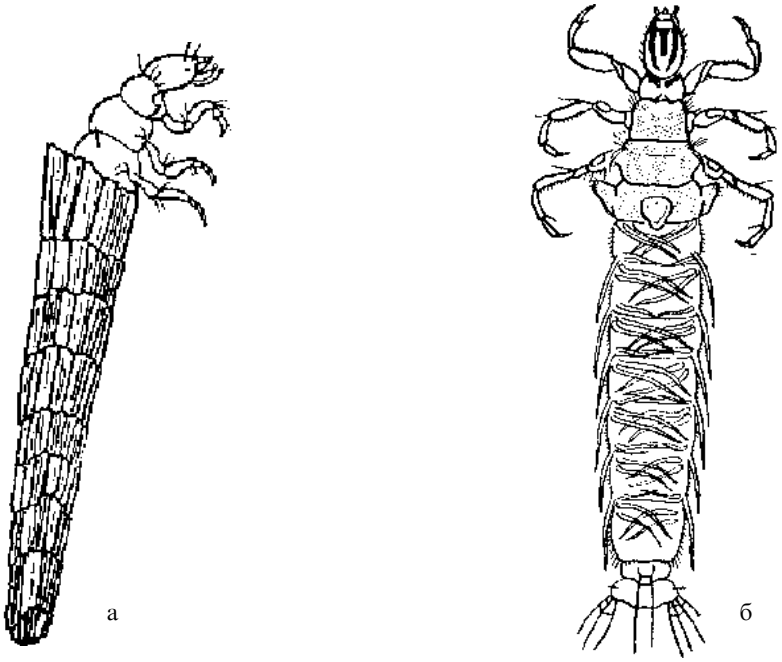
Р и с. 9. ДОМИК ЩИТКОНОСЦА (*MOLANNA*) СВЕРХУ (а) И СНИЗУ (б)

У личинок, живущих среди растений около поверхности воды и способных к непродолжительному плаванию, домики легче или лишь немного тяжелее воды, материалом для них служат листья и стебли растений. Значение домика защитное. Он предохраняет личинку от механических повреждений и нападений небольших по размеру врагов; но рыбы, для которых личинки ручейников – лакомое блюдо, глотают их вместе с чехликами.

Дышат личинки с помощью трахейных жабр или через поверхность кожи. Потребность в кислороде у ручейников очень велика. Личинки, живущие в домиках, создают искусственное течение внутри домика путем волнообразных колебательных движений брюшка, таким образом обеспечивая поступление достаточного количества кислорода. Частота этих дыхательных движений может служить для наблюдателя показателем условий обитания животных (EL). Большинство личинок питаются растительной пищей, но есть и хищники. Личиночная фаза длится не менее года, иногда дольше. Куколки ручейников до момента вылета также живут в домиках в воде и способны двигаться. Перед превращением в имаго они покидают чехлик, всплывают на поверхность и выползают на растения или камни.

Высокая оксифильность ручейников выражается в приуроченности их к участкам водоемов с обильным содержанием кислорода в воде. Они обитают главным образом в прибрежной области на небольшой глубине. Встречаются преимущественно среди водной растительности на различных грунтах: песчаных, илистых, каменистых, а также среди детрита.

В наших водоемах обитают ручейники немногим меньше 200 видов (Яковлев, Лобкова, 1989). В зарослях растений держатся личинки **фриганей** (*Phryganea*), делающие свои домики из спирально расположенных кусочков растений (рис. 10). На дне обитают личинки **лимнофилов**, домики которых построены из растительных остатков, мелких раковинок моллюсков и детрита.



Р и с . 10. ЛИЧИНКА ФРИГАНЕИ (*PHRYGANEA*) В ЧЕХЛИКЕ (а) И БЕЗ ЧЕХЛИКА (б)

На песчаных грунтах обычны личинки **щитконосца** (*Molanna*). Домики у них очень характерной формы, построены из песчинок с большими боковыми выростами, уплощенными в виде щита (рис. 9). Эти личинки – хищники.

Собрать личинок в достаточном количестве для опытов, как правило, нетрудно. В прозрачной воде ручьев, луж, в прибрежье озерной литорали они бывают хорошо заметны и даже бросаются в глаза. Вооружившись сачком и пинцетом, можно довольно быстро обеспечить себя живым материалом для постановки экспериментов в нескольких повторностях.

Личинки ручейников, обитающие в стоячих водоемах, прекрасно живут и совершают свой метаморфоз в небольших стеклянных аквариумах при наличии достаточного количества пищи и кислорода в воде. Очень интересно наблюдать за «строительной» деятельностью ручейников. Личинки могут чинить свои домики. Например, фриганея, если отрезать часть ее домика, напряженно трудится, восстанавливая в одну ночь довольно длинный отрезок трубки. Щитконосец надстраивает искусственно удаленную переднюю часть домика, восстанавливает «крылья», чинит отверстия в средней части домика.

Если личинку осторожно, с помощью соломки, заставить покинуть свой домик, то можно наблюдать, как она начинает строить его заново, используя строительный материал, который ей предложен, – разноцветные кусочки пластмассы, камешки, кусочки бумаги, спички и т. п. Подвижные личинки фриганей, живущие в просторных трубках с открытым задним краем, быстро возвращаются «домой» через задний конец трубки и, юркнув в домик, принимают в нем привычное положение. Они бойко проделывают это много раз подряд, и только удалив домик, можно попытаться заставить их заняться постройкой нового жилища. У всех личинок стиль и метод постройки будут всегда неизменными, характерными для данного вида (Лепнева, 1964).

Для токсикологических экспериментов и наблюдений за ручейниками их помещают по пять экземпляров в сосуды с плоским широким дном в объем воды 200–300 мл. В краткосрочных опытах они содержатся без кормления. В длительных их кормят сухими листьями. Предварительно листья можно взвесить. По окончании опыта – высушить и взвесить снова. При длительном содержании в токсической среде у личинок изменяются поведенческие реакции: у них нарушается «строительная» деятельность, животные могут покидать свой домик, поедать друг друга, как при голодании (явление каннибализма). Иногда появляются патологические изменения в анальных отростках (EL), наблюдаемые под небольшим увеличением.

Еще одной группой животных, которую можно с успехом содержать в лабораторных условиях и использовать в экспериментальных работах, являются личинки **поденок**.

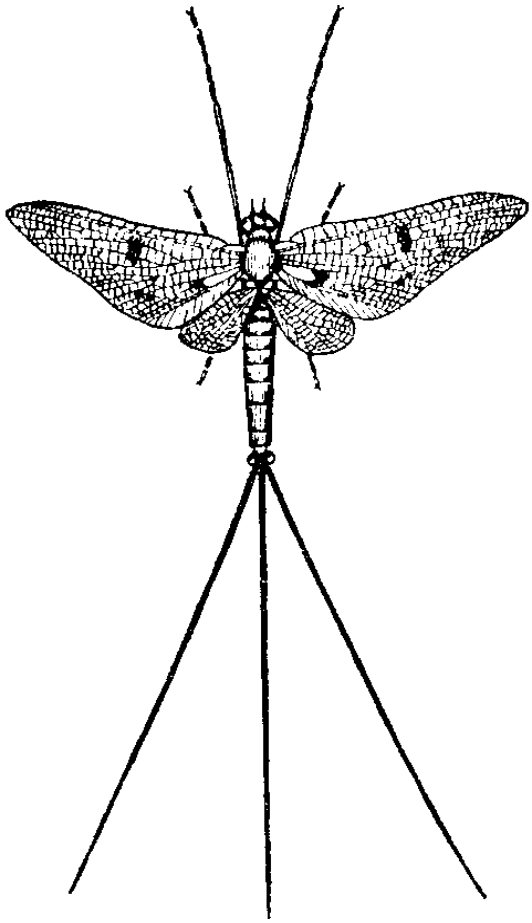
Взрослые поденки – нежные мелкие или средней величины насекомые с прозрачными сетчатыми крыльями (рис. 11). Брюшко оканчивается обычно 2–3 хвостовыми нитями. Во взрослом состоянии поденки не питаются, их ротовые органы редуцированы, кишечник заполнен воздухом и выполняет аэростатическую функцию. Длительность жизни крылатых особей измеряется часами или днями. Полет происходит тут же у воды. Насекомое быстро взлетает вверх, затем спокойно падает, но, не коснувшись воды, снова поднимается вверх. Это так называемые танцы поденок. В периоды массового вылета имаго над водой образуются рои нежнейших белых насекомых. Массовый

лет некоторых видов в отдельные годы достигает грандиозных размеров, особенно по берегам больших рек, где неоднократно наблюдались огромные рои поденок на протяжении нескольких километров (Чернова, 1940).

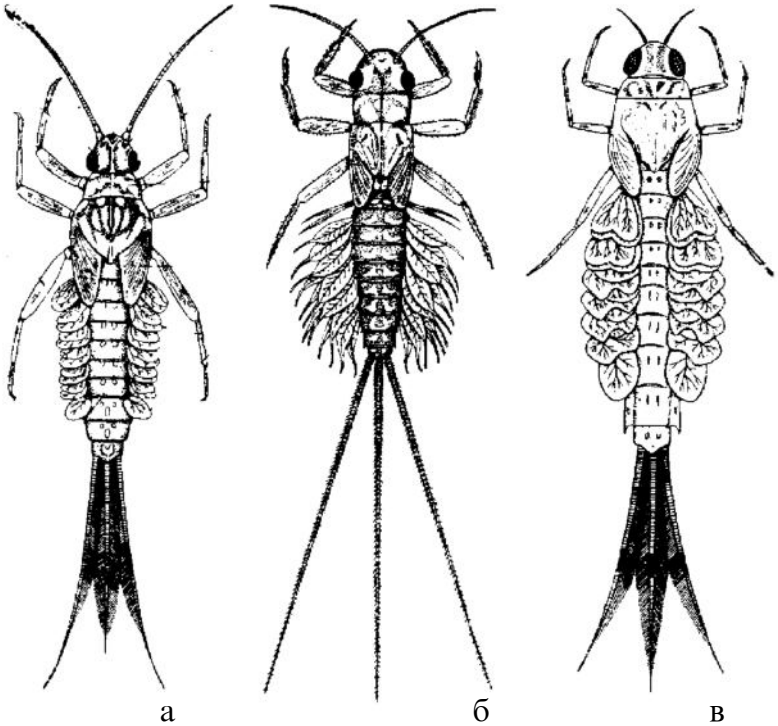
Самки большинства видов откладывают яйца в воду, не выбирая субстрата. Из отложенных поденками яиц через несколько месяцев выводятся личинки, которые живут и развиваются в воде. Личинка более или менее похожа на взрослое насекомое, имеет зачатки крыльев и превращается в имаго постепенно, путем целого ряда линек (иногда их бывает до 25), минуя стадию куколки. Таких личинок, имеющих крылья в зачаточном состоянии, называют **нимфами**. У большинства видов личиночная стадия продолжается один год, но некоторые виды живут в воде до трех лет.

Личинки поденок легко отличаются от других водных насекомых. У них на конце тела обычно 3, реже 2 хвостовые нити, а на первых 7 члениках брюшка имеются трахейные жабры: листовидные, перистые, с бахромой по краям.

Нимфы поденок обитают в различного рода водоемах, как в стоячих и медленно текучих, так и в быстро текучих реках и горных потоках. Они живут в илу и на открытом твердом грунте, под камнями и в зарослях водной растительности. По образу жизни, а в связи с этим и по строению личинки поденок делятся на четыре экологические группы. К **первой** группе относятся личинки, живущие в зарослях водной растительности и способные к быстрому плаванию (рис. 12), нимфы **второй** группы приспособлены к жизни



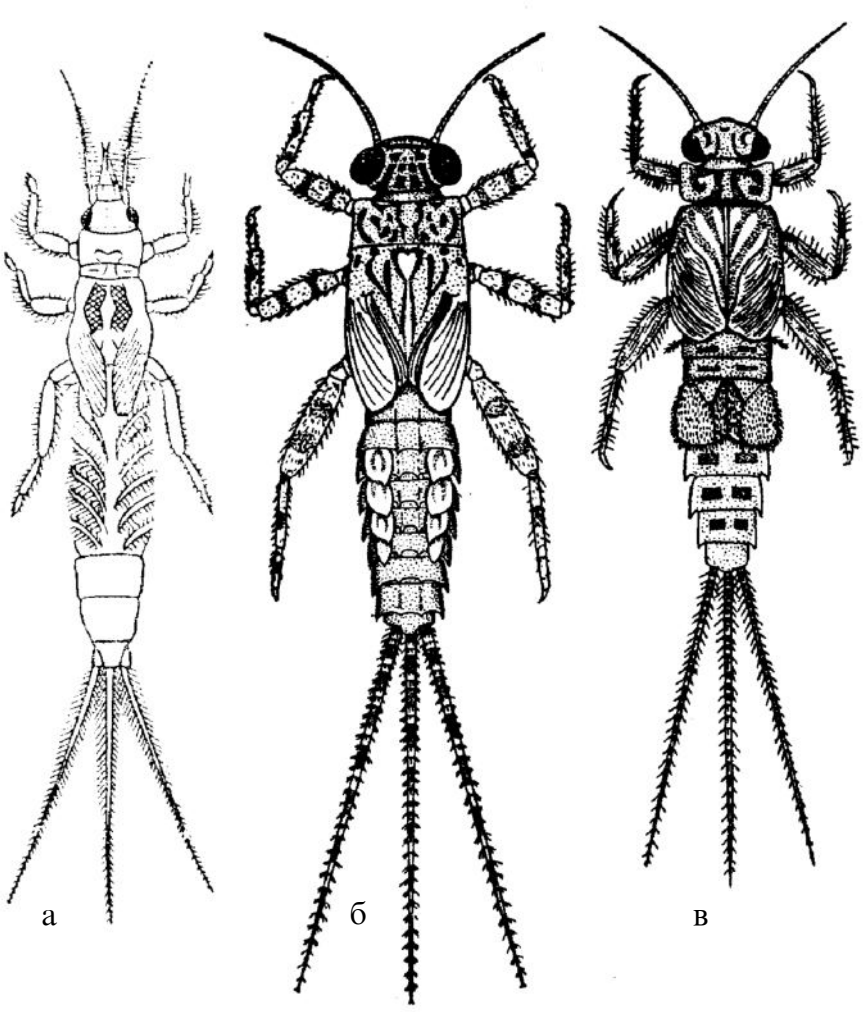
Р и с . 11. ИМАГО ПОДЕНКИ



а б в

Р и с. 12. ПЛАВАЮЩИЕ ЛИЧИНКИ ПОДЕНОК:

а – *Cloëon dipterum*, б – *Leptophlebia vespertina*, в – *Siphlonurus linnaeanus*



Р и с. 13. ПОЛЗАЮЩИЕ (б, в) И РОЮЩАЯ (а) ЛИЧИНКИ ПОДЕНОК:
а – *Ephemera*, б – *Ephemerella*, в – *Caenis*

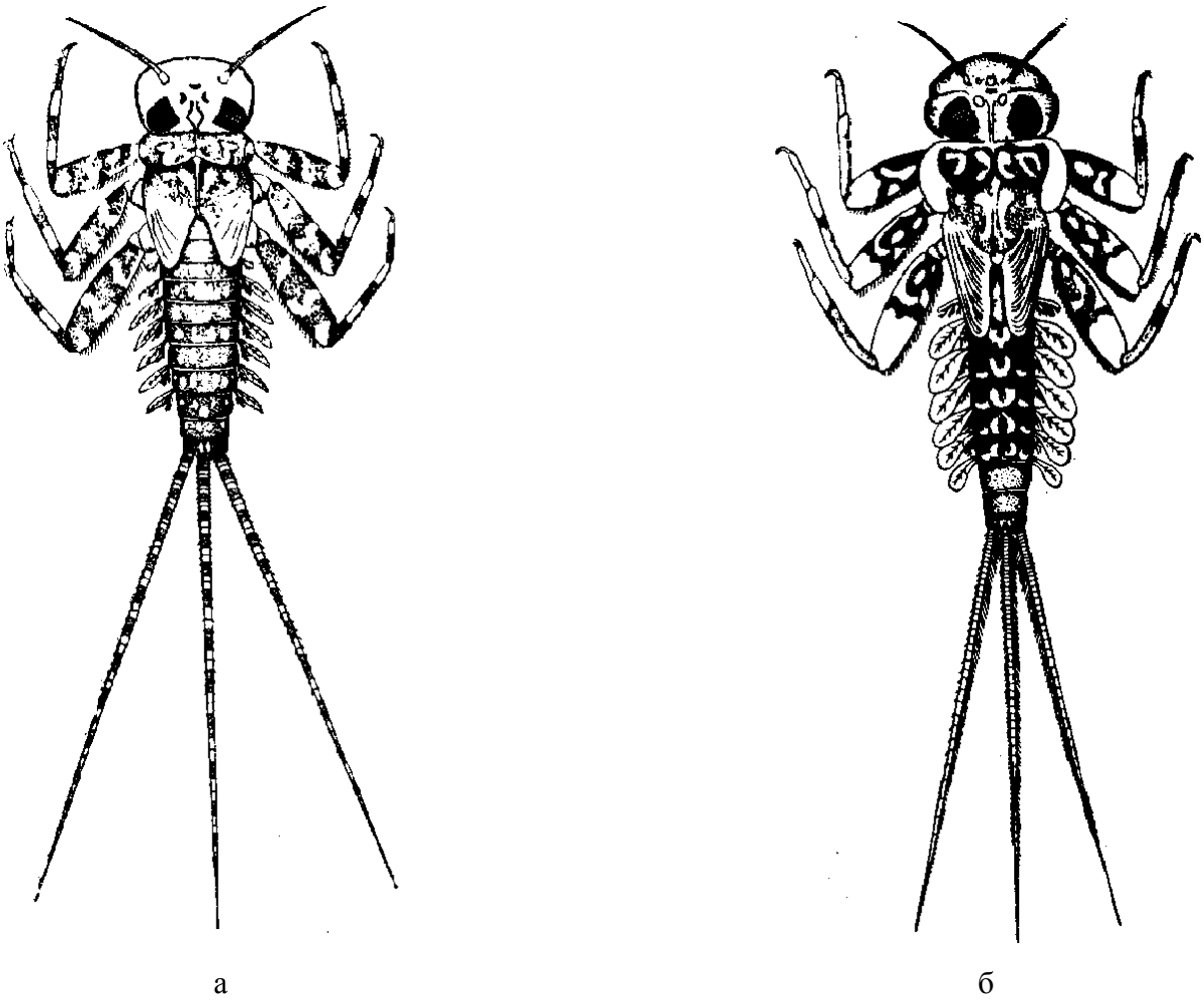
на илистом грунте, по которому они ползают (рис. 13); **третья** группа – «роющие» нимфы. Даже по внешнему виду эти личинки отличаются от изящных представителей других групп. У них сильные ноги и очень большие выступающие верхние челюсти. Они роют ходы в иле и глине в зарослях озер и медленно текущих рек (рис. 13, а). Личинки **четвертой** группы приспособились к жизни на быстром течении в ручьях и реках. У них очень плоское тело, глаза расположены не по бокам головы, а сверху, уплощенные ноги с цепкими коготками и листовидные жабры. Обычно личинки держатся на нижней поверхности камней, где сила течения слабее (рис. 14).

Нимфы поденок питаются детритом, разлагающимися растениями, мелкими водорослями, инфузориями и даже мелкими личинками водных насекомых (Чернова, 1940).

Большинство видов поденок живут в чистой воде и лишь немногие могут развиваться в слабозагрязненных водоемах.

Фауна поденок Карелии включает 44 вида (Яковлев, Лобкова, 1989), среди личинок которых встречаются представители всех экологических группировок. Самые распространенные виды – **поденка обыкновенная** (*Ephemera vulgata*) с «роющей» личинкой (рис. 13, а), **поденка двукрылая** (*Cloëon dipterum*), изящные нимфы которой обитают среди зарослей водной растительности и относятся к первой экологической группе (рис. 12, а). Типичными представителями ползающих личинок являются *Ephemerella* и *Caenis* (рис. 13, б, в). У этих нимф трахейные жабры прикрыты защитными крышечками, которые предохраняют их от загрязнения частичками ила. Среди «плоских» личинок в наших водоемах наиболее обычны *Heptagenia* (рис. 14).

Как уже указывалось, содержание нимф поденок в лабораторных условиях при соблюдении некоторых условий не представляет особых трудностей. Аквариумы должны быть устроены с учетом экологических форм культивируемых животных – для плавающих личинок обязательны растения; роющие и ползающие нимфы быстрее адаптируются, если в аквариуме будет слой ила. «Плоские» личинки будут чувствовать себя более комфортно в невысоких сосудах с камешками на дне. Обязательным условием



а б

Р и с. 14. «ПЛОСКИЕ» ЛИЧИНКИ ПОДЕНОК:

а – *Heptagenia*, б – *Ecdyonurus*

для всех является высокое содержание кислорода в воде. Схема токсикологических экспериментов аналогична той, что приведена для ручейников.

Идентифицировать принадлежность организмов к определенной группе можно с помощью простейших определителей и рисунков (Хейсин, 1962; Полякова, 1999).

В заключение отметим, что работа с живым материалом увлекательна и интересна. Она предоставляет неограниченные возможности наблюдений за организмами как в условиях эксперимента, так и в их естественных местообитаниях. В частности, литоральная зона водоемов, где обычно собираются животные, может служить полигоном для проведения гидробиологических работ, начиная от первоначального знакомства с прибрежной флорой и фауной до сезонных и многолетних наблюдений, имеющих большую ценность, на выбранных участках.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

Жадин В. И. Моллюски пресных вод СССР. М.; Л., 1952. 376 с.

Калинкина Н. М. Два метода биотестирования природных и сточных вод // Экологические исследования природных вод Карелии. Петрозаводск, 1999. С. 83–87.

Лепнева С. Г. Ручейники // Фауна СССР. Т. II, вып. 1. М.; Л., 1964. 561 с.

Полякова Т. Н. Оценка качества воды малых водоемов и водотоков по организмам макрозообентоса // Экологические исследования природных вод Карелии. Петрозаводск, 1999. С. 61–76.

Строганов Н. С. Методика определения токсичности водной среды // Методики биологических исследований по водной токсикологии. М., 1976. С. 14–60.

Чернова О. А. Поденки (*Ephemeroptera*) // Жизнь пресных вод СССР. Т. I. М.; Л., 1940. С. 127–143.

Хейсин Е. М. Краткий определитель пресноводной фауны. М., 1962. 148 с.

Яковлев Е. Б., Лобкова М. П. Насекомые. Петрозаводск, 1989. 231 с.

Water quality – Determination of the inhibition of the mobility of *Daphnia magna* Straus (Cladocera, Crustacea). INTERNATIONAL STANDARD. ISO 6341: 1989 (E).

СЛОВАРЬ используемых терминов

БИОТЕСТИРОВАНИЕ – оценка качества сред по ответным реакциям живого объекта, помещенного в исследуемые условия.

БИОТОП – относительно однородное по абиотическим факторам среды пространство, занятое биоценозом, местообитание вида.

БИОЦЕНОЗ – сообщество взаимосвязанных организмов, населяющих один биотоп.

ИММОБИЛИЗОВАННЫЕ ОСОБИ – животные, не способные передвигаться, у которых, однако, наблюдаются признаки жизни (сердцебиение, движение ножек, жаберных пластинок).

ОКСИФИЛЬНЫЕ ОРГАНИЗМЫ – организмы, обитающие в среде только с высоким содержанием кислорода.

РЕЗИСТЕНТНОСТЬ – устойчивость организма к воздействию различных факторов среды, в том числе химических соединений.

ТОЛЕРАНТНОСТЬ (устойчивость, переносимость) – способность организма переносить воздействие фактора среды, в том числе и токсического, без развития соответствующего вредоносного эффекта.

ТЕМЫ ДЛЯ ФАКУЛЬТАТИВНЫХ ЗАНЯТИЙ

1. Установить состав фауны в различных типах зарослей, сравнить его, выявить общие группы, отметить отличия.

2. Обследовать животное население однородной заросли, например, тростника, плавающих листьев кубышки, рдестов.

3. Обследовать фауну различных подводных деревянных предметов, обрастаний.

4. Познакомиться с фауной прибрежной зоны, лишенной растительности, – население камней, песка.

5. Изучать кладки яиц различных животных и этапы их развития (в аквариумах).

6. Сравнить состав донной фауны участков, подверженных антропогенному влиянию и не испытывающих его, и с помощью простейших индексов, доступных для учащихся, провести биологический анализ качества воды (Полякова, 1999).

Выращивание лабораторных культур ветвистоусых рачков *Daphnia magna* Straus и *Simocephalus serrulatus* Koch

Н. М. Калинкина, И. В. Пименова

«Приходилось ли вам когда-нибудь наблюдать живые существа, имеющие абсолютно прозрачные покровы, сквозь которые можно видеть, как сокращается сердце и по кишечнику продвигается пища?» – с такого вопроса мы часто начинаем беседу со школьниками, которые приходят на экскурсию к нам, в лабораторию гидробиологии Института водных проблем Севера (ИВПС) Карельского научного центра РАН. Речь идет, конечно же, об обитающих в водоемах мелких планктонных рачках, из которых наиболее широкую известность имеют дафнии.

Одно из распространенных названий дафний – «водяные блохи» – дано им за характерное

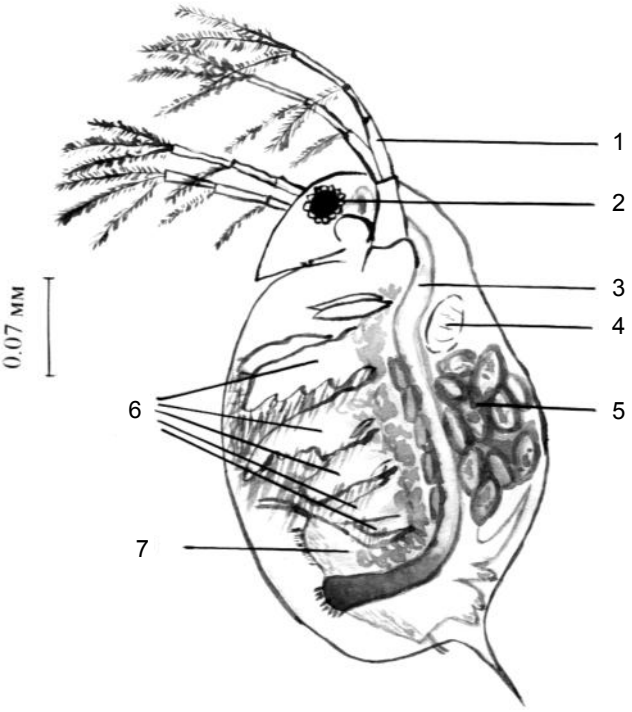
«прыгающее» передвижение в воде: дафнии взмахивают антеннами и при каждом взмахе совершают скачок вверх, постепенно опускаясь потом под действием силы тяжести вниз, затем новый взмах антенны – скачок и снова вниз. Всю свою недолгую жизнь (не более 90 дней) дафнии снуют в толще воды, совершая при этом весьма важную для водоема работу. Питаясь, они непрерывно фильтруют воду, пропуская через свои фильтры огромные количества воды. За сутки планктонные рачки фильтруют около 300–500 мл воды на 1 мг массы тела. Планктонные ракообразные, доминирующие в зоопланктоне, способны в течение одних суток отфильтровать от 5 до 90% (в среднем около 50%) объема воды озер (Гутельмахер, Алимов, 1979). При этом один рачок *Daphnia magna*, например, способен за сутки отфильтровать до 300 тыс. клеток *Chlorella*, около 10 млн. клеток бактерий. Осуществляя такую работу, тысячи рачков способствуют очищению водоема от избытка водорослей и бактерий (Мануйлова, 1964).

Дафнии имеют прозрачные панцири. В бинокулярную лупу при относительно небольшом увеличении можно рассмотреть их глаз, кишечник, по которому продвигаются ярко-зеленые водоросли (их пища), и, что самое удивительное, – маленькое сердце. Можно даже подсчитать количество сокращений сердца в минуту (рис. 1).

Дафнии, без сомнения, представляют собой уникальный объект для познания природы, который можно использовать и в работе со школьниками из младших классов. Однако доступная литература, в которой подробно излагались бы простейшие приемы выращивания дафний, к сожалению, отсутствует. В книгах Б. З. Кауфмана (1991, 1997) содержится описание методов культивирования ветвистоусых рачков, но не приведены, например, рекомендации по выращиванию для них корма. В данной статье излагаются результаты многолетнего опыта культивирования ветвистоусых рачков в лабораторных условиях и изучения показателей их жизнедеятельности.

Дафнии относятся к отряду ветвистоусых ракообразных (*Cladocera*), представители которого входят в состав планктона, литоральной фауны, мезобентоса, нейстона и принадлежат к массовым видам, населяющим континентальные водоемы. Ветвистоусые рачки – важный кормовой объект рыб, они искусственно культивируются в качестве кормов для рыбного хозяйства. Сообщества ветвистоусых ракообразных используют для индикации качества воды (Смирнов, 1975). Ветвистоусый рачок *D. magna* является международным тест-объектом, применяемым для оценки токсичности различных веществ (Cowgill, 1987). Важная роль ветвистоусых ракообразных в жизни водоемов определяет постоянный интерес гидробиологов к этой группе организмов.

В лаборатории гидробиологии ИВПС выращиваются культуры двух видов ветвистоусых рачков – *D. magna* и *Simocephalus serrulatus*. Эти



Р и с. 1. ВНЕШНЕЕ СТРОЕНИЕ ДАФНИИ *D. MAGNA*:

1 – антенна; *2* – сложный глаз; *3* – кишка; *4* – сердце; *5* – развивающиеся эмбрионы в выводковой камере; *6* – грудные ножки; *7* – постабдомен

рачки используются для исследования токсического действия загрязняющих веществ на гидробионтов, биотестирования сточных вод различных производств Карелии, а также природных вод и атмосферных осадков (Помазовская и др., 1990; Дубровина, 1998; Калинкина и др., 1998).

Виды *D. magna* и *S. serrulatus* принадлежат к семейству *Daphniidae*. Вид *D. magna* (средняя длина тела взрослого рачка около 2,5–3,5 мм) очень редко встречается в больших водоемах на севере. Наиболее часто его можно встретить в малых водоемах, прудах, специально удобренных внесением органических веществ. В естественных условиях этот вид доминирует в водоемах южных регионов (Средневолжский регион, Южный Урал, Казахстан, Украина). Вид *D. magna* предпочитает мало- и среднесоленые воды (не более 2–3 промилле), с высоким содержанием азота и фосфора. Именно в этих водоемах наблюдается обильное развитие водорослей, необходимого для рачков корма.

Вид *S. serrulatus* (средняя длина тела взрослого рачка около 2,0–2,3 мм) является обитателем прибрежной зоны и зарослей высшей водной растительности водоемов. Этот вид имеет всесветное распространение. Вид является ацидофильным, т. е. встречается в водоемах с низкими значениями pH (Мануйлова, 1964; Пидгайко, 1984; Андроникова, 1996). Рачки *S. serrulatus* были отловлены нами в 1994 г. в небольшом водоеме около дер. Карку близ Ладожского озера (Питкярантский район). В течение восьми лет этот вид успешно культивируется в лаборатории гидробиологии.

ВЫРАЩИВАНИЕ КОРМА ДЛЯ ВЕТВИСТОУСЫХ РАЧКОВ

Для получения жизнеспособных культур рачков прежде всего необходимо иметь для них достаточные запасы корма. По результатам многолетних наблюдений, наилучшим кормом для культивируемых видов *D. magna* и *S. serrulatus* являются зеленые водоросли. Водную суспензию пекарских дрожжей также можно использовать для кормления этих рачков, однако лишь в качестве небольших разовых подкормок.

Обычно для кормления рачков используют культуры зеленых водорослей *Chlorella* или *Scenedesmus*. Для выращивания культур зеленых водорослей необходимо приготовить питательную среду, содержащую различные минеральные компоненты: калий, магний, нитраты, сульфаты, фосфаты, целый комплекс микроэлементов (бор, марганец, цинк, молибден, ванадий и другие). Разнообразные рецепты питательных сред можно найти в методической литературе (Методики.., 1971).

Для выращивания культур зеленых водорослей *Scenedesmus* нами используется следующий рецепт (предоставлен И. В. Волковым): в 1 л дистиллированной воды растворяем 2 г KNO_3, 0,3 г KH_2PO_4 и 0,3 г $MgSO_4$, затем вносим 1 мл раствора, содержащего смесь микроэлементов. Состав раствора с микроэлементами: H_3BO_3 (2,86 г/л); $MnCl_2 \cdot 4H_2O$ (1,81 г/л); $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ (0,22 г/л); MoO_3 (17,64 мг/л); NH_4VO_3 (22,96 мг/л). После полного растворения солей в раствор вносим около 50 мл темно-зеленой культуры водорослей. Полученную суспензию водорослей необходимо выдержать в течение месяца при повышенной температуре (не менее 27 °С) и ярком освещении. Такие условия можно получить, если банку с суспензией водорослей поставить под обычную настольную лампу так, чтобы сама лампочка находилась в 2–3 см от верхнего края банки. Лампа должна быть включена не менее 7–8 часов в день. Культуру водорослей надо каждый день перемешивать стеклянной палочкой, поскольку водоросли оседают на дно, что тормозит рост культуры. Один раз в 10 дней суспензию культуры необходимо процеживать через газ или марлю, сложенную в несколько раз. Через месяц цвет культуры становится темно-зеленым. Яркий зеленый цвет культуры служит показателем ее хорошего качества. Обычно 1 л темно-зеленой суспензии водорослей хватает на несколько месяцев для содержания около 100 дафний в трехлитровом аквариуме. Если планируются эксперименты с выращиванием большего количества рачков, необходимо запастись большим количеством культуры водорослей.

Со временем (примерно через 2–3 месяца после начала выращивания) культура водорослей стареет и приобретает желтый или желто-зеленый цвет, при этом водоросли в виде взвеси быстро оседают на дно. Эти признаки свидетельствуют о непригодности культуры водорослевых клеток в качестве корма для рачков. Кормление дафний старой культурой может привести к вымиранию рачков. Для того чтобы избежать старения культуры водорослей, необходимо через 1–2 месяца ее обновлять.

ВЫРАЩИВАНИЕ КУЛЬТУРЫ РАЧКОВ *DAPHNIA MAGNA*

Групповое содержание дафний

Для группового содержания дафний используют аквариум (объемом 7–10 л), для этих целей может пригодиться также обычная трехлитровая банка. Аквариум заполняют водой, которую отстаивают не менее 1,0–1,5 недели. После этого в аквариум помещают дафний. Начальная плотность посадки рачков в аквариуме составляет 3 рачка на 100 мл. Таким образом, в трехлитровой банке можно содержать не более 90 рачков. В естественных условиях дафнии обычно развиваются в хорошо прогреваемых водоемах. Оптимальная температура для выращивания дафний в аквариуме составляет 24 °С.

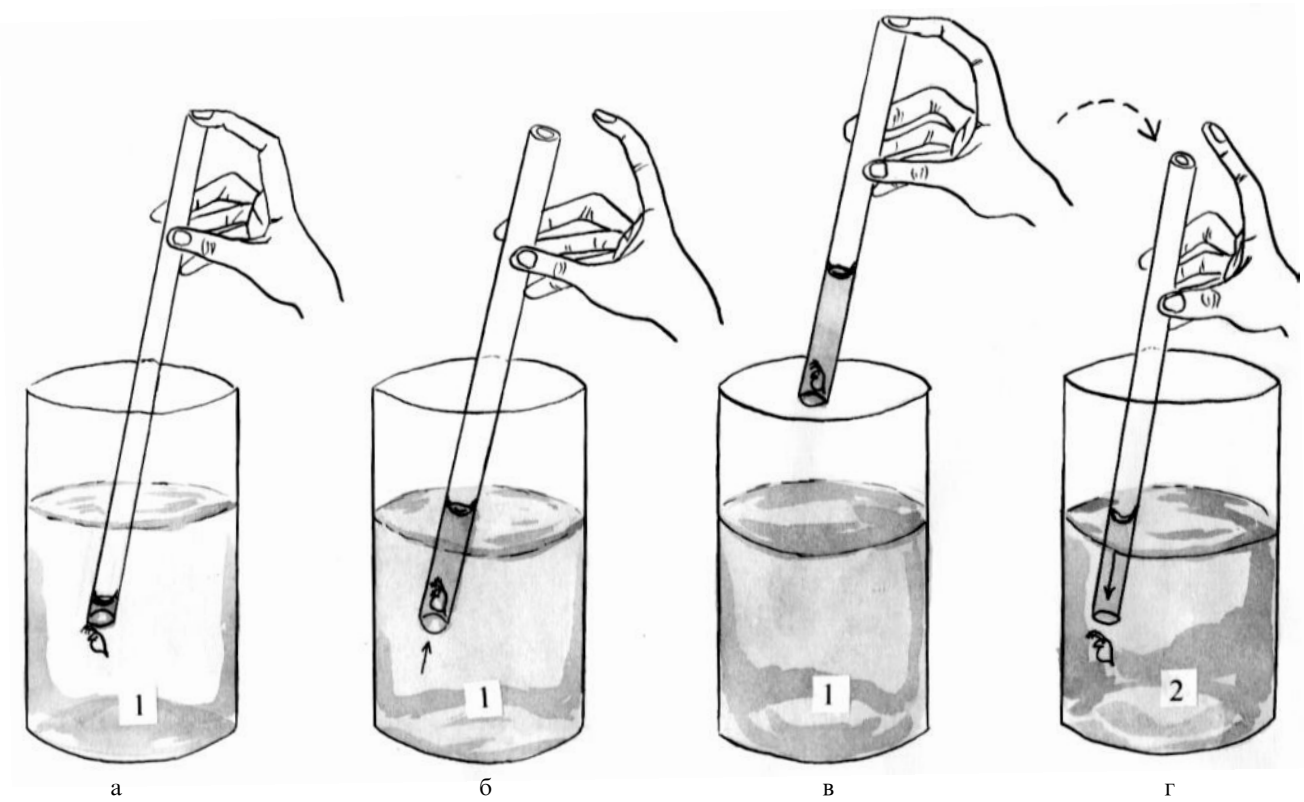
При выращивании культуры дафний в аквариуме объемом 3 л при численности рачков не меньше 90 экземпляров необходимо ежедневно добавлять в аквариум по 2–3 мл культуры водорослей, имеющей темно-зеленый цвет. Если корм задается в таких количествах, что дафнии успевают его усвоить, то вода в аквариуме достаточно долго (около одного месяца) будет оставаться чистой. Если корм дается в избытке, то оставшиеся водоросли, не усвоенные дафниями, начинают размножаться, и вода в аквариуме «зацветает», т. е. сильно зеленеет. Это, в свою очередь, может привести к гибели дафний. В условиях избытка корма клетки водорослей забивают фильтровальный аппарат дафний, рачки не могут нормально питаться, кроме того, увеличивается их вес, дафнии опускаются на дно аквариума и гибнут. Поэтому при излишней дозе корма воду в аквариуме необходимо менять. Обычно, если доза корма всегда была нормальной (не избыточной) и вода в аквариуме оставалась чистой, смена воды осуществляется один раз в 30 дней.

Перед сменой воды в аквариуме всех дафний надо сначала пересадить в отдельный сосуд, в качестве которого можно использовать, например, стакан объемом примерно 1 л. В этот стакан налить 300 мл отстоянной водопроводной воды. Способ отлова дафний и пересадки их из сосуда в сосуд представлен на рис. 2.

Для того чтобы пересадить дафнию из одного сосуда в другой, необходимо:

1. Верхний конец стеклянной трубки плотно зажать указательным пальцем. Опустить стеклянную трубку в сосуд с дафнией. При этом трубочка не должна заполняться водой. Подвести нижний конец трубочки к дафнии (рис. 2, а).

2. Отпустить указательный палец, при этом вода заполнит трубочку, а вместе с водой в трубочку попадет и дафния (рис. 2, б).



Р и с. 2. ПЕРЕСАДКА ДАФНИИ ИЗ СОСУДА 1 В СОСУД 2 (ОБЪЯСНЕНИЯ В ТЕКСТЕ)

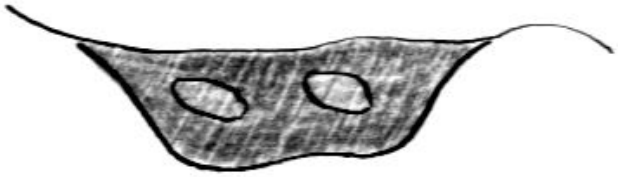
3. Поднять трубочку из стакана, не отнимая указательного пальца от верхнего конца. При этом дафния с небольшим количеством воды должна остаться в трубочке (рис. 2, в).

4. Опустить трубочку в другой стакан с водой. Отпустить указательный палец. При этом вода выходит из трубочки вместе с дафнией (рис. 2, г).

После пересадки всех дафний из аквариума в стакан аквариум необходимо отмыть горячей водой с хозяйственным мылом и тщательно его отполоскать. Затем надо заполнить аквариум заранее приготовленной отстоянной в течение 2 недель водой. Осторожно вылить воду из стакана вместе с дафниями в аквариум. Покормить рачков.

Если в аквариум были посажены молодые однодневные рачки, то примерно через 10–12 дней начнет появляться молодь – их потомство. Ветвистоусые рачки при благоприятных условиях среды обычно размножаются партеногенетически. При таком способе размножения развитие зародыша из яиц у самки инициируется без оплодотворения самцом. Обычно после созревания каждая самка начинает давать пометы (порции молодых рачков) каждые 1,5–2,0 дня. В одном помете может быть до 20 молодых рачков. Чтобы численность дафний в культуре чрезмерно не увеличилась (иначе объема аквариума не хватит для содержания всех рачков – старых и вновь появившихся молодых), молодь рачков из аквариума необходимо периодически удалять. Обычно один раз в сутки с помощью стеклянной трубочки отливают всю появившуюся молодь дафний. Молодых рачков можно использовать в эксперименте или в качестве корма для аквариумных рыбок. Примерно через 30 суток плодовитость дафний снижается, рачки стареют и погибают. Поэтому один раз в месяц надо обновлять культуру дафний, для чего необходимо заранее отсадить молодь дафний в другой аквариум и подращивать молодых рачков. Ко времени, когда прежняя культура состарится, подрастут молодые рачки, которых можно использовать в качестве культуры дафний.

Одним из показателей неблагоприятных условий для культуры дафний является появление покоящихся яиц, которые у *D. magna* заключены в особые образования – эфиппиумы. Каждый эфиппиум имеет вид седлышка темного цвета, в котором находятся по два покоящихся яйца (рис. 3). Появление эфиппиумов связано с рождением самцов, которые, в свою очередь, начинают появляться в пометах дафний, если условия в аквариуме неблагоприятны, например, при понижении температуры воды или некачественном корме. Появляющиеся самцы начинают участвовать в размножении.



Р и с. 3. ЭФИППИУМ *D. MAGNA*

После оплодотворения у самок образуются покоящиеся яйца, которые в эфиппиумах сбрасываются на дно аквариума после очередной линьки. В формировании эфиппиума участвует задняя часть спинного края раковинки. Темноокрашенное яйцо окружается хитиновой оболочкой. Эфиппиум образуется в течение 2–3 дней и удерживается на раковинке самки 1–2 дня. В естественных условиях при наступлении зимы или пересыхании водоема покоящиеся яйца могут выдерживать замораживание или высушивание в течение многих месяцев. Если такой эфиппиум вновь попадет в воду, из него развиваются две партеногенетические самки, которые дают начало новой популяции дафний.

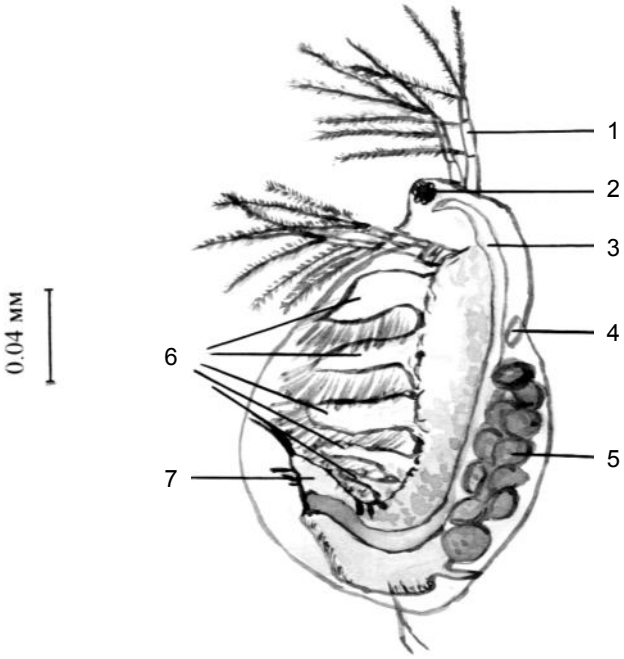
Индивидуальное содержание дафний

Наиболее интересные факты при наблюдении за жизнью дафний можно получить, если содержать рачков индивидуально – по одному в каждом сосуде. Необходимо запастись несколькими стаканами по 100 мл и в каждый сосуд посадить по одной дафнии. Кормление надо проводить из расчета: при индивидуальном содержании одной дафнии в сосуде с водой объемом 100 мл и смене воды через сутки необходимо пипеткой ежедневно добавлять в сосуд 1–2 капли темно-зеленой культуры водорослей. Ежедневно можно отмечать появление сброшенных экзувиев – старых панцирей дафний. Поскольку тело дафний заключено в жесткий экзоскелет – хитиновый панцирь, то растут рачки ступенчато – только в процессе линьки, т. е. во время сброса старого панциря. Можно отобрать экзувий из стакана и рассмотреть его в микроскоп. Экзувий в точности повторяет строение тела дафний.

Весьма интересно наблюдать за появлением молоди у созревшей самки. У дафнии, размножающейся партеногенетически, на 5–6-й день в выводковой сумке появляются яйца, которые за 3–4 дня развиваются в молодых рачков. Рачки выходят из выводковой сумки и сразу же начинают самостоятельно плавать и питаться. Первый помет появляется у дафний на 10–12-й день со дня ее рождения. В первых пометах обычно бывает мало молодых рачков, до 3–7 экземпляров. В последующие дни число молоди в пометах возрастает до 20 рачков.

ВЫРАЩИВАНИЕ КУЛЬТУРЫ РАЧКОВ *SIMOCEPHALUS SERRULATUS*

Внешний вид *S. serrulatus* представлен на рис. 4. Правила выращивания культуры рачков *S. serrulatus* примерно такие же, как и для культивирования дафний. Рачков помещают в аквариумы, наполненные отстоянной водопроводной водой. Главное отличие заключается в том, что при выращивании рачков *S. serrulatus* в аквариуме обязательно должны находиться высшие водные растения – водоросли (например, элодея, валиснерия или другие). Рачки *S. serrulatus* являются обитателями литорали, т. е. такой прибрежной зоны в водоеме, где обычно растут высшие водные растения, к которым рачки прикрепляются с помощью задних антенн. В природных условиях такое приспособление позволяет рачкам выживать при волновом перемешивании воды, особенного сильном в прибрежной зоне. В аквариумах высшие водные растения рачки используют как субстрат для прикрепления. Температура при культивировании рачков может варьировать в пределах 18–24 °С. Дозы корма обычно используются несколько меньшие, чем для дафний, поскольку рачки *S. serrulatus* меньше дафний по размерам.



Р и с. 4. ВНЕШНЕЕ СТРОЕНИЕ *S. SERRULATUS:*

1 – антенна; *2* – сложный глаз; *3* – кишка; *4* – сердце; *5* – развивающиеся эмбрионы в выводковой камере; *6* – грудные ножки; *7* – постабдомен

При групповом содержании рачков начальная плотность посадки составляет 5 рачков на 100 мл. Ежедневно необходимо добавлять в трехлитровый аквариум по 1 мл культуры водорослей, имеющей темно-зеленый цвет. В случае избыточного кормления корм можно несколько дней не давать. Если цветение воды в аквариуме все же началось, необходимо сменить воду на свежую. Смену воды осуществляют точно так же, как и для культуры дафний. Рачков пересаживают из сосуда в сосуд с помощью стеклянной трубочки.

При индивидуальном содержании рачков высшие водные растения помещать в сосуды необязательно. Рачков кормят один раз в два дня по 1 капле темно-зеленой культуры водорослей. Молодь у самок *S. serrulatus* появляется на 10–13-й день, затем через 1–2 дня следуют новые пометы. Размеры молодых рачков

настолько малы, что их трудно разглядеть невооруженным глазом. Обычно появившаяся молодь становится более заметной и доступной для учета после роста молодых рачков в течение суток. В связи с этим нами обычно используется следующий прием при определении плодовитости рачков *S. serrulatus.* Когда у взрослых самок появляется молодь, взрослых рачков отсаживают в другой стакан и следят за появлением у них новых пометов. Молодь из первого помета оставляют в том же стакане на сутки, за которые рачки подрастают настолько, что можно точно определить их число.

ОПЫТЫ ПО ИЗУЧЕНИЮ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ ВЕТВИСТОУСЫХ РАЧКОВ

Как уже было указано, обычно при индивидуальном содержании дафний в сосуды ежедневно добавляют по 1–2 капли темно-зеленой суспензии водорослей. Однако при такой дозировке остается неясным точное количество корма, которое дают рачкам. Если более точно дозировать корм, учитывая плотность культуры клеток (т. е. зная количество клеток водорослей в единице объема суспензии), то можно ставить на дафниях интересные опыты по изучению роста этих животных в условиях разного режима кормления или исследовать их плодовитость. Ниже мы приводим простейшие методы определения плотности клеток в суспензии по ее прозрачности.

Для более точной дозировки корма дафниям необходимо определить численность клеток водорослей в культуре. В настоящее время разработан метод определения численности клеток водорослей в культуре по ее прозрачности (Побегайло, Новосадова, 1983). Специальными исследованиями (Калинкина, 1990) было установлено, что при определении плотности клеток для очень темной или, наоборот, слишком светлой суспензии водорослей по ее прозрачности может допускаться большая ошибка измерения. Это связано с тем, что кривая зависимости плотности культуры от ее прозрачности описывается степенной функцией, вследствие чего можно ожидать существенную ошибку оценок концентрации клеток в областях минимальных и максимальных значений прозрачности. Было определено, что наименьшая вариабельность оценок (минимальная ошибка) может быть достигнута в интервале прозрачности 8–21 мм. Для данного интервала было построено уравнение зависимости плотности клеток в культуре (П, млн. кл/мл) от ее прозрачности (Н, мм):

$$П = 2000 / Н^2. \qquad (1)$$

Для того чтобы определить плотность клеток в культуре водорослей, необходимо:

1. Определить прозрачность суспензии водорослей. Перемешивают культуру водорослей, отбирают 50–70 мл, взбалтывают и переливают в стеклянный цилиндр с плоским дном. Объем цилиндра – 100 мл, диаметр – 3–4 см. Цилиндр устанавливают в штативе. Под дно цилиндра помещают стандартный рисунок: нарисованное черной тушью кольцо 10 мм в диаметре, толщина 1 мм, в кольце имеется разрыв 2 мм. С помощью пипетки отбирают из цилиндра суспензию до тех пор, пока через ее слой не станет ясно виден разрыв в кольце. Измеряют высоту столба жидкости в цилиндре в сантиметрах, этой величиной и выражается прозрачность суспензии водорослей. Затем вновь небольшими порциями добавляют в цилиндр суспензию (предварительно ее взбалтывая) до тех пор, пока разрыв в кольце невозможно будет различить. Вновь измеряют высоту столба жидкости в цилиндре. Определяют среднюю арифметическую из двух измерений высоты столба. Это и будет результатом определения прозрачности суспензии.

2. Если суспензия слишком темная и ее прозрачность оказалась менее чем 8 мм, необходимо разбавить суспензию так, чтобы ее прозрачность оказалась в диапазоне 8–21 мм (оптимальное значение около 15–18 мм). В случае, если суспензия, наоборот, слишком светлая и ее прозрачность превышает 21 мм, необходимо сконцентрировать культуру водорослей. Для этого можно оставить культуру на 1–2 дня, не перемешивая ее. За этот период некоторое количество клеток осядет на дно банки. Затем надо осторожно слить верхний слой культуры (около 3/4 всего объема). В оставшейся культуре плотность клеток будет больше, чем в исходной. Если прозрачность вновь полученной суспензии также будет превышать 21 мм, это свидетельствует о том, что концентрация клеток в культуре слишком низка для точной ее оценки и культуру необходимо выращивать далее до большего потемнения.

3. После определения прозрачности культуры (в диапазоне 8–21 мм), подставить значение прозрачности в формулу (1). Например, нами была определена прозрачность 15 мм. Подставим это значение в формулу:

$$П = 2000/(15)^2 = 8{,}88 \text{ млн. кл/мл},$$

или округленно 8,9 млн. клеток водорослей в 1 мл суспензии – такова плотность исследуемой порции культуры водорослей.

Далее необходимо определить количество культуры водорослей, которое нужно внести в сосуд с дафниями. Обычно исходят из требуемой концентрации клеток водорослей в среде, где содержат дафний. Согласно методическим указаниям (Строганов, Колосова, 1971), количество корма в токсикологических опытах с дафниями составляет 2 мл суспензии *Chlorella* с плотностью 25–35 млн. кл/мл на 1 л опытной среды. Таким образом, плотность клеток водорослей в сосудах с дафниями должна соответствовать около 50 000 кл/мл. По другим данным (Побегайло, Новосадова, 1983), плотность клеток в сосудах с дафниями должна быть на уровне 0,6–1,0 млн. кл/мл.

Чтобы определить дозу корма, которую надо внести в сосуд с дафниями, необходимо воспользоваться формулой:

$$D = (Vc \cdot Kc) / П, \qquad (2)$$

где D – количество суспензии, необходимое для внесения в сосуд с дафниями (мл); Vc – объем воды, в которой находится дафния (мл); Kc – требуемая концентрация клеток водорослей в среде, где находится дафния (кл/мл); П – плотность клеток в культуре водорослей (млн. кл/мл).

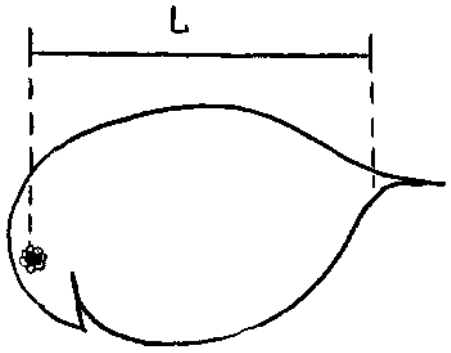
Например, дафния содержится в сосуде, в который налито 100 мл воды, т. е. Vc = 100 мл. Нами определено, что плотность суспензии водорослей составляет 9 млн. кл/мл, т. е. П = 9 млн. кл/мл = $9 \cdot 10^6$ кл/мл. Необходимо, чтобы начальная концентрация клеток водорослей в сосуде с дафнией составляла 50 000 кл/мл, т. е. Kc = 50 000 кл/мл. Какова должная быть доза суспензии водорослей D? Подставляем исходные данные в формулу (2):

$$D = (100 \cdot 50\,000) / (9 \cdot 10^6) = 0{,}555 \text{ мл},$$

или округленно 0,6 мл суспензии водорослей надо внести в сосуд с дафнией, чтобы начальная плотность клеток в этом сосуде составила 50 000 кл/мл.

Зная количество клеток водорослей в сосудах с дафниями, можно изучать, как влияет доза внесенного корма на показатели роста и плодовитость рачков. Для этого необходимо поставить следующий опыт. Приготовить 20 сосудов (по 100–200 мл). В каждый налить по 100 мл отстоянной водопроводной воды и поместить в воду по одному экземпляру дафнии (или *S. serrulatus*). В первых 10 сосудах в течение опыта надо создавать начальную плотность клеток водорослей на уровне, например, 50 000 кл/мл, в оставшихся 10 сосудах – создавать плотность клеток водорослей на уровне 100 000 кл/мл. Каждый день необходимо измерять размеры каждого рачка. Для этого рачков отлавливают из воды с помощью стеклянной трубочки (как это уже было показано) и помещают в капле воды на предметное стекло. С помощью фильтровальной бумаги удаляют избытки воды, при этом важно не пересушить рачка и не травмировать его. Рачка помещают на предметном стекле на предметный столик бинокулярной лупы, в которой есть микрометр (т. е. окуляр с линейкой). При увеличении 2 х 8 измеряют длину тела дафний вдоль линии: глаз – хвостовая игла (рис. 5). При этом размер хвостовой иглы не учитывается. После измерения опустить стекло с рачком в воду так, чтобы дафния вновь оказалась в экспериментальном сосуде. Теперь можно продолжить наблюдение за ростом животного.

В опытах необходимо отмечать также количество сброшенных экзувиев, которые образуются после линьки рачков. Примерно с 10-го дня опыта в сосудах появляется молодь, количество которой также надо учитывать. При этом молодь



Р и с . 5. ИЗМЕРЕНИЕ ДЛИНЫ ТЕЛА ДАФНИИ

по одной удаляют из стакана со взрослой дафнией, подсчитывая их количество в помете.

Далее приводятся показатели размеров тела рачков, которые были измерены нами в опытах на дафниях и *S. serrulatus*. В экспериментах изучали влияние различных доз корма на рост дафний. Для этого выращивали две группы рачков. Дафнии из первой группы получали дозу корма 50 000 кл/мл, из второй группы – 100 000 кл/мл. Результаты измерения в течение 10 дней размеров тела дафний из первой группы представлены в табл. 1, из второй группы – в табл. 2. Хорошо видно, что рост рачков имеет ступенчатый характер. Например, рачок № 1 в первые и вторые сутки опыта имел одну и ту же длину тела – 1,15 мм (табл. 1). Его размеры возросли лишь на третьи сутки, после линьки, когда дафния сбросила старый панцирь.

Т а б л и ц а 1

РАЗМЕРЫ ТЕЛА ДАФНИЙ (мм) НА 1–10-й ДЕНЬ ЭКСПЕРИМЕНТА (ДОЗА КОРМА 50 000 кл/мл)

Номер рачка	Сутки									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1,15	1,15	1,45	1,95	1,95	2,10	2,10	2,95	2,95	3,15
2	1,20	1,20	1,40	1,80	2,25	2,70	3,05	3,05	3,05	3,30
3	1,20	1,20	1,45	1,95	1,95	2,20	2,55	3,05	3,05	3,45
4	1,15	1,15	1,45	1,90	1,90	2,15	2,55	3,05	3,15	3,15
5	0,95	0,95	1,15	1,45	1,75	2,20	2,65	2,65	3,20	3,20
6	1,10	1,10	1,30	1,70	2,20	2,65	3,05	3,05	3,25	3,25
7	1,15	1,15	1,45	1,90	1,90	2,35	2,90	3,15	3,15	3,35
8	0,90	1,05	1,40	1,95	2,35	2,60	3,00	3,00	3,00	3,30
9	0,95	1,15	1,50	1,60	1,60	2,25	2,55	2,55	2,95	2,95
10	1,20	1,20	1,35	1,35	1,95	1,95	2,15	2,55	2,75	2,75

Влияние разных доз корма на рост дафний показано в табл. 1, 2. К концу опыта на 10-е сутки средний размер тела дафний из первой группы составил 3,23 мм, в то время как средний размер дафний из второй группы был достоверно больше – 3,34 мм. Следовательно, в условиях повышенной дозы корма дафнии росли быстрее.

Данные о размерах тела дафний в различные дни опыта, представленные в виде кривой роста (рис. 6), свидетельствуют о неравномерности роста рачков. Наибольшая скорость роста

Таблица 2

РАЗМЕРЫ ТЕЛА ДАФНИЙ (мм) НА 1–10-й ДЕНЬ ЭКСПЕРИМЕНТА (ДОЗА КОРМА 100 000 кл/мл)

Номер рачка	Сутки									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0,95	1,15	1,4	1,4	2	2,4	2,9	2,9	3,3	3,3
2	0,95	1,2	1,45	1,6	1,95	2,3	2,8	2,8	3,4	3,4
3	0,9	1,15	1,55	2,05	2,35	2,8	3,1	3,1	3,05	3,45
4	0,95	1,2	1,55	1,55	1,9	2,6	3,4	3,4	3,35	3,55
5	0,95	1,15	1,55	1,55	1,95	2,3	2,6	2,9	3,4	3,4
6	0,9	1,1	1,3	1,8	2,35	2,4	3,1	3,1	3,05	3,45
7	1,2	1,2	1,5	1,8	1,8	2,4	2,4	2,4	2,85	2,85
8	0,95	1,2	1,5	2	2	2,6	2,6	2,6	3,1	3,1
9	1,2	1,2	1,55	1,95	2,45	2,5	3,1	3,1	3,1	3,45
10	1,1	1,1	1,45	1,8	2,3	3	3	3	3,45	3,45

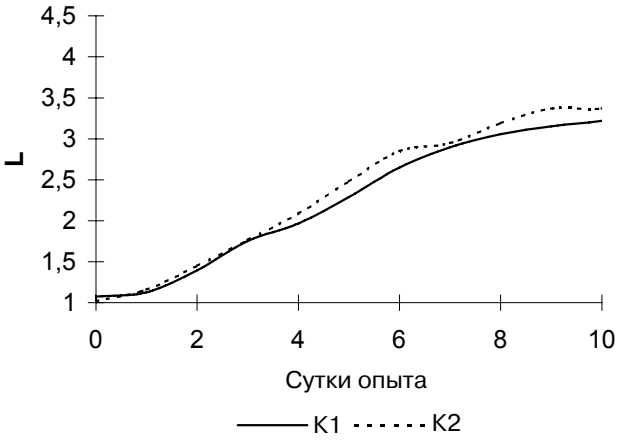


Рис. 6. КРИВАЯ РОСТА ДАФНИЙ:

L – длина тела, мм; K1 – доза корма 50 000 кл/мл; K2 – 100 000 кл/мл

наблюдается в первые семь дней, затем отмечается его снижение.

Наблюдения за ростом четырех поколений рачков *S. serrulatus* представлены в табл. 3. Рачки *S. serrulatus* значительно меньше дафний. К 12–13-м суткам они достигают лишь 1,8–2,0 мм, в то время как дафнии – 3,5 мм. В целом изменчивость размеров тела рачков *S. serrulatus* в группе невелика: значения средних (величина M) варьировали незначительно – от 2,1 до 2,4 мм. При этом величина стандартного отклонения (S), оценивающая степень изменчивости признака, была весьма мала – 0,1, что составляет лишь 5% от средней (табл. 4). В то же время средняя плодовитость (количество молоди, выметанное одной самкой от начала размножения до окончания эксперимента) варьировала весьма сильно: в пределах 16–37 экземпляров молодых рачков. Высокие значения величины стандартного отклонения S (8–25), по величине соизмеримые со значениями средней плодовитости, свидетельствуют о высокой варибельности плодовитости *S. serrulatus*, наблюдаемой нами в опыте (табл. 4).

Таблица 3

СРЕДНЯЯ ДЛИНА ТЕЛА (мм) РАЧКОВ *S. SERRULATUS* (ЧЕТЫРЕ ПОКОЛЕНИЯ) В РАЗЛИЧНЫЕ ДНИ ОПЫТА

1-е поколение		2-е поколение		3-е поколение		4-е поколение	
Сутки	Длина	Сутки	Длина	Сутки	Длина	Сутки	Длина
13	1,79	12	2,03	11	1,96	12	1,93
15	1,88	14	2,04	14	2,21	14	1,98
19	1,96	19	2,22	16	2,23	15	1,98
22	2,00	21	2,26	18	2,33	19	2,21
23	2,10	24	2,26	23	2,35	22	2,28

Таблица 4

ПОКАЗАТЕЛИ НОРМАЛЬНОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ ДЛИНЫ ТЕЛА И ПЛОДОВИТОСТИ *S. SERRULATUS*

Поколение	Длина тела		Плодовитость	
	M	S	M	S
1	2,1	0,1	16	11
2	2,3	0,1	27	15
3	2,4	0,1	37	8
4	2,3	0,1	23	25

Приведенные данные свидетельствуют о важности учета в экспериментах индивидуального варьирования исследуемого признака рачков (размеры тела, плодовитость). При изучении признаков с узким диапазоном варьирования можно получить, как правило, хорошо воспроизводимые результаты. Напротив, при исследовании признаков с широкой изменчивостью воспроизводимость результатов будет низкой.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

Андроникова И. Н. Структурно-функциональная организация зоопланктона озерных систем. СПб., 1996. 189 с.

Гутельмахер Б. Л., Алимов А. Ф. Количественные закономерности фильтрационного питания водных животных // Общие основы изучения водных экосистем. Л., 1979. С. 57–78.

Дубровина Л. В. Биотестирование сточных вод поселков Эссойла и Святозеро // Современное состояние водных объектов Республики Карелия. Петрозаводск, 1998. С. 145–146.

Калинкина Н. М. Экспресс-метод определения численности клеток водорослей в культуре // Актуальные проблемы биологии и рациональное природопользование: Тез. докл. Петрозаводск, 1990. С. 40–41.

Калинкина Н. М., Дубровина Л. В., Федорова Н. В. Сравнительная характеристика *Daphnia magna* Straus и *Simocephalus serrulatus* Koch как тест-объектов при биотестировании сточных и природных вод // Антропогенное воздействие на природу Севера и его экологические последствия: Тез. докл. Апатиты, 1998. С. 71–72.

Кауфман Б. З. Некоторые простейшие экспериментальные работы с беспозвоночными. Петрозаводск, 1991. 63 с.

Кауфман Б. З. Биологические основы и методы лабораторного культивирования некоторых беспозвоночных. Петрозаводск, 1997. 100 с.

Мануйлова Е. Ф. Ветвистоусые рачки фауны СССР. М.; Л., 1964. 327 с.

Методики биологических исследований по водной токсикологии. М., 1971. 257 с.

Пидгайко М. Л. Зоопланктон водоемов Европейской части СССР. М., 1984. 208 с.

Побегайло П. И., Новосадова Т. Г. Рекомендации по определению токсичности производственных сточных вод с использованием рачка дафния магна. М., 1983. 30 с.

Помазовская И. В., Флинк Е. В., Дубровина Л. В. Влияние биогенных элементов на развитие токсического процесса у гидробионтов // Экосистема Онежского озера и тенденции ее изменения. Л., 1990. С. 231–244.

Смирнов Н. Н. Биология ветвистоусых ракообразных. Итоги науки и техники. Зоология беспозвоночных. Т. 3. М., 1975. 117 с.

Строганов Н. С., Колосова Л. В. Ведение лабораторной культуры и определение плодовитости дафний в ряде поколений // Методики биологических исследований по водной токсикологии. М., 1971. С. 210–216.

Cowgill U. M. Critical analysis of factors affecting the sensitivity of zooplankton and the reproducibility of toxicity test results // Water Research. 1987. Vol. 21, № 12. P. 1453–1462.

ТЕМЫ ДЛЯ ФАКУЛЬТАТИВНЫХ ЗАНЯТИЙ

1. Влияние различных доз корма (зеленые водоросли) на рост дафний.
2. Сравнение скорости роста рачков *D. magna* и *S. serrulatus.*
3. Влияние различных доз корма на состояние культуры дафний (или *S. serrulatus*).
4. Влияние различных доз корма (зеленые водоросли) на плодовитость дафний.



Это интересно

Продолжительность жизни *Daphnia magna* может достигать 90 суток (Мануйлова, 1964).

В течение жизни от одной самки *Daphnia magna* получают до 1000 потомков (Смирнов, 1975).

Рост ветвистоусых рачков продолжается всю жизнь, замедляясь по мере увеличения возраста (Мануйлова, 1964).

За одни сутки один рачок *Daphnia magna* весом 1 мг способен отфильтровать около 500 мл воды (Гутельмахер, Алимов, 1979).

За одни сутки один рачок *Daphnia magna* способен отфильтровать до 300 тыс. клеток *Chlorella*, около 10 млн. клеток бактерий (Мануйлова, 1964).

Скорость биения сердца *Daphnia magna* составляет около 300 ударов в минуту (Смирнов, 1975).

Частота движений грудных конечностей *Daphnia magna* составляет 150–470 ударов в минуту (Смирнов, 1975).

Ветвистоусые рачки (дафнии) оказались первыми организмами, послужившими для биологической индикации качества воды (Смирнов, 1975).

«Самцы ветвистоусых ракообразных – карлики по сравнению с самками; их размеры в несколько раз меньше самок» (Жизнь животных, 1968).

Определение характеристик речного стока

А. В. Литвиненко

ВВЕДЕНИЕ

Трудно переоценить значение воды в природе, жизни человека, экономическом и социальном развитии общества. Вода – величайшее благо, один из важнейших сырьевых ресурсов, не имеющих замены. В настоящее время нет практически ни одного вида производства,

ни единой отрасли экономики, которые могли бы обойтись без воды: она – необходимое условие существования сельского хозяйства и промышленности, водного транспорта и рыбного хозяйства; ее используют для выработки электроэнергии и целей рекреации. Вода – неотъемлемый и важнейший элемент окружающей среды: ею пропитана вся биосфера, все живые существа и растения. Она, наряду с воздухом, является тем необходимым элементом, без которого само существование высокоорганизованных форм жизни невозможно. Недаром для поддержания жизни человек должен ежедневно пополнять запасы воды, потребляя ее около 2,5 л в сутки. И за 60 лет он прокачивает через себя более 50 т воды. Без пищи можно прожить 40–50 дней, без воды – не более недели. Таким образом, мы постоянно потребляем для самых различных целей огромные объемы водных ресурсов.

Но всякую ли воду мы можем считать водным ресурсом? Число видов природных вод, существующих на Земле, весьма велико. К ним относятся речной сток, воды озер и водохранилищ, ледники и снежники, льды Арктики и Антарктиды, воды Мирового океана, болот, биосферы, атмосферы, грунтовые и подземные воды различных горизонтов, в совокупности являющиеся одной из составляющих географической оболочки Земли – *гидросферой.*

ГИДРОСФЕРА – прерывистая водная оболочка земного шара, расположенная на поверхности земной коры и в ее толще, представляющая собой совокупность океанов, морей и водных объектов суши (рек, озер, болот, подземных вод), включая снежный покров и ледники.

Исследованием всего многообразия природных вод занимается *гидрология*, относящаяся к системе естественных географических наук.

ГИДРОЛОГИЯ – наука, изучающая природные воды и протекающие в них процессы и явления во взаимосвязи с атмосферой, литосферой и биосферой.

Однако эксплуатация большинства из видов природных вод сейчас затруднена по самым различным причинам или вообще невозможна. В понятие же «водные ресурсы» входят только те из них, использование которых на данном этапе развития производительных сил технически возможно и экономически целесообразно. Таковыми сегодня являются в основном воды рек, озер и подземных горизонтов неглубокого залегания. Но при этом два последних вида водных ресурсов в значительной степени зависят от речного стока, который является гидравлически взаимосвязанным с верхними подземными горизонтами (зона активного водообмена) и формирует главным образом верхнюю легко возобновимую часть озерных вод – ее мы имеем право использовать. Эксплуатация более глубоких подземных вод (зона замедленного водообмена) технически затруднена и экологически небезопасна, а вековых озерных вод – просто недопустима. Таким образом, под водными ресурсами отдельных территорий часто понимают лишь величину годового стока рек. Речные воды обладают неоценимым качеством: они наиболее подвижный и быстро восстанавливающийся вид водных ресурсов. Благодаря непрерывному круговороту воды в природе ее запасы в реках обновляются примерно 23 раза в год (1 раз в 16 суток). И хотя суммарный объем всех русел рек земного шара составляет только 2120 км^3, общий годовой объем речного стока достигает почти 47 тыс. км^3. Из них 1/1000 часть стекает с территории Карелии.

Все сказанное и определяет наш интерес к этому – главному – виду водных ресурсов и позволяет сформулировать основные задачи данной работы:

⇒ знакомство с понятием «речной сток» и важнейшими его характеристиками;
⇒ знакомство с методами расчета основных характеристик речного стока;
⇒ освоение методики практического определения главной характеристики речного стока – расхода воды – способом гидрометрических поплавков.

ПОНЯТИЕ «РЕЧНОЙ СТОК»

Основная особенность гидросферы Земли – непрерывно происходящий круговорот воды, который, взаимодействуя с атмосферой, литосферой и биосферой, связывает в единое целое все составляющие гидросферы, т. е. океан, реки, озера, болота, ледники и т. д. Физической причиной этого процесса служат солнечная энергия и сила тяжести. Под влиянием солнечной радиации с поверхности океанов, морей, рек, озер, ледников, снежного покрова и льда, почвы и растительности ежегодно испаряются огромные объемы воды. Основная часть этой влаги конденсируется и выпадает в виде атмосферных осадков непосредственно на поверхность Мирового океана, совершая так называемый малый, или океанический, круговорот. Меньшая ее доля благодаря атмосферному переносу участвует в большом круговороте, вступая в сложные взаимодействия с земной поверхностью. Атмосферные осадки, выпавшие на сушу, частично испаряются, частично просачиваются в почву и образуют грунтовые и подземные воды, а частично стекают под действием силы тяжести, образуя *водотоки*.

ВОДОТОКИ – водные объекты, характеризующиеся движением воды в направлении уклона в углублении земной поверхности. Могут быть постоянными (с течением воды круглый год) или временными (пересыхающими, перемерзающими), естественными или искусственными (каналы).

Последний процесс и представляет собой *речной сток.*

РЕЧНОЙ СТОК – перемещение воды в процессе ее круговорота в природе в форме стекания по руслу водотока под действием силы тяжести.

Существует и другое понимание этого термина.

РЕЧНОЙ СТОК – количество воды, протекающее в речном русле за какой-либо промежуток времени.

Первое определение отражает суть процесса речного стока, а второе – его количественный аспект. Часто используется также термин «поверхностный сток», куда входит, кроме речного (руслового), также и склоновый сток.

Речной сток – функция гидрометеорологических компонентов ландшафта, отражающих соотношение тепла и влаги, свойственное данной географической зоне. Именно осадки и испарение на 75–90% определяют режим речного стока. Все остальные компоненты ландшафта, или факторы подстилающей поверхности (рельеф, почвы, растительный покров, озерность, заболоченность и т. п.), влияют на речной сток в основном опосредованно, через осадки и испарение.

ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ РЕЧНОГО СТОКА

Для количественной оценки речного стока применяются несколько характеристик. Однако основной из них является одна – *расход воды*.

РАСХОД ВОДЫ (Q) – объем воды, протекающей через *поперечное сечение потока* за 1 секунду; обычно выражается в $м^3/с$, для малых водотоков – л/с.

Он определяется по формуле:

$$Q = Vw, \quad (1)$$

где V – средняя скорость течения воды на *водном сечении* (м/с), w – площадь водного сечения ($м^2$).

ВОДНОЕ (ПОПЕРЕЧНОЕ) СЕЧЕНИЕ ПОТОКА – плоскость, перпендикулярная общему (среднему) направлению течения потока (динамической оси потока) и ограниченная профилем русла, а сверху – уровнем воды; при ледяном покрове за верхнюю границу принимается нижняя поверхность ледяного покрова. В водном сечении различают: 1) живое сечение – часть водного сечения, где скорость течения больше порога чувствительности применяемого в данном случае для ее измерения устройства; 2) мертвое пространство – часть водного сечения, где скорость меньше порога чувствительности.

Все остальные характеристики речного стока, применяемые в гидрологических исследованиях и расчетах, являются производными от расхода воды. Ими являются *объем стока, модуль стока* и *слой стока*.

ОБЪЕМ СТОКА (W) – количество воды, протекающей через рассматриваемое поперечное сечение за какой-либо период времени; выражается для малых потоков в $м^3$, для крупных рек – в $км^3$.

Определяется по формуле:

$$W = QT, \quad (2)$$

где Q – средний расход за расчетный период времени ($м^3/с$), T – число секунд в том же периоде времени.

Например:

$W_{сутки} = Q_{средний\ суточный}$ 86400 с

$W_{месяц} = Q_{средний\ месячный}$ 2,592 млн. с (при 30 днях)

или

$W_{месяц} = Q_{средний\ месячный}$ 2,678 млн. с (при 31 дне)

$W_{год} = Q_{средний\ годовой}$ 31,54 млн. с

МОДУЛЬ СТОКА (M) – количество воды, стекающей с единицы площади *водосбора* (1 $км^2$) в единицу времени (1 секунда); выражается в $л/(с \cdot км^2)$.

Определяется по формуле:

$$M = Q10^3/F, \quad (3)$$

где F – площадь *водосбора*, $км^2$, 10^3 – переводный коэффициент из метров кубических в литры.

ВОДОСБОР – часть земной поверхности и толща почв и грунтов, откуда вода поверхностным и подземным путем поступает в данный водный объект; синоним – область питания водного объекта.

СЛОЙ СТОКА (y) – количество воды, стекающей с водосбора за какой-либо интервал времени, выраженное в виде слоя, равномерно распределенного по площади этого водосбора (горизонтальная проекция), выражается в миллиметрах.

Определяется по формуле:

$$y = W/F = QT/F. \quad (4)$$

И модуль, и слой стока можно рассчитывать для любого интервала времени.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСХОДА ВОДЫ (практическая работа)

Разработкой методов определения расходов воды занимается раздел гидрологии, именуемый *гидрометрией*.

ГИДРОМЕТРИЯ – измерительная часть гидрологии, рассматривающая методы измерений и наблюдений за режимом водных объектов, применяемые при этом приборы и устройства, а также способы обработки результатов измерений.

Как следует из формулы (1), для определения расхода воды необходимо определить среднюю скорость течения воды в реке и площадь поперечного сечения. Соответственно

этот процесс включает несколько видов работ.

1. Выбор гидрометрического створа для определения расхода воды.
2. Измерение глубин по поперечному створу и расчет площади поперечного сечения.
3. Измерения скорости течения воды каким-либо способом.
4. Расчет расхода воды и других характеристик речного стока.

Выбор гидрометрического створа

ГИДРОМЕТРИЧЕСКИЙ СТВОР – закрепленный на местности вехами, кольями или другими подобными предметами поперечник через реку, в котором измеряется расход воды.

Практическую работу по определению расхода воды со школьниками лучше проводить на небольших водотоках. При выборе гидрометрического створа следует соблюдать определенные требования для обеспечения точности измерений при удобстве и безопасности их производства. Он должен назначаться перпендикулярно среднему направлению течения на прямолинейном участке с более или менее правильным корытообразным дном. Река должна протекать одним руслом, не разбиваясь на рукава и протоки. В русле не должно быть островов и отмелей, вызывающих косоструйность течения (течение должно быть параллельноструйным) и поперечные уклоны, оно не должно быть засорено валунами и корягами и не должно зарастать водной растительностью (камыш, тростник, рдесты, кувшинки и т. п.), так как это затрудняет измерение расходов воды. Ложе реки должно быть устойчивым, т. е. не подвергаться размыву или значительному заилению. Не должно быть зон со стоячей водой (мертвое пространство) или обратными течениями. Указанные требования не всегда выполнимы в полном объеме, но всегда следует стремиться к их максимальному учету. В некоторых случаях возможна даже специальная подготовка русла (уборка валунов и коряг, выкашивание водной растительности и т. д.).

Измерение глубин

Измерение глубин осуществляется по назначенному и отмеченному на местности гидрометрическому створу. Для этого через реку по створу натягивают стальной трос, размеченный марками через равные промежутки (0,5–1,0 м). Один его конец прочно закрепляется, а другой туго натягивается на противоположном берегу вручную или посредством лебедки, ворота или талями. На реках шириной до 25 м допускается вместо троса натягивать размеченную капроновую или другую бечеву диаметром около 10 мм. Вдоль троса или бечевы перемещается промерная лодка и производятся промеры глубин, по возможности через равные промежутки напротив марок. Промеры мелких рек можно производить вброд.

Для средних условий на реках шириной до 50 м рекомендуется 15–20 промерных точек, до 300 м – 20–30.

Следует иметь в виду, что все расстояния при проведении любых гидрометрических работ измеряются от так называемого «*постоянного начала*».

ПОСТОЯННОЕ НАЧАЛО – знак на местности (столб, репер, отметка на валуне или сооружении и т. п.), не меняющий своего местоположения, от которого всегда производится измерение расстояний в гидрометрическом створе по ширине реки при промерах глубин и измерении расхода воды.

Это вызвано тем, что местоположение *уреза воды* непостоянно.

УРЕЗ ВОДЫ – линия пересечения свободной водной поверхности с берегом водного объекта; его высотное положение совпадает с уровнем воды в данной точке. Оно непостоянно и зависит от колебаний уровня воды, обусловленных половодьями, паводками и т. п. Для рек выделяются урезы левого и правого берегов.

Сами промеры на малых реках удобнее всего производить наметкой, представляющей собой деревянный шест круглого сечения диаметром 4–5 см, длиной до 5–7 м. Нижний ее конец заделан в металлический башмак, который своим весом (0,5–1,0 кг) помогает погружать наметку в воду и предохраняет ее от раскалывания и истирания при ударах о дно. При работе на слабых илистых грунтах на нижнем конце башмака укрепляется поддон, препятствующий ее заглублению в ил. Наметка делится на дециметры белой и красной краской и оцифровывается. Такое приспособление несложно изготовить в школьной мастерской. Отсчет глубин по наметке производится в тот момент, когда она стоит на дне вертикально. Точность отсчета 2–5 см.

При малых глубинах вместо наметки целесообразно использовать небольшие размеченные рейки, при больших – ручной лот, представляющий собой металлический груз весом до 5 кг с прикрепленным линем, в качестве которого применяется предварительно растянутый шнур или тонкий мягкий стальной трос. Лотлинь размечается марками на метры и дециметры. Точность отсчета по лоту меньше и составляет 5–10 см.

При проведении промерных работ, а также в процессе измерения скорости течения воды (см. далее) необходимо постоянно следить за уровнем воды и при больших его колебаниях вводить необходимые коррективы в результаты промеров. Для этого можно использовать простейшие подручные средства – закрепить в реке вертикально какую-нибудь рейку или, в крайнем случае, обычный шест, на котором можно фиксировать изменения уровня.

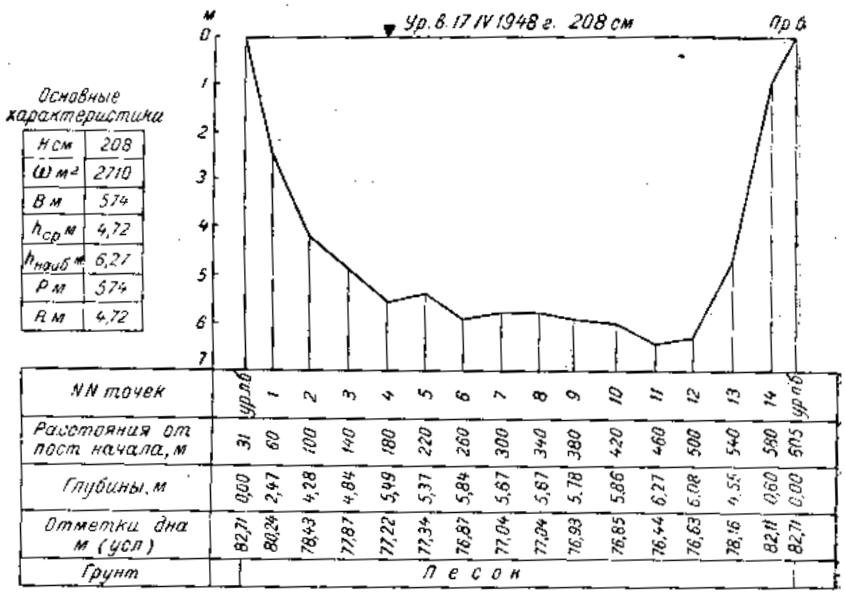


Рис. 1. ПОПЕРЕЧНЫЙ ПРОФИЛЬ РЕКИ

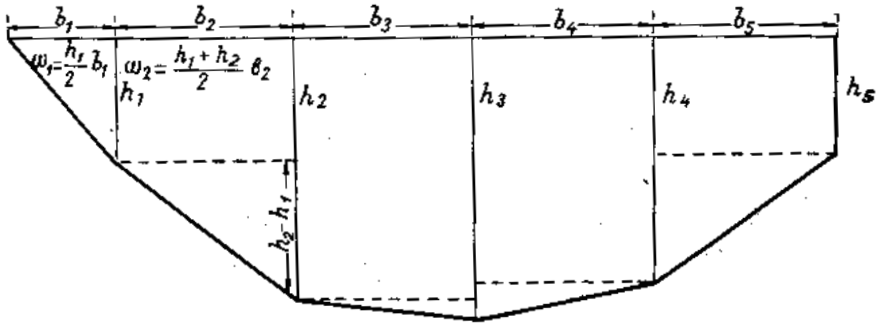


Рис. 2. СХЕМА ВЫЧИСЛЕНИЯ ПЛОЩАДИ ВОДНОГО СЕЧЕНИЯ

После завершения промерных работ выполняется построение поперечного профиля на листе миллиметровки (рис. 1) и вычисление морфометрических характеристик: площади водного сечения (w), ширины реки (B), средней глубины ($H_{ср}$) и ряда других. Площадь водного сечения может быть определена планиметрированием, но чаще она вычисляется аналитически. Как видно на рис. 2, промерные вертикали разбивают водное сечение на ряд трапеций, и только береговые участки могут иметь форму прямоугольного треугольника (при нулевой глубине на урезе воды). Их площади легко можно рассчитать по известным геометрическим формулам, а их сумма дает общую площадь водного сечения. Помимо площади водного сечения определяется площадь живого сечения, которая при наличии течения воды в пределах всего водного сечения будет равна ему, а при наличии в нем застойной (мертвой) зоны будет меньше площади водного сечения на величину площади мертвого пространства. В дальнейшем при расчетах расходов воды используется только площадь живого сечения.

Ширина реки B – расстояние между урезами берегов – определяется из выражения:

$$B = l_к - l_н, \qquad (5)$$

где $l_н$ – расстояние от постоянного начала до уреза ближайшего берега, $l_к$ – то же до уреза дальнего берега.

Средняя глубина $H_{ср}$ определяется как частное от деления площади водного сечения на ширину реки:

$$H_{ср} = w/B. \qquad (6)$$

Измерение скоростей течения воды

После определения площади водного сечения необходимо установить среднюю скорость потока на нашем гидрометрическом створе. В гидрометрии разработано большое количество методов и приборов для измерения скоростей течения воды, действие которых основано на различных физических принципах. Наиболее употребителен метод, основанный на фиксации числа оборотов лопастного винта при помощи наиболее распространенного

прибора – гидрометрической вертушки. Главная ее часть – лопастной винт (ротор), вращающийся в омывающем его потоке воды. Количество оборотов фиксируется специальными устройствами. Действие прибора основано на существовании зависимости

$$V = f(n), \qquad (7)$$

где V – скорость течения воды, набегающей на прибор (м/с), которая является функцией от n – числа оборотов лопастного винта в 1 с.

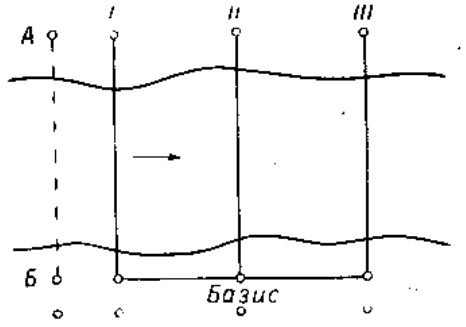
Но, скорее всего, таких приборов в школах нет, да и пользование ими требует некоторых специальных знаний и опыта. Поэтому рекомендуется при проведении практической работы со старшеклассниками измерение скорости течения проводить другим, более простым способом – гидрометрическими поплавками. Метод основан на фиксации скорости плывущего тела. При этом допускается, что скорость последнего равна скорости течения воды в месте прохождения поплавка. Такое допущение значительно упрощает процесс определения скорости, хотя установлено экспериментально и теоретически, что тело, плывущее по течению, движется быстрее окружающих его частиц воды. Это простейшее приспособление для данной цели. Существуют поверхностные и глубинные (двойные) поплавки. Для наших целей более подходят поверхностные, которые также легко изготавливаются в школьной мастерской. Обычно их делают из дерева. Для рек шириной до 100 м можно изготовлять поплавки в виде кружков, отпиленных от сухого бревна, с толщиной 3–5 см и диаметром 10–20 см. Для лучшей видимости их можно окрасить в яркие цвета и снабдить небольшими флажками. Но допустимо, в случае необходимости, использование и других плавающих предметов, например, кусков древесины, полузатопленных бутылок и т. п. Поплавки применяются для измерения любых скоростей, но особенно они полезны при малых скоростях, не улавливаемых вертушкой, а также когда ее нельзя использовать. Обязательное условие поплавочных измерений – малая скорость ветра.

Существует несколько разновидностей измерения расходов воды поверхностными поплавками. Мы рекомендуем два наиболее простых.

1. По максимальной скорости потока

Технология выполнения работ следующая.

Выше и ниже основного гидрометрического створа, на котором выполнялись промеры глубин, на равных расстояниях друг от друга разбиваются дополнительно еще два створа с таким расчетом, чтобы продолжительность хода поплавков между верхним и нижним створами была не менее 20 с. При скоростях течения более 2 м/с продолжительность хода может быть и меньше, но не менее 10 с. Расстояние между верхним и нижним створом должно быть тщательно промерено с большой точностью. В 5–10 м выше верхнего створа назначается



Р и с . 3. РАСПОЛОЖЕНИЕ СТВОРОВ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ РАСХОДОВ ВОДЫ ПОПЛАВКАМИ:

I – верхний створ, *II* – средний створ, *III* – нижний створ, *АБ* – пусковой створ

пусковой створ, служащий для запусков поплавков (рис. 3). Все створы обозначаются на берегах вехами. На пусковом створе по очереди забрасываются на *стрежень* 8–10 поплавков (на узких реках с берега, на широких – с лодки).

СТРЕЖЕНЬ – линия, соединяющая точки с наибольшей поверхностной скоростью течения в потоке.

При прохождении поплавка через верхний створ наблюдатель дает сигнал, по которому включается секундомер. По достижении поплавком нижнего створа секундомер выключается. Таким образом определяют продолжительность хода каждого поплавка. Далее из них отбирают три наиболее быстрые (расхождение между результатами не должно превышать 10%) и определяют среднее арифметическое. Разделив расстояние между верхним и нижним створами на полученную минимальную продолжительность хода, мы получаем значение максимальной поверхностной скорости. Ее относим к основному гидрометрическому створу (среднему).

2. По средней поверхностной скорости

Отличие от предыдущего способа заключается в том, что здесь мы измеряем аналогичным образом поверхностную скорость последовательно в центре реки (V_1), у правого (V_2) и у левого (V_3) берега. По каждому направлению скорость потока определяется не менее чем по трем поплавкам, дошедшим без задержки до нижнего створа, и с расхождением в продолжительности их хода не более 10%. Средняя поверхностная скорость потока (V) будет равна

$$V = \frac{V_1 + V_2 + V_3}{3}. \qquad (8)$$

Количество измерений можно увеличить.

Определение расхода воды

Теперь у нас есть все данные для расчета расхода воды на нашем гидрометрическом створе согласно формуле (1). Но в формулу

входит средняя скорость всего потока, тогда как мы нашли в первом случае максимальную, а во втором – среднюю поверхностную скорость, которые заведомо выше. Следовательно, в формулу (1) нужно ввести переходные коэффициенты:

$$Q = KV_{\text{макс. поверх.}}w,$$
$$Q = K_1V_{\text{средняя поверх.}}w.$$

Следует помнить, что в качестве площади (w) берется только площадь живого сечения; все мертвые пространства (если они есть) исключаются.

Величина переходных коэффициентов точно может быть определена только опытным путем посредством одновременного определения расхода вертушкой и поплавками. Поэтому часто принимают их приближенные значения:

$$K \approx 0{,}57, \quad K_1 \approx 0{,}80–0{,}85.$$

Рассчитав расход воды и допустив, что он близок к среднему за эти сутки, мы, используя формулы (2–4), можем получить и другие характеристики речного стока для дня измерения расхода. Однако для определения модуля и слоя стока необходимо знать площадь водосбора, которая достаточно просто определяется по крупномасштабным топографическим картам.

Расчеты для более продолжительных периодов требуют систематических длительных наблюдений, которые выполняются на стационарных гидрологических постах и станциях.

Оборудование постоянного гидрометрического створа и периодические измерения расходов воды в разные сезоны года позволят старшеклассникам получить наглядное представление о колебаниях водности рек во времени.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

Богословский Б. Б. и др. Общая гидрология. Л., 1984.

Быков В. Д., Васильев А. В. Гидрометрия. Л., 1965 (и другие годы издания).

Давыдов Л. К., Дмитриева А. А., Конкина Н. Г. Общая гидрология. Л., 1973.

Михайлов В. Н., Добровольский А. Д. Общая гидрология. М., 1991.

Чеботарев А. И. Общая гидрология. Л., 1975.



Это интересно

В водоемах Карелии аккумулировано 145,2 км^3 воды.

Общее число рек в Карелии (включая карельский перешеек) составляет 26,7 тыс.

Суммарная длина рек Карелии – 83 тыс. км.

В Карелии преобладают реки длиной менее 10 км. Их количество – 25,3 тыс. (95% от общего числа). Общая их протяженность – 52,3 тыс. км (63%).

Только 30 рек в Карелии имеют длину свыше 100 км и относятся к классу средних.

В Карелии лишь 336 водных систем имеют площадь водосбора более 100 км^2, в том числе 51 система с бассейном, превышающим 1000, и пять – 10 000 км^2 (Кемь, Выг, Ковда, Водла, Шуя).

На территории Карелии формируется в среднем за год 49,7 км^3 речного стока (319 тыс. м^3/км^2).

Дополнительно на территорию Карелии из соседних регионов (в основном из Финляндии и Архангельской области) поступает 7,3 км^3/год.

На территории Карелии расположено 61,1 тыс. водоемов (все пресные), из них почти 98% имеют площадь менее 1 км^2.

Суммарная площадь водоемов Карелии – 18 тыс. км^2 (не считая Ладожского и Онежского озер).

Планктонные водоросли как индикаторы качества вод водоемов

Т. А. Чекрыжева

В настоящее время в связи с возрастающим загрязнением пресноводных водоемов ухудшается качество их вод. При отсутствии каких-либо специфических загрязнений фактором, определяющим качество воды, является содержание в ней загрязняющих органических веществ, в зависимости от концентрации которых устанавливают степень загрязненности (сапробность) природных водоемов. Согласно системе сапробности, выделяют зоны загрязнения: полисапробная (очень грязная), мезосапробная (переходная) и олигосапробная (чистая), для каждой из которых характерно присутствие определенных видов-индикаторов.

По составу водорослей качество воды оценивают двумя способами: либо путем выявления индикаторных видов водорослей, либо по результатам сравнительного анализа видовой структуры фитопланктонных сообществ для акваторий с различной степенью загрязнения.

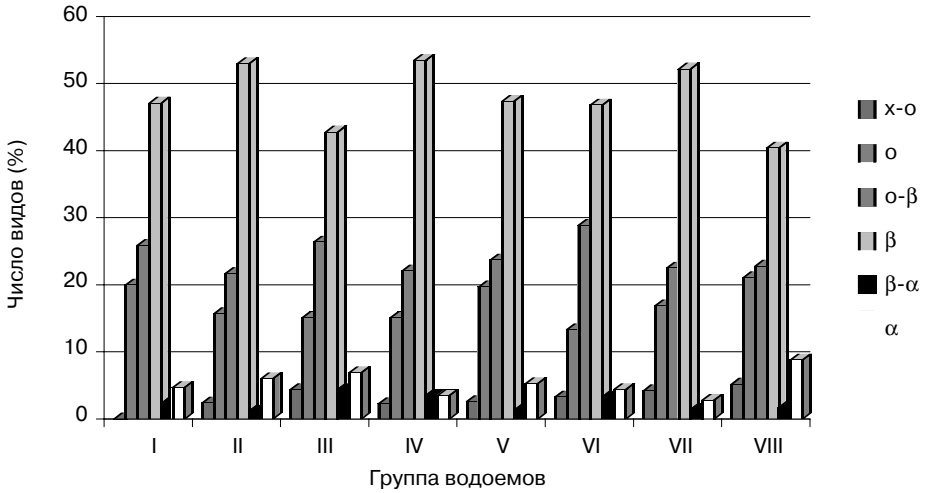
В первом случае для оценки степени сапробности вод определяют индикаторную значимость отдельных видов фитопланктона (Библиографический указатель.., 1974; Вассер и др., 1989) и их численность или биомассу. Затем на основе этих параметров рассчитывают индексы сапробности Пантле – Букка в модификации Сладечека (Унифицированные методы.., 1977; Методы биоиндикации.., 1989). В комплексе с методом Пантле – Букка в модификации Сладечека применяют эколого-санитарную классификацию качества поверхностных вод суши (Оксиюк, Жукинский, 1983; Руководство по методам.., 1983), позволяющую оценить качество вод на основе биомассы фитопланктона и индексов сапробности.

С помощью первого метода оценка качества вод с использованием индикации по видовому составу и биомассе фитопланктона проведена для 44 водоемов (27 озер и 17 рек) Карелии, распределенных по следующим восьми группам: I – озера Вендюрское, Риндозеро и Урос; II – оз. Сямозеро и впадающие в него реки: Кивач, Кудома, Судак, Малая Суна и ручей Имат; III – оз. Пертозеро; IV – озера Суоярви и Исо-Пюхяярви; V – озерно-речная система р. Кеми, включающая озера Нижнее, Среднее и Верхнее Куйто, Койвас, Поппалиярви, Окуневое, Куроярви, Юрикоярви, Роппомо, Панозеро, Аланъярви, Юшкозеро, Юляярви, Хаапаярви, Куроярви, Нижоярви, а также реки: Муезерка, Кемь, Чирка-Кемь; VI – озерно-речные системы Карельского и Поморского побережий Белого моря, включающие озера Сумозеро, Пулозеро, Шуезеро и реки: Шуя (беломорская), Нюхча, Колежма, Сума, Кемь; VII – акватория северного склона Беломорско-Балтийского водного пути, включая затопленные озера Воицкое и Шавань и устья рек: Онда, Летняя и Нижний Выг; VIII – оз. Паанаярви с впадающими в него речками Сова, Селька, Мянтю и реками: Оуланка-Йоки и Оланга.

Для всех изученных водоемов отмечено значительное видовое разнообразие планктонных водорослей, превышающее 500 таксонов (Чекрыжева, 1990). Из всех обнаруженных видов водорослей более 50% являются индикаторами сапробности, большинство из которых (87%) относятся к олигосапробным, олиго-β-мезосапробным и β-мезосапробным формам (рис. 1). Водоросли-показатели очень чистых вод (ксеносапробы и ксеноолигосапробы) малочисленны, в основном это диатомовые (*Bacillariophyta*) – *Achnanthes lanceolata* (Breb.) Grun. *var. lanceolata*, *Ceratoneis arcus* (Ehr.) Kuetz. *var. arcus*, *Eunotia lunaris* (Ehr.) Grun. *var. lunaris*, *Meridion circulare* (Grev.) Ag. *var. circulare*. Видов, характеризующих β-α-сапробные и α-сапробные условия, также немного, но они представляют разные систематические группы: *Aphanizomenon flos-aquae* (Lemm.) Ralfs. *f. flos-aquae, Merismopedia tenuissima* Lemm., *Oscillatoria limosa* Ag. (синезеленые – *Cyanophyta*), *Aulacoseira ambiquae* (Grun.) Simonsen, *Nitzschia angustata* (W. Sm.) Grun. *var. angustata*, *Nitzschia angustata var. acuta* Grun., *Nitzschia acicularis* W. Sm. *var. acicularis, Stephanodiscus hantzschii* Grun. *f. hantzschii* (диатомовые – *Bacillariophyta*), *Cryptomonas ovata* Ehr., *C. reflexa* (Marsson.) Skuja, *C. rostrata* Troitzs. emend. Kiss. (криптофитовые – *Cryptophyta*), виды рода *Ankistrodesmus* (*A. falcatus* (Corda) Ralfs. *var. falcatus, A. pseudomirabilis* Korschik. *var. pseudomirabilis, A. pseudomirabilis* Korschik. *var. spirale*), а также *Crucigenia irregularis* Wille, *Tetraedron incus* (Teil.) G. M. Smith. *var. incus* и другие (зеленые – *Chlorophyta*). Лишь *Chlorella vulgaris* Beijer, также представитель зеленых водорослей, отнесена к поли-α-сапробным формам.

В летние сезоны величина биомассы фитопланктона обследованных рек и озер в среднем не превышала 1 г/м^3, лишь в озерах Суоярви и Сямозеро биомасса достигала 3–4 г/м^3. Рассчитанные индексы сапробности находились в пределах значений 1,0–2,5. Оценка качества воды по видовому составу, уровню биомассы фитопланктона и индексам сапробности выявила олиго-β-мезосапробный характер вод в рассматриваемых водоемах, что позволило отнести их к разряду вполне чистых или слабозагрязненных.

Во многих крупных озерах Карелии существуют обширные зоны, в разной степени загрязненные промышленными (прежде всего отходами целлюлозно-бумажного производства)



Р и с . 1. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ИНДИКАТОРНЫХ ВИДОВ ФИТОПЛАНКТОНА ПО ЗОНАМ САПРОБНОСТИ:

x-o – ксеноолигосапробы, o – олигосапробы, o-β – олиго-β-мезосапробы, β – β-мезосапробы, β-α – β-α-мезосапробы, α – α-сапробы

и бытовыми сточными водами. В этих случаях эффективно использовать второй способ оценки качества вод, основанный на сравнении видовой структуры фитопланктонных сообществ и количественных показателей их развития на акваториях с различной степенью загрязнения. С применением этого метода исследовались закономерности изменения сообществ фитопланктона по градиенту загрязнения в оз. Суоярви и в Кондопожской губе Онежского озера.

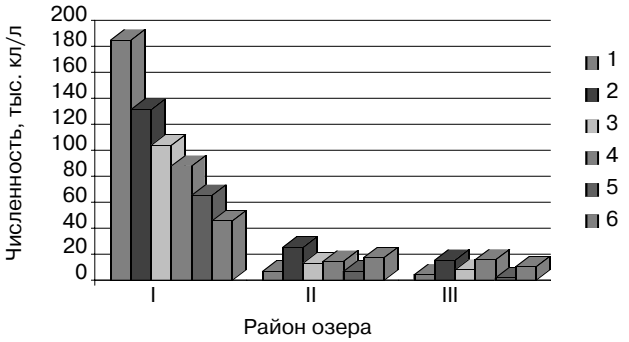
Биоиндикацию по фитопланктону проводили в различающихся по степени загрязнения районах оз. Суоярви (северо-западном – условно чистом, южном – загрязненном промышленными и хозяйственно-бытовыми сточными водами города и промежуточном между двумя первыми). Видовой состав летнего фитопланктона озера богат представителями всех систематических групп водорослей (Чекрыжева, 1991). Проведенные исследования выявили существенные отличия как в видовой структуре, так и в величинах численности и биомассы фитопланктона разных по степени загрязнения зон озера (табл.). Общее число обнаруженных таксонов планктонных водорослей сокращалось по мере загрязнения, причем в различных участках доминировали представители из разных систематических отделов фитопланктона. Так, в условно чистом районе преобладали диатомовые водоросли – *Aulacoseira italica* (Kuetz.) Simonsen *var. italica, A. subarctica* (O. Mull.) Hawort, *Asterionella formosa* Hass. *var. formosa*, *Stephanodiscus astraea* (Ehr.) Grun. *var. astraea* (олиго-β-мезосапробы). В загрязненной зоне доминировали представители криптофитовых водорослей (*Cryptomonas ovata* Ehr., *C. obovata* Skuja, *C. marssonii* Skuja, *C. reflexa* (Marssonii) Skuja, *C. rostrata* Troitzs. emend. Kiss., *Chroomonas acuta* Uterm., *C. breviciliata* Uterm – β-мезосапробы), которые интенсивно вегетируют в водах, содержащих много органических веществ, и поэтому являются индикатором этого вида загрязнений. Численность видов-индикаторов органического загрязнения существенно возрастала в районах, подверженных воздействию промышленных и хозяйственно-бытовых сточных вод города (рис. 2). О различной степени загрязненности изученных участков озера свидетельствуют и значения индекса сапробности, которые варьировали от 1,6 в чистом районе до 2,1 – в загрязненном.

ХАРАКТЕРИСТИКИ ФИТОПЛАНКТОНА РАЗЛИЧНЫХ ПО СТЕПЕНИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ РАЙОНОВ ОЗ. СУОЯРВИ

Район озера	Число видов	Численность, %			Биомасса, %		
		Диатомовые	Криптофитовые	Прочие	Диатомовые	Криптофитовые	Прочие
Чистый	93	85	4,5	10,5	90	7	3
Промежуточный	65	64	17	19	57	36	1
Загрязненный	32	70	22	8	54	47	7

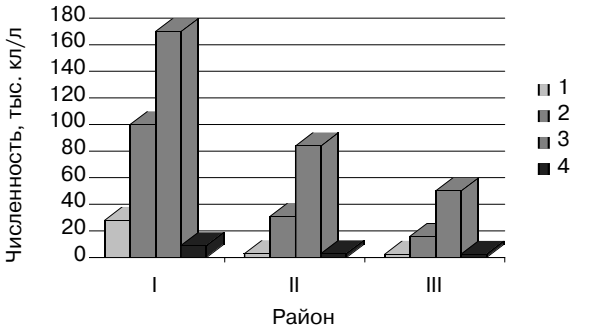
Аналогично описанному был выполнен анализ качества воды акватории Кондопожской губы Онежского озера, до настоящего времени подверженной воздействию сточных вод от рассеивающего выпуска целлюлозно-бумажного комбината (ЦБК). Трансформированные сточные воды распространились по акватории губы, достигая ее центральной части.

Летний фитопланктон этой губы озера таксономически разнообразен, однако на всей ее акватории доминировали диатомовые водоросли, достигая в среднем по численности 90%, а по биомассе – 86% от их суммарных значений. Долевой вклад других групп фитопланктона (синезеленых, золотистых, криптофитовых, динофитовых, зеленых и эвгленовых) был значительно меньшим. Следует также отметить неоднородность распределения



Р и с . 2. ЧИСЛЕННОСТЬ ИНДИКАТОРНЫХ ВИДОВ ФИТОПЛАНКТОНА В РАЗЛИЧНЫХ ПО СТЕПЕНИ ЗАГРЯЗНЕННОСТИ РАЙОНАХ ОЗ. СУОЯРВИ:

I – загрязненный, II – промежуточный, III – чистый.
1 – Cryptomonas obovata, *2 – C. marssonii*, *3 – C. reflexa*, *4 – C. ovata*, *5 – Chroomonas acuta*, *6 – C. breviciliata*



Р и с . 3. ЧИСЛЕННОСТЬ ИНДИКАТОРНЫХ ВИДОВ ФИТОПЛАНКТОНА В РАЗЛИЧНЫХ ПО СТЕПЕНИ ЗАГРЯЗНЕННОСТИ РАЙОНАХ КОНДОПОЖСКОЙ ГУБЫ ОНЕЖСКОГО ОЗЕРА:

I – вершинная часть, II – центральная часть, III – открытый плес. *1* – виды родов *Cryptomonas* и *Chroomonas*, *2 – Chlamydomonas monadina*, *3 – Planctococcus sphaerocystiformis*, *4 – Nitzschia acicularis*

фитопланктона по акватории Кондопожской губы. В частности, биомасса зеленых водорослей была наибольшей в вершинной (более загрязненной) части губы и составляла 12–26% от биомассы всего фитопланктона. В центральном (менее загрязненный) и в открытом (чистый) плесах водоема их относительная значимость уменьшилась до уровня 4–6%. Такой же характер горизонтального распределения отмечен и для криптофитовых водорослей.

Криптофитовые водоросли рр. *Chroomonas* и *Cryptomonas*, которые являются индикаторами органического загрязнения, встречались на всей акватории Кондопожской губы. Но наиболее высокие значения их численности и биомассы отмечены в местах распространения в губе сточных вод ЦБК (рис. 3). Показателями β-мезосапробных условий (по уровню загрязненности вод), помимо названных, считаются *Chlamydomonas monadina* Stein. и *Planctococcus sphaerocystiformis* Korschikov из зеленых, а показателями α-сапробных условий – *Nitzschia acicularis* W. Sm. *var. acicularis* из диатомовых водорослей. В соответствии с этим численность и биомасса перечисленных видов сокращаются от загрязненной вершинной и центральной частей губы к чистым водам ее открытого плеса (рис. 3). Таким образом, анализ пространственного распределения индикаторных видов фитопланктона свидетельствует о все еще продолжающемся загрязнении кондопожских вод, которое вышло за пределы вершинной части губы и распространилось вплоть до ее центрального района.

Оценка качества водной среды в Кондопожской губе с использованием индикаторных организмов по Пантле – Букку в модификации Сладечека показала, что ее воды относятся к классу вод удовлетворительной чистоты.

В заключение отметим, что планктонные водоросли, обладающие высокой чувствительностью к изменению условий окружающей водной среды и являющиеся поэтому индикаторами состояния водоемов, могут быть использованы при оценке качества вод.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

Библиографический указатель по теме «Биологический указатель качества вод» с приложением списка организмов-индикаторов загрязнения. Л., 1974. 53 с.

Вассер С. П., Кондратьева Н. В., Масюк Н. П. и др. Водоросли. Справочник. Киев, 1989. 608 с.

Методы биоиндикации и биотестирования природных вод. Л., 1989. Вып. 2. 276 с.

Оксиюк О. П., Жукинский В. Н. Методические приемы использования эколого-санитарной классификации поверхностных вод суши // Гидробиол. журн. 1983. Т. 19, № 5. С. 63–67.

Руководство по методам гидробиологического анализа поверхностных вод и донных отложений / Под ред. В. А. Абакумова. Л., 1983. 50 с.

Унифицированные методы исследования качества вод. Ч. III. Методы биологического анализа вод. Атлас сапробных организмов. М., 1977. 227 с.

Чекрыжева Т. А. Видовой состав фитопланктона некоторых озер и рек Карелии. Петрозаводск, 1990. 39 с.

Чекрыжева Т. А. Фитопланктон // Поверхностные воды озерно-речной системы Шуи в условиях антропогенного воздействия. Петрозаводск, 1991. С. 122–126.

ИЗ ОПЫТА МОЛОДЫХ КОЛЛЕГ 121

Географические методы и средства обработки космической информации

А. А. Коросов

ВВЕДЕНИЕ

Дистанционное зондирование Земли эффективно используется с 1965 г. при решении задач экологии, геологии, лимнологии, при исследовании климата, для предсказания погоды и предотвращения катастроф (Крэкнелл, 1984). Оно позволяет получать точную оперативную информацию о состоянии атмосферы, земной поверхности, водных объектов. Приоритетными направлениями использования космических снимков можно считать мониторинг состояния лесов (Исаев, 1991; Литинский, Громцев, 1999) и водных объектов (Кудрицкий, 1950; Филатов, 1989), оценку природных ресурсов (Кондратьев, 1992; Скатерщиков, 1999), разработку географических и геологических информационных систем (Филатов, 1997; Сыстра, 2000).

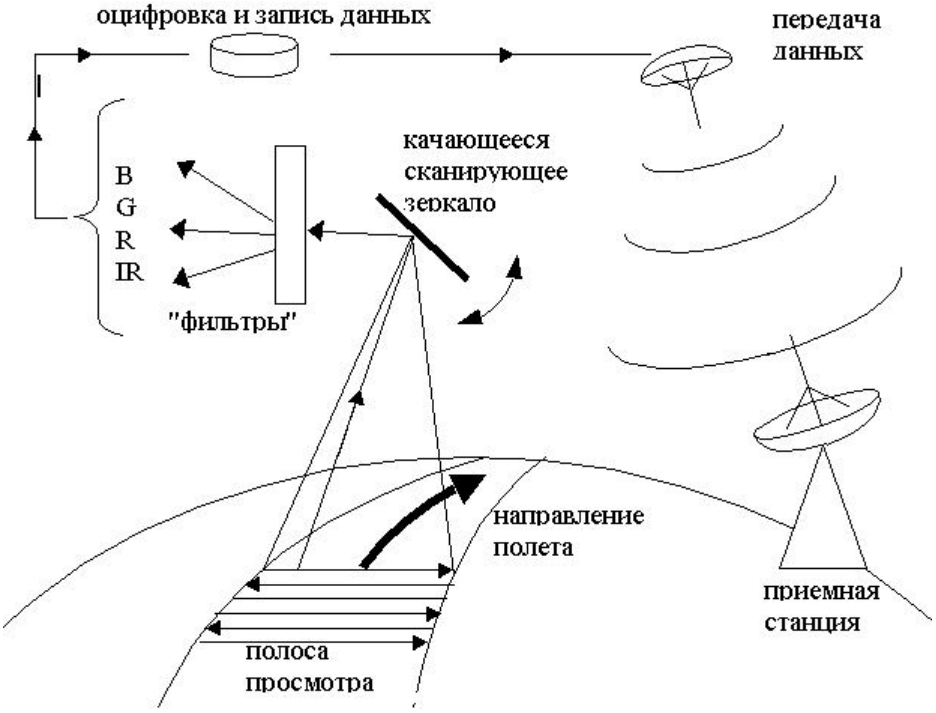
Развитие компьютерной индустрии – увеличение быстродействия компьютеров, разработка новых программных средств, обеспечение высокоскоростной связи между компьютерами – повлияло на распространение использования космических снимков, данные дистанционного зондирования стали доступны не только военным ведомствам, но и научно-исследовательским институтам и университетам. В настоящее время в Карельском научном центре РАН для учета природных ресурсов, составления кадастров лесов, водных объектов, болот, составления геологических и топографических карт используются космические снимки среднего разрешения всей республики и снимки высокого разрешения отдельных территорий.

ПОЛУЧЕНИЕ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

Данные зондирования Земли из космоса проходят долгий путь, прежде чем предстать перед нами в виде космических снимков. Получение, преобразование и передача этих данных на Землю с искусственных спутников Земли (ИСЗ) существенно влияют на конечный результат. Систему получения информации из космоса можно условно разделить на два уровня. Это аппаратный и программный уровни. Схематически получение данных дистанционного зондирования изображено на рис. 1.

Первый этап – регистрация сигнала с Земли сенсорами спутника. Спутник летит над Землей на расстоянии в несколько сотен километров, его орбита может быть выбрана таким образом, что пролеты северного направления происходят ночью, а южного – днем. Спутник может находиться и на солнечно-синхронной орбите, при этом он производит съемку местности, которая освещена Солнцем на одинаковой высоте от горизонта. Спутник пролетает над тем же самым местом только через несколько дней, период пролета спутника зависит от высоты полета и от угла наклона орбиты к экватору. Кроме того, существуют спутники на геостационарных орбитах – их угловая скорость совпадает со скоростью вращения Земли, и они находятся над одним и тем же местом.

На спутниках, которые исследуют ресурсы природы, расположено несколько датчиков,



Р и с . 1. СХЕМА ПОЛУЧЕНИЯ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

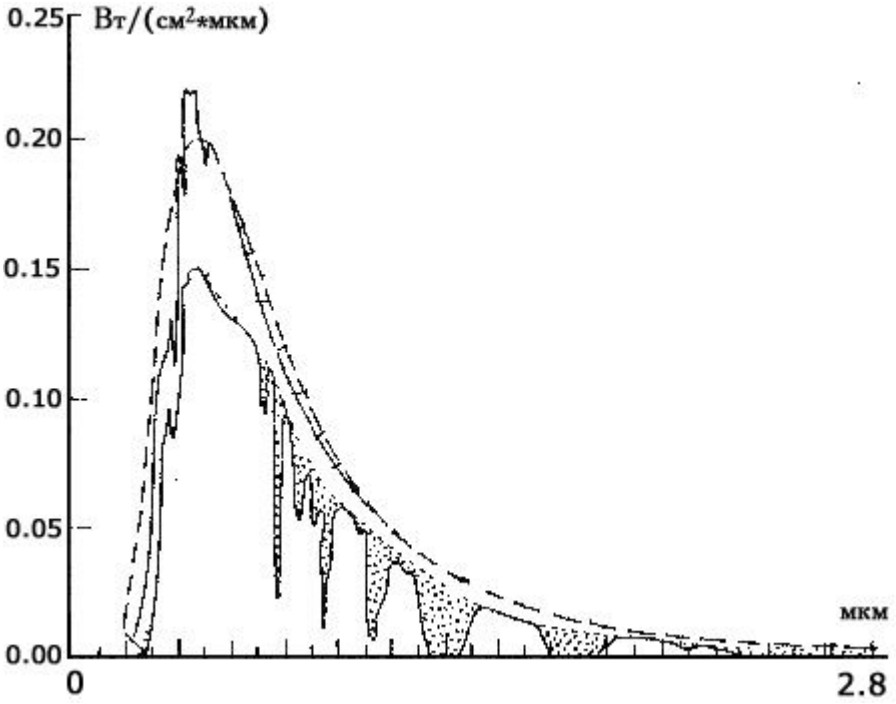
которые чувствительны к излучению в определенном диапазоне длин волн. Совокупность таких датчиков называется многоканальным сканирующим устройством (МСУ). В настоящее время сканерные методы получения информации позволяют осуществить съемку в широком диапазоне спектра – от ультрафиолетового до инфракрасного. Электромагнитное излучение, отражаемое или испускаемое объектами ландшафта, захватывается оптической системой сканера и фокусируется на детекторах. Они преобразуют падающее на них излучение в электрический сигнал, который записывается в память в аналоговом или цифровом виде. Передача данных на Землю может осуществляться в режиме реального времени или в определенные сеансы, для этого информация на спутнике записывается на пленку. Прием данных зондирования со спутника ведется на радиочастотах.

ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЗОНДИРОВАНИЯ ПОКРОВА ЗЕМЛИ С ИСЗ

Решение задач дистанционного зондирования поверхности Земли и ее растительного покрова основывается на измерении с космических носителей количественных характеристик электромагнитного излучения. К ним относятся трансформированная атмосферой и отраженная от поверхности Земли солнечная радиация и собственное тепловое излучение земной поверхности и атмосферы. Солнце – главный источник энергии электромагнитного излучения. При температуре поверхности около 6000 К оно излучает непрерывный спектр энергии от ультрафиолетового до инфракрасного диапазона. Максимум энергии солнечного излучения приходится на 0,47 мкм. В ультрафиолетовой области оно резко убывает, а в инфракрасной распространяется в виде пологой кривой (рис. 2). Солнечная радиация, проникнув через атмосферу и достигнув поверхности Земли, частично отражается, а частично поглощается расположенными на поверхности планеты природными объектами.

Естественные природные поверхности, такие как растительность, скальные обнажения, почвы, водные поверхности, имеют в области видимого, инфракрасного и микроволнового излучения свой особый характеристический спектр отраженного, поглощенного или вторичного теплового излучения. Для дистанционного зондирования важно знать отражательные и поглощающие свойства поверхности планеты. Для оценки состояния объекта необходимо изучить, как изменяются спектры поглощения этих объектов в зависимости от сезона, от фазы вегетации, от влажности.

Нагретая поверхность Земли, теплые поверхностные воды, почвы и растительность отдают тепло в виде инфракрасного (ИК) излучения. При средней температуре поверхности земли 290 К максимум ее вторичного теплового излучения приходится на 9,7 мкм. Тепловыми датчиками, установленными на спутнике или самолете, может быть зарегистрировано тепловое излучение в широком диапазоне: 3,0–40 мкм. Однако атмосфера пропускает излучение только в двух узких зонах спектра: 3,5–5 и 8–12 мкм. Таким образом, исследования из космоса можно проводить только в



Р и с . 2. КРИВАЯ РАСПРОСТРАНЕНИЯ СОЛНЕЧНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

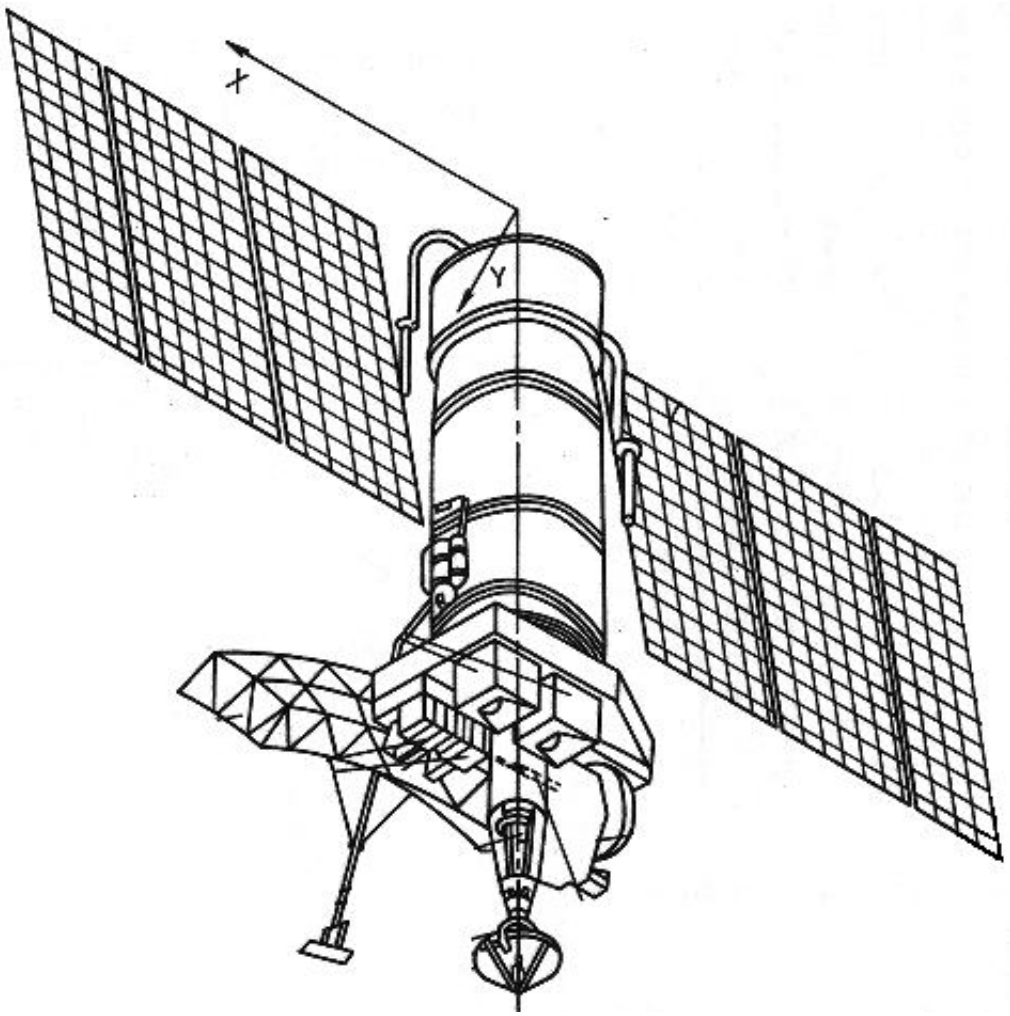
«окнах прозрачности» атмосферы: в видимой и ближней ИК областях, в узких участках тепловой ИК области спектра и в СВЧ-диапазоне от миллиметровых до дециметровых волн.

При взаимодействии с содержащимися в атмосфере частицами пыли, дыма, кристалликами льда, каплями воды процессы рассеяния и поглощения энергии уменьшают интенсивность солнечной радиации у поверхности Земли и меняют диапазон вторичного излучения или отражения. Электромагнитные волны длиной меньше 0,27 мкм полностью поглощаются озоном и не могут быть использованы для дистанционного зондирования. Наибольшее количество информации о различных типах природных образований позволяют получать видимая и ближняя ИК зона спектра. К основным недостаткам измерений в этих областях спектра относятся сильная зависимость результатов от атмосферной дымки, водяного пара в атмосфере, а также возможность проводить съемку только при освещении поверхности Земли Солнцем. Последний недостаток может быть решен при использовании в качестве источника света специально разработанных лазерных систем активного зондирования.

При аэрокосмических съемках растительности, почвы и других природных покровов Земли исходят из того, что спектральные отражательные свойства природных образований характеризуются спектральным альбедо. Спектральное альбедо, наряду с такими параметрами, как температура поверхности океана, общее содержание и вертикальное распределение в атмосфере водяного пара, озона, углекислого газа, прозрачность атмосферы, относится к числу наиболее существенных метеорологических параметров, измерение которых из космоса дает возможность создать глобальную систему слежения за параметрами атмосферы и подстилающей поверхностью. Такая система позволяет не только систематически изучать разнообразные свойства атмосферы, океана, суши и ледяного покрова, но и использовать эти данные для долгосрочного прогноза погоды.

ИСКУССТВЕННЫЕ СПУТНИКИ ЗЕМЛИ

Данные зондирования Земли из космоса используются уже более 30 лет. Первый специализированный ИСЗ для изучения природных ресурсов Земли – американский спутник ERTS-I Landsat – был запущен 27 июля 1972 г. на солнечно-синхронную орбиту с такими параметрами: апогей – 920 км, период обращения – 103 мин. На борту ERTS-I была установлена МСУ MSS, имеющая 4 спектральных диапазона. С высоты 910 км она обеспечивала просмотр полосы шириной 185 км с разрешением на местности 80 м. Солнечно-синхронная орбита обеспечивала возможность многократной съемки одних и тех же районов Земли при одинаковом угле возвышения Солнца с повторяемостью 18 сут. В режиме прямой передачи MSS на борту ERTS-I проработала в течение нескольких лет, показав возможность изучения природных ресурсов и высокую экономическую эффективность. Фрагмент космического снимка о. Кижи, полученный в июле 2001 г., представлен на рис. 3 (вклейка).



Р и с . 4. ИСЗ «РЕСУРС-О»

Советская экспериментальная программа изучения природных ресурсов Земли с помощью спутников-автоматов началась в 1974 г. запуском экспериментального ИСЗ «МЕТЕОР», оснащенного многоспектральным радиотелевизионным комплексом, включающим два многоканальных сканирующих устройства малого (МСУ-М) и среднего (МСУ-С) разрешения. В настоящее время в России активно используются данные с ИСЗ «Ресурс-О» (рис. 4) и «Ресурс-Ф».

Научно-информационный комплекс ИСЗ «Ресурс-О» № 4 включает следующие приборы:

– Многоспектральное сканирующее устройство высокого разрешения МСУ-Э (2 комплекта) для получения изображений поверхности Земли в видимом и ближнем инфракрасном диапазоне спектра с разрешением около 30 м.

– Многоспектральное сканирующее устройство среднего разрешения МСУ-СК (2 комплекта) для получения изображений облачности и подстилающей поверхности в видимом и инфракрасном диапазоне спектра с разрешением около 160 м.

– Телевизионная аппаратура МР-900М для получения и непосредственной передачи изображений облачности и подстилающей поверхности в видимом и ближнем инфракрасном диапазоне спектра с разрешением 1,6 х 1,8 км.

– Комплекс РМК-М для контроля радиационной обстановки.

– Измеритель ИСП-2 для контроля солнечной постоянной.

– Многоспектральный сканирующий радиометр СРРБ для измерений составляющих радиационного баланса Земли (Франция).

– Малогабаритный телескоп НИНА для измерений характеристик потоков заряженных частиц (Италия).

Безусловным лидером среди данных дистанционного зондирования по-прежнему являются данные с американских метеорологических спутников серии NOAA, существующих с 1978 г. Данные радиометра с этого спутника обладают высоким спектральным разрешением 1 км и возможностью калибровки информации. Очередной спутник NOAA-16 был запущен в 2000 г. Данные радиометрической съемки высокого спектрального разрешения используются для

Область применения	Пример применения
Метеорология	Развитие погодных систем Прогноз погоды
Климатология	Контроль климатических изменений
Океанография	Температуры морской поверхности Картографирование морского льда Контроль загрязнения нефтью
Изучение прибрежных зон	Контроль загрязнения сточными водами
Земледелие и лесное хозяйство	Землепользование Оценка лесных угодий Оценка болот, лугов, возделанных земель Оценка величины урожая
Стихийные бедствия	Наводнения, землетрясения, извержения вулканов, подземные пожары каменного угля, лесные пожары

определения температуры суши, температуры поверхности моря, выявления пожаров, изменения вегетационного индекса, наблюдения за облачными, снежными и ледовыми покровами. На рис. 5 (вклейка) представлен космический снимок Белого моря. О температуре воды можно судить по яркости поверхности моря.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

Космические сканеры среднего разрешения прочно заняли свое место в таких задачах, как регистрация мест, пройденных крупными лесными пожарами. Получение многоспектрального изображения подстилающей поверхности позволяет получать данные о состоянии акваторий и растительности, решении гидрологических и мелиоративных задач, при изучении ледового и снежного покрова и задач геологии. Некоторые примеры использования данных дистанционного зондирования приведены в таблице.

В настоящее время в Институте водных проблем Севера Карельского научного центра РАН под руководством Н. Н. Филатова проводятся работы с космическими снимками со спутников серии NOAA, прибор AVHRR. По данным зондирования исследуются физические параметры (температура, скорость течений) вод Белого моря, Ладожского и Онежского озер, Финского залива. Ранее были проведены работы по локализации болот на космических снимках. Планируется использование данных ДЗ для уточнения карт и кадастра озер Республики Карелия до масштаба 1 : 100 000.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

Исаев А. С. Аэрокосмический мониторинг лесов. М., 1991. 234 с.

Кондратьев К. Я. Итоги науки и техники. Атмосфера, океан, космос, программа «Разрезы». Т. 14. М., 1992. 274 с.

Крэкнелл А. П. Дистанционное зондирование в метеорологии, океанографии и гидрологии. М., 1984. 535 с.

Кудрицкий Д. М. Основы гидрографического дешифрирования аэрофотоснимков. Л., 1950. 200 с.

Литинский П. Ю., Громцев А. Н. Выявление коренных лесов с использованием сканерных снимков // Коренные леса таежной зоны Европы. Петрозаводск, 1999. С. 88–89.

Скатерщиков С. Космическая съемка, ГИС, мониторинг и наша жизнь // ArcReview. 1999. № 4. С. 4–5.

Сыстра Ю. Й. Роль геологических факторов в формировании и сохранении биологического разнообразия Фенноскандии // Сохранение биологического разнообразия Фенноскандии: Тез. докл. Петрозаводск, 2000. С. 92–94.

Филатов Н. Н. Введение в спутниковую лимнологию. Петрозаводск, 1989. 42 с.

Филатов Н. Н. Географические Информационные Системы. Петрозаводск, 1997. 88 с.

СРАВНЕНИЕ РАЗЛИЧНЫХ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ВОДЫ ПО БЕНТОСНЫМ СООБЩЕСТВАМ

Д. С. Юдина

Хозяйственная деятельность человека оказывает значительное влияние на водные объекты Карелии. Одним из факторов антропогенного воздействия, изменяющих качество природных вод, являются сточные воды животноводческих комплексов.

Существуют различные методы биологической оценки качества воды. Оценка по

организмам макрозообентоса имеет свои преимущества. Она удобна, информативна и надежна. Это связано с рядом особенностей бентосных организмов. Так, продолжительность их жизненных циклов по сравнению с планктонными организмами существенно больше. Кроме того, донные беспозвоночные в основном ведут оседлый образ жизни, что дает возможность характеризовать экологическое состояние конкретных участков водоема или водотока. Изменения, которые происходят в донных биоценозах, отражают характер и степень загрязнения как водных масс, так и донных отложений. Из всех сообществ гидробионтов именно зообентос наиболее стабилен в пространстве и времени (Бертокс, Радд, 1980; Яковлев, 1988; Михайлина, 2000).

А. В. Макрушин (1974) выделяет три основные группы методов оценки качества вод: оценка степени загрязнения по индикаторным организмам, по видовому разнообразию и по их совокупности. Каждая из групп содержит множество индексов, систем и их модификаций. Среди этого обилия возникает потребность выбора наиболее оптимального и соответствующего конкретному региону, водному объекту и целям исследования.

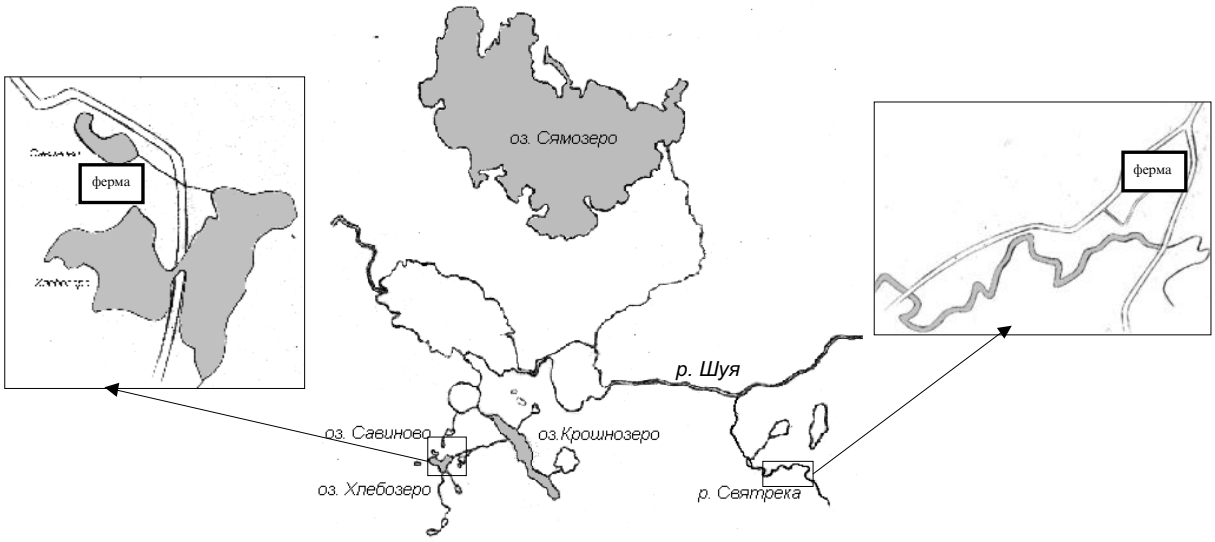
Целью данной работы является выбор наиболее подходящего индекса или системы индексов для точного и адекватного описания изменений, происходящих в водных объектах под воздействием сточных вод с животноводческих ферм.

Оценка качества воды осуществлялась на основе исследования сообществ макрозообентоса на выбранных станциях. Сбор донной фауны проводился в течение весенне-летнего периода 2001 г. Для отбора бентосных проб использовался дночерпатель Экмана – Берджи. Изучались бентосные сообщества вблизи сброса сточных вод звероводческой фермы в р. Святреку и скотоводческой фермы в оз. Савиново (оба хозяйства расположены в Пряжинском районе Республики Карелия), а также в точках ниже и выше по течению от фермы на р. Святреке и в оз. Хлебозеро, связанном протокой с оз. Савиново. На рис. 1 показано расположение изучаемых водоемов в бассейне р. Шуи. Камеральная обработка проб проводилась по стандартным методикам (Жадин, 1956). При определении видов хирономид использовались определители А. А. Черновского (1949) и В. Я. Панкратовой (1970, 1977, 1983).

Наиболее полный перечень индексов оценки качества воды приводится в монографии А. В. Макрушина «Биологический анализ качества вод» (1974), достаточно обширный – в «Методических рекомендациях...» (1989). На основании этих публикаций нами были отобраны индексы, наиболее часто применяемые и рекомендуемые для анализа оценки качества вод в европейской части России. Перечень избранных индексов и метод их расчета указаны в табл. 1.

Помимо этого был использован сравнительно недавно предложенный индекс интегральной оценки качества воды (Балушкина, 1997) – интегральный показатель.

Дальнейшим шагом было выделение индекса или группы индексов, которые позволили бы всесторонне оценить степень антропогенного воздействия животноводческих ферм. Каждый из выбранных индексов, за исключением интегрального показателя, основан на какой-то одной особенности водного сообщества. Поступление сточных вод животноводческих ферм в водоем вызывает специфичные для органического загрязнения изменения макрозообентоса. При этом различные стороны функционирования его, описываемые конкретными индексами, могут различаться по степени своего изменения. В связи с этим выявление приемлемого метода индексной оценки базируется на определении особенности сообщества, наиболее



Р и с. 1. СХЕМА РАЗМЕЩЕНИЯ ИССЛЕДУЕМЫХ ВОДОЕМОВ И ЖИВОТНОВОДЧЕСКИХ ФЕРМ (ФЕРМЫ КРУПНОГО РОГАТОГО СКОТА С. САВИНОВО И ПРЯЖИНСКОЙ ЗВЕРОФЕРМЫ)

Таблица 1

ПЕРЕЧЕНЬ ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИНДЕКСОВ И МЕТОДЫ ИХ РАСЧЕТА

Индекс	Уравнение	Условные обозначения
Биотический индекс Вудивисса (Woodiwiss, 1964)	Выводится из приводимой таблицы	BI – индекс Вудивисса
Индекс сапротаксобности (Яковлев, 1988)	$St = \Sigma (St_i \cdot n_i) / \Sigma (n_i)$	St – индекс сапротаксобности n_i – число особей всех индикаторных видов
Индекс видового разнообразия Шеннона – Уивера (Shannon, 1948)	$H = -\Sigma (n_i / N) \log (n_i/N)$	H – индекс видового разнообразия n_i – число особей i-го вида N – число всех особей в пробе
Индекс Балушкиной (Балушкина, 1976)	$K = (a_t + 0{,}5a_{ch}) / a_o$	K – индекс Балушкиной a_t – численность хирономид подсемейства *Tanypodinae* a_{ch} – численность хирономид подсемейства *Chironominae* a_o – численность хирономид подсемейства *Orthocladiinae*
Олигохетный индекс Гуднайта и Уитлея (Goodnight, Whitley, 1961)	D = No / N	D – олигохетный индекс No – численность олигохет N – численность всех организмов в пробе
Интегральный показатель (Балушкина, 1997)	IP = BI + St + K + D	IP – интегральный показатель
Индекс обилия Макэрлина (McErleen, 1973)	Io = (S – 1)ln N	Io – индекс обилия S – число видов N – число особей
Индекс загрязнения Кноппа (Knopp, 1954)	$Ik = (o + \beta) / (o + \alpha + \beta + p)$	Ik, Ix – индексы загрязнения o – олигосапробные, β – β-мезосапробные, α – α-мезосапробные, p – полисапробные виды
Индекс загрязнения Хэллауэла (1977)	$Ix = (Su + Sm)/Su \cdot 100$	Su – число видов выше места стока Sm – число видов, которых нет на нижней станции
Индекс сравнения Серенсена (Sorensen, 1948)	Is = 2C/ A + B	Is – индекс сравнения Серенсена A, B – число видов в сообществах A и B, C – число общих видов

Примечание. McErleen, 1973 и Knopp, 1954 – цит. по: Методические рекомендации.., 1989.

Таблица 2

СООТНОШЕНИЯ МЕЖДУ ЗНАЧЕНИЯМИ ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИНДЕКСОВ, РАЗРЯДАМИ КАЧЕСТВА ВОДЫ И ЗОНАМИ САПРОБНОСТИ

	Разряд качества воды								
	Чистая				Загрязненная			Грязная	
	предельно	очень	вполне	достаточно	слабо	умеренно	сильно	весьма	предельно
Зоны сапробности	олиго-			β-мезо-		α-мезо-		полисапробная	
Класс качества	I			II		III		IV	
	Градации индексов, усл. ед.								
BI	10	9	8	7	6	5	4–3	2	1
St	1–1,4			1,5–2,4		2,5–3,4		3,5–4	
H	> 1,8			1,8–1,4		1,3–0,8		0,7 и <	
K	0,14–1,07			1,08–6,4		6,5–8,9		9–11,5	
D	1–16		17–33		34–50		51–67	68–84	85–100
IP	32,22–116,89			116,90–211,99		212,00–295,75		295,76–400	
Io	0								
Ik	10								

Примечание. BI – индекс Вудивисса; St – индекс сапротаксобности; H – индекс видового разнообразия; K – индекс Балушкиной; D – олигохетный индекс; IP – интегральный показатель; Io – индекс обилия Макэрлина; Ik – индексы загрязнения Кноппа (Яковлев, 1988; Методические рекомендации.., 1989; Абакумов, 1992; Балушкина, 1997).

чувствительной к рассматриваемому примеру органического загрязнения.

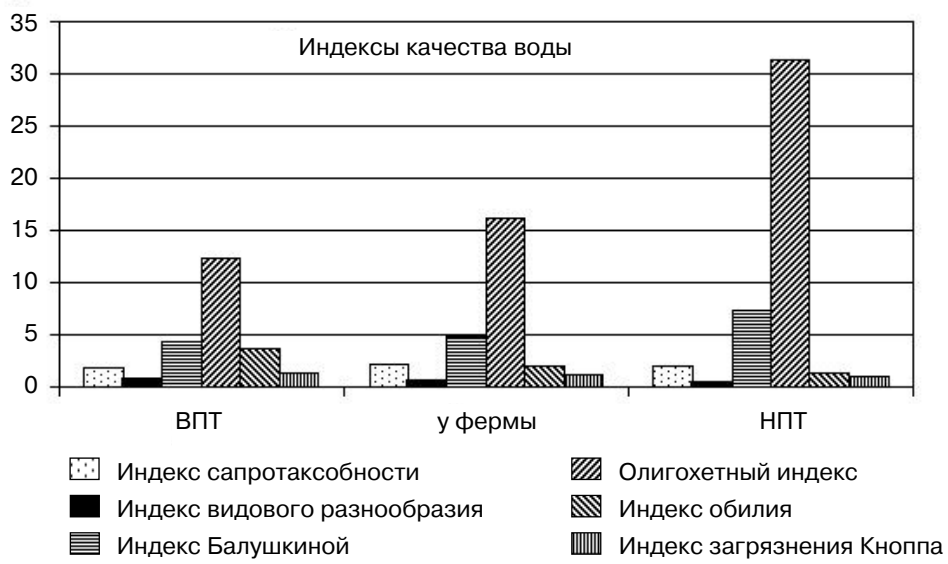
Определенный интерес представляет интегральный показатель Балушкиной, который включает несколько индексов биологической оценки (индекс сапротаксобности Яковлева, биотический индекс Вудивисса, индекс Гуднайта и Уитлея и индекс Балушкиной) и, таким образом, нацелен на то, чтобы максимально учесть характеристики донного сообщества и специфику антропогенного воздействия.

Соответствие величин разных индексов разрядам и классам качества воды и приведены в табл. 2.

На рис. 2 и 3 показаны различия, которые имелись между загрязняемыми и фоновыми участками исследованных водных объектов при оценке их разными индексами качества воды.

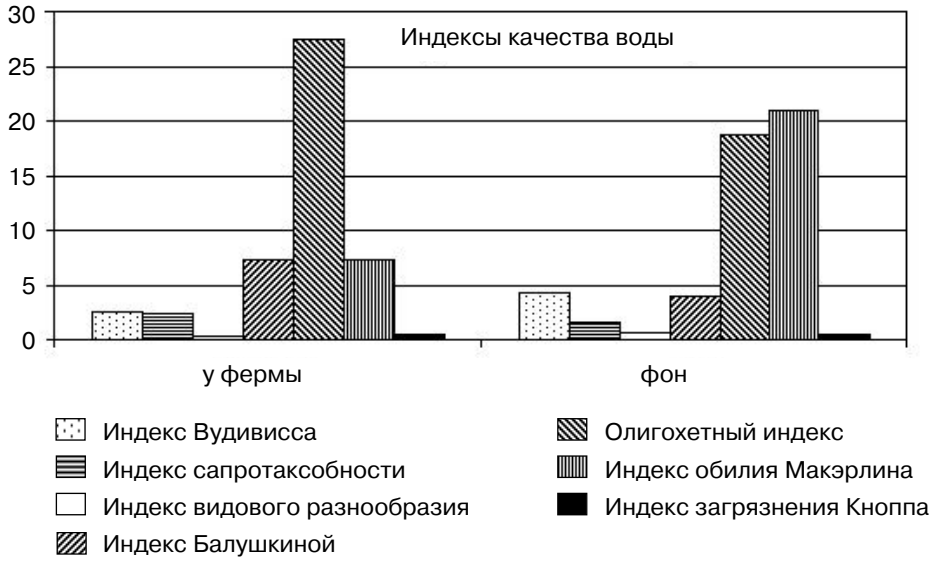
Изменение величин выбранных индексов качества воды на исследованных водных объектах позволило выявить наиболее приемлемые из них для оценки изменений в водоеме в результате загрязнения животноводческими сточными водами (табл. 3, 4).

Сравнение изменения абсолютных величин каждого из использованных индексов показало, что каждый из них позволил выявить наличие загрязнения. При переходе от фонового участка к загрязняемому отмечается соответствующее снижение или повышение их значений в зависимости от логики каждого индекса. Так, на Святреке наблюдалось уменьшение величины биотического индекса, повышение сапротаксобности, снижение видового разнообразия, обилия видов (по соответствующим индексам), возрастала величина индекса Балушкиной (т. е. увеличивалась доля хирономид, наиболее устойчивых к загрязнению), олигохетного индекса; индекс загрязнения также



Р и с. 2. ЗНАЧЕНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ИНДЕКСОВ КАЧЕСТВА ВОДЫ НА СТАНЦИЯХ Р. СВЯТРЕКИ:

ВПТ – участок выше по течению от фермы; НПТ – участок ниже по течению от фермы



Р и с. 3. ЗНАЧЕНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ИНДЕКСОВ КАЧЕСТВА ВОДЫ НА СТАНЦИЯХ ОЗ. САВИНОВО

Таблица 3

ИЗМЕНЕНИЕ ЗНАЧЕНИЙ ИНДЕКСОВ НА ЗАГРЯЗНЯЕМЫХ УЧАСТКАХ Р. СВЯТРЕКИ ОТНОСИТЕЛЬНО ФОНОВОГО

Индекс	Степень изменения значения индекса, раз	
	ВПТ и у фермы	ВПТ и НПТ
Индекс Вудивисса	–1,05	+1,10
Индекс сапротаксобности	+1,09	+1,03
Индекс видового разнообразия	–1,30	–1,57
Индекс Балушкиной	+1,82	+1,61
Олигохетный индекс	+1,41	+3,42
Интегральный показатель	+1,27	+1,22
Индекс обилия Макэрлина	–1,49	–2,08
Индекс загрязнения Кноппа	+1,12	+1,02

Примечание. + (-) – наблюдается увеличение (уменьшение) абсолютного значения соответствующего индекса в загрязняемом участке по сравнению с «чистым» участком; ВПТ – участок выше по течению от фермы; НПТ – участок ниже по течению от фермы.

возрастал. Наибольшая разница между участком выше по течению и участками в районе и ниже зоны потенциального загрязнения наблюдалась в значениях по олигохетному показателю (увеличение в 1,41 и 3,42 раза соответственно) и по индексу обилия Макэрлина (уменьшение в 1,76 и 2,08 раза соответственно). Самые низкие различия в значениях были отмечены для сапротаксобного индекса (увеличение в 1,09 от участка выше по течению реки от фермы к точке у фермы и в 1,03 раза от участка выше по течению реки от фермы к участку ниже по течению). Степень изменения значений интегрального показателя была невысокой от фоновой точки (выше по течению) по сравнению с точкой у фермы (увеличение в 1,04 раза), но по сравнению с участком ниже по течению она была более существенной – наблюдалось ее увеличение в 1,33 раза.

Таким образом, наиболее глубокие изменения при переходе от фоновой точки к загрязняемым на Святреке показали олигохетный индекс и индекс обилия Макэрлина; интегральный показатель дал более низкую оценку различий.

Для индексной оценки вод оз. Савиново характерна аналогичная тенденция, т. е. самыми высокими были различия загрязняемых участков по сравнению с фоном по олигохетному индексу. Остальные использованные индексы давали разную степень изменения при загрязнении, но практически все из них позволяли выявить наличие влияния ферм на водоем.

Таблица 4

ИЗМЕНЕНИЕ ЗНАЧЕНИЙ ИНДЕКСОВ НА ЗАГРЯЗНЯЕМОЙ СТАНЦИИ ОЗ. САВИНОВО ОТНОСИТЕЛЬНО ФОНОВОЙ

Индекс	Степень изменения значения индекса, раз
Индекс Вудивисса	–1,72
Индекс сапротаксобности	+1,58
Индекс видового разнообразия	–2,12
Индекс Балушкиной	+1,79
Олигохетный индекс	+1,46
Интегральный показатель	+1,70
Индекс обилия Макэрлина	–2,89
Индекс загрязнения Кноппа	–1,16

Примечание. + (-) – наблюдается увеличение (уменьшение) абсолютного значения соответствующего индекса в загрязняемом участке по сравнению с «чистым» участком.

ВЫВОДЫ

1. Среди известных на настоящий момент методов оценки качества вод для изучения органического загрязнения животноводческими фермами из наиболее часто применяемых, удобных и подходящих для условий Севера индексов целесообразно использовать следующие: биотический индекс Вудивисса, индекс сапротаксобности, индекс Балушкиной, олигохетный индекс Гуднайта и Уитлея, индекс видового разнообразия Шеннона – Уивера, индекс обилия Макэрлина. Для целей унифицирования оценки изменений качества вод при органическом загрязнении животноводческими фермами также можно применять интегральный показатель.

2. Каждый из перечисленных индексов, в том числе интегральный показатель Балушкиной, в зоне влияния животноводческой фермы показывал изменение в сторону ухудшения качества воды.

3. Сравнение абсолютных величин перечисленных индексов позволяет количественно описать изменения биологической системы под воздействием органического загрязнения. В нашем случае наиболее высокую степень изменения показали олигохетный индекс и индекс обилия Макэрлина.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

Абакумов В. А. Руководство по гидробиологическому мониторингу пресноводных экосистем. Л., 1992.

Алимов А. Ф. Введение в продукционную гидробиологию. Л., 1989. С. 130–133.

Балушкина Е. В. Хирономиды как индикаторы степени загрязнения воды // Методы биологического анализа пресных вод. Л., 1976. С. 106–118.

Балушкина Е. В. Применение интегрального показателя для оценки качества вод по структурным характеристикам донных сообществ // Реакция озерных экосистем на изменение биотических и абиотических условий. СПб., 1997. С. 266–292.

Батурина М. А. Использование группы малощетинковых червей для биологической оценки качества поверхностных вод (на примере р. Ухта) // Вестник Института биологии Коми НЦ УрО РАН. Сыктывкар, 2000. № 12 (38). С. 8–10.

Бертокс П., Радд Д. Стратегия защиты окружающей среды от загрязнений. М., 1980. С. 68.

Браун В. Н. Рыбы как индикаторы качества воды // Научные основы контроля качества поверхностных вод по гидробиологическим показателям. Л., 1977. С. 162–175.

Винберг Г. Г. Сравнительная оценка гидробиологических методов контроля качества вод // Проблемы зоологии. Л., 1976. С. 16–19.

Винберг Г. Г., Алимов А. Ф., Балушкина Е. В. и др. Опыт применения разных систем биологической индикации загрязнения вод // Научные основы контроля качества поверхностных вод по гидробиологическим показателям. Л., 1977. С. 124–131.

Вудивисс Ф. Биотический индекс р. Трент. Макробеспозвоночные и биологическое обследование // Научные основы контроля качества поверхностных вод по гидробиологическим показателям. Л., 1977. С. 132–161.

Жадин В. И. Методика изучения донной фауны водоемов и экосистем донных беспозвоночных // Жизнь пресных вод СССР. М., 1956. Т. 4, вып. 14. С. 279–382.

Макрушин А. В. Биологический анализ качества вод. Л., 1974. 61 с.

Методические рекомендации по изучению режима малых рек. Петрозаводск, 1989. С. 34–37.

Кузьмина Я. С. Личинки хирономид реки Ухта в условиях антропогенного загрязнения // Биологические последствия хозяйственного освоения водоемов Европейского Севера. Сыктывкар, 1995. С. 78–90.

Кухарев В. И. Сообщества макрозообентоса как индикаторы качества вод малых рек Карелии: Автореф. дис. … канд. биол. наук. Л., 1991. 26 с.

Михайлина Т. П. Макрозообентос рек южной части бассейна Ладожского озера в условиях антропогенного воздействия: Автореф. дис. … канд. биол. наук. СПб., 2000. С. 9–50.

Панкратова В. Я. Личинки и куколки комаров подсемейств Orthocladiinae фауны СССР (Diptera, Chironimidae = Tendipedidae). Л., 1970. 344 с.

Панкратова В. Я. Личинки и куколки комаров подсемейств Podonominae и Tanypodinae фауны СССР (Diptera, Chironimidae = Tendipedidae). Л., 1977. 154 с.

Панкратова В. Я. Личинки и куколки комаров подсемейств Chironominae фауны СССР (Diptera, Chironimidae = Tendipedidae). Л., 1983. 296 с.

Попченко В. И. Экологические модификации сообществ зообентоса в условиях загрязнения водных систем // Экологические модификации и критерии экологического нормирования. Л., 1991. С. 144–151.

Стенина А. С. Индикация качества вод тундровых озер по диатомовым водорослям перифитона // Биоиндикация состояния природной среды Воркутинской тундры. Сыктывкар, 1996. С. 63–74.

Яковлев В. А. Оценка качества поверхностных вод Кольского Севера по гидробиологическим показателям и данным биотестирования: Практические рекомендации. Апатиты, 1988. 27 с.

Хеллауэл Д. Н. Сравнительный обзор методов анализа данных в биологическом надзоре // Научные основы контроля качества вод по гидробиологическим показателям. Л., 1977. С. 108–123.

Черновский А. А. Определитель личинок комаров семейства Tendipedidae. М.; Л., 1949. 186 с.

Goodnight C. J., Whitley L. S. Oligochaetes as indicators of pollution // Proc. 15th Ind. Waste Conf., Pardue Univ. Ext. Ser. 1961. Vol. 106. P. 139.

Shannon C. E. A mathematical theory of communication // Bell Systems. Tech. J. 1948. 27. P. 632–656.

Sorensen T. A method of establishing groups of equal amplitude in plant sociology based on similarity of species content and its application to analyses of the vegetation on Danish commons // Biol. Skr. 1948. Vol. 5. P. 1–34.

Woodiwiss F. S. The biological system of stream classification used by the Trent River Board // Chem. J. Industry. 1964. Vol. 11, № 3. P. 443–447.

Исследование изменчивости показателя кислотности реки Неглинки в зимне-весенний период

А. Сазонова, И. Смирнова, А. Колобова, О. Мюлляри

Муниципальная гимназия № 17 г. Петрозаводска

ВВЕДЕНИЕ

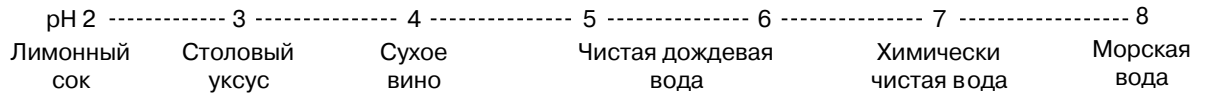
Качество воды природных водных объектов (рек и озер) определяется различными химическими и биологическими методами. Чтобы оценить качество воды, нужно отобрать пробы и выполнить их химический анализ. Для более полного исследования химического состава речной или озерной воды необходимо определять большое количество физико-химических параметров (температуру воды, прозрачность, цветность, содержание различных солей и соединений, растворенного кислорода, биохимическое потребление кислорода и др.). Одной из важнейших химических характеристик в экологических исследованиях природных вод является показатель кислотности воды, который выражают через pH. Водные растворы всегда содержат водородные (H^+) и гидроксильные (OH^-) ионы. Для характеристики концентрации ионов водорода применяется показатель pH, который принимается равным десятичному логарифму концентрации [H^+], взятому с обратным знаком (Алекин, 1970; Справочное руководство.., 1995):

$$\mathbf{pH = -\log [H^+].}$$

Например, если концентрация [H^+] = 10^{-5}, то pH = 5, при [H^+] = 10^{-8} pH = 8 и т. д.

В зависимости от концентрации ионов водорода вода может быть кислой (при pH меньше 6), нейтральной (pH = 7) или щелочной (pH больше 7).

Чтобы наглядно представить, как изменяется pH в широком диапазоне, была разработана специальная шкала, где приведены различные природные продукты и соответствующие им значения pH (рис. 1).



Р и с . 1. ШКАЛА ГРАДАЦИЙ pH И СООТВЕТСТВУЮЩИЕ ИМ ПРИРОДНЫЕ ПРОДУКТЫ

Изменение показателя кислотности существенно влияет на водные экосистемы озер и рек. При pH от 6,0 до 5,5 быстро сокращаются численность и видовое разнообразие водных организмов, гибнут наиболее чувствительные планктонные организмы и насекомые, а также рыбы – форель, хариус, лосось и др. При pH ниже 5,5 начинается бурное развитие кислотолюбивых растений – мхов, грибов и нитчатых водорослей, которые вытесняют остальную водную растительность, в водоеме начинает сокращаться численность щуки и окуня. Когда pH воды становится ниже 4,0, рыбы в озере уже не остается, гибнут лягушки и многие насекомые. Гибель бактерий в очень кислых озерах приводит к тому, что органические вещества в них не разлагаются, оседают на дно и под этим ковром постепенно иссякают запасы растворенного кислорода, начинается выделение в большом количестве метана и сероводорода (Потапова, 1999).

Таким образом, исследование показателя pH в водных объектах является важной экологической задачей и при анализе других химических параметров позволяет оценить качество воды в реках и озерах. Важно также рассмотреть изменение во времени величины pH в конкретном месте озера или реки, особенно в районе влияния загрязненных вод, поступающих в водный объект от промышленных предприятий или коммунальных источников, чтобы оценить влияние этих загрязненных вод на качество природной воды.

ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Школьная учебно-исследовательская работа была выполнена по программе спецкурса «Экология» под руководством Ю. А. Сало, научного сотрудника Института водных проблем Севера Карельского научного центра РАН. Целью данной работы было исследование изменения кислотности р. Неглинки в период зимней межени (январь – февраль) и весеннего половодья (апрель – май), когда водность реки существенно различается, и сравнение изменчивости pH в реке в указанные периоды.

Задачи исследования:

⇒ регулярное измерение уровня, температуры и показателя pH воды в р. Неглинке у гимназии № 17 (в 1 км выше устья реки);
⇒ анализ полученных данных измерений;
⇒ определение и объяснение пределов изменчивости величины pH в реке.

ОБЪЕКТ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектом нашего исследования является р. Неглинка в районе гимназии № 17. Это небольшая речка, берущая начало в пригороде г. Петрозаводска. Ее длина всего 26 км. Схема водосбора реки показана на рис. 2. Водосбор реки можно условно разделить на две части. Верхняя часть (за Древлянкой) находится в естественном состоянии. Нижняя (примерно 25% водосбора) часть бассейна реки расположена на городской территории, с которой в р. Неглинку поступают загрязненные воды от городского транспорта, промышленных предприятий. Некоторая часть загрязненных вод смывается с дорог и площадей при таянии снега и дождевыми водами и также поступает в русло.

Уровень воды в реке измеряли с помощью рулетки от метки на гидрометрическом мостике напротив гимназии. Сначала измеряли расстояние ***L*** от метки до поверхности воды с точностью 1 см, а уровень воды ***H*** (в см) вычисляли как

$$H = 300 - L.$$

Температуру воды определяли вблизи берега родниковым термометром с ценой деления 0,5 °С.

Величину pH измеряли колориметрическим способом с помощью прибора HACH производства США. Точность определения величины pH у этого метода равна 0,25 единицы, диапазон измеряемых значений составляет от 3 до 14.

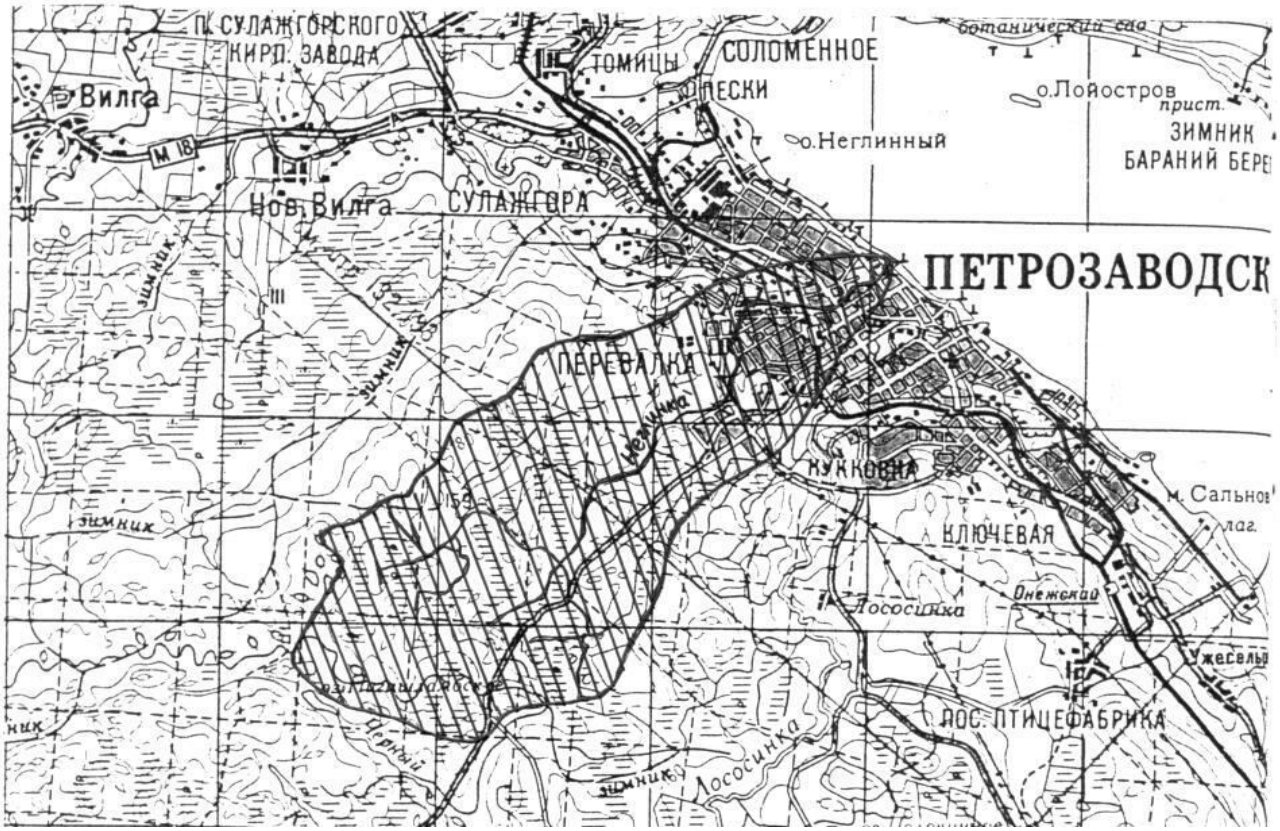
Измерения проводили с 16 по 30 января 2002 г. (период зимней межени) и с 13 марта по 7 мая 2001 г. (окончание зимней межени и период половодья).

ИЗМЕНЕНИЕ КИСЛОТНОСТИ Р. НЕГЛИНКИ В ЗИМНЕ-ВЕСЕННИЙ ПЕРИОД

Результаты измерений уровня, температуры и pH воды в р. Неглинке представлены в табл. 1 и 2. По этим данным был построен и проанализирован график изменения уровня, температуры и кислотности воды (рис. 3).

Из анализа данных следует, что уровень воды в период зимней межени менялся незначительно в пределах от 163 до 170 см. Из-за оттепелей, выпадавших осадков и притоков воды с территории города температура менялась от 0 до 2 °С, а показатель pH был примерно равен 7,4–7,5, что соответствует слабощелочной реакции среды.

В период окончания зимней межени и половодья все три характеристики изменялись в широких пределах: уровень воды – от 167 до 218 см; pH – от 5,8 до 7,6; температура воды – от 4 до 9 °С. В режиме реки в зимне-весенний период 2001 г. можно условно выделить две фазы. С 13.03 по 13.04 уровень воды рос слабо, за счет таяния снега на городской территории, при этом наблюдался интенсивный нагрев воды. Вторая фаза (половодье) начинается с 13.04, при этом в русло реки поступают талые воды от снега



Р и с . 2. СХЕМА ВОДОСБОРА РЕКИ НЕГЛИНКИ

Т а б л и ц а 1

ИЗМЕНЕНИЕ УРОВНЯ, ТЕМПЕРАТУРЫ И pH ВОДЫ В Р. НЕГЛИНКЕ В ЗИМНЕ-ВЕСЕННИЙ ПЕРИОД 2001 г.

№ п/п	Дата	Уровень воды, Н, см усл.	Температура, Т, °С	pH
1	13.03	170	4,0	7,3
2	16.03	167	5,0	7,3
3	21.03	167	6,0	7,6
4	23.03	169	6,5	7,5
5	6.04	177	8,0	7,3
6	13.04	179	9,0	7,2
7	18.04	189	8,0	6,5
8	20.04	198	7,5	5,8
9	24.04	218	6,0	5,8
10	27.04	200	6,5	6,0
11	1.05	185	6,0	6,3
12	5.05	170	8,0	6,5

Т а б л и ц а 2

ИЗМЕНЕНИЕ УРОВНЯ, ТЕМПЕРАТУРЫ И pH ВОДЫ В Р. НЕГЛИНКЕ В ЗИМНИЙ ПЕРИОД 2002 г.

№ п/п	Дата	Уровень воды, Н, см усл.	Температура, Т, °С	pH
1	16.01	163	2	7,4
2	17.01	165	1,5	7,4
3	19.01	163	1,8	7,4
4	20.01	163	1,5	7,4
5	21.01	170	0,8	7,4
6	22.01	168	0,3	7,4
7	24.01	169	0	7,4
8	25.01	170	0,2	7,4
9	26.01	170	0,5	7,4
10	28.01	169	0	7,5
11	29.01	169	0,5	7,4

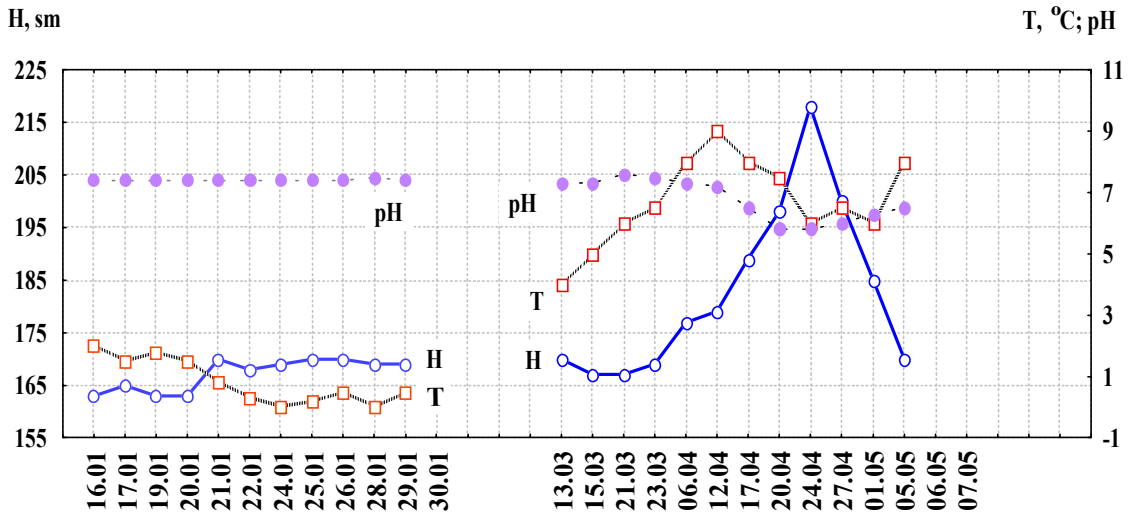
в верхней части водосбора. Они более холодные, и, следовательно, температура воды после 13.04 постепенно понижается. Пик половодья наступил 24.04, после чего в русле Неглинки наблюдалось снижение уровня воды.

Из предыдущих исследований М. Таркоева и А. Борматовой (гимназия № 17 г. Петрозаводска), выполненных в 1998 г., известно, что показатель pH воды в реке выше города был равен 5÷6 (слабокислая среда), а ближе к устью, за счет поступления загрязняющих вод с территории города, повышается до 7,0÷7,5 (нейтральная или слабощелочная среда). Ими же было установлено, что содержание нитратов и фосфатов в речной воде в 3–4 раза выше, чем за городом, за счет загрязнения. Кроме того, из предыдущих наших исследований было установлено, что осадки, в том числе снег, выпадающие на водосборе Неглинки, являются слабокислыми (5,0÷6,1).

В наших наблюдениях показатель pH (рис. 3) с 13.03 по 13.04 был равен 7,2÷7,6, а в период половодья и особенно при наивысших уровнях воды уменьшился до 5,8÷6,5, т. е. в зимний период вода в р. Неглинке имеет слабощелочную реакцию, весной в половодье – слабокислую.

ВЫВОДЫ

В результате выполненной учебно-исследовательской работы установлено, что pH в р. Неглинке в различные сезоны заметно меняется:



Р и с . 3. ИЗМЕНЕНИЕ УРОВНЯ (Н), ТЕМПЕРАТУРЫ ВОДЫ (Т) И КИСЛОТНОСТИ (pH) В Р. НЕГЛИНКЕ ЗИМОЙ 2002 г. И ВЕСНОЙ 2001 г.

от слабощелочной среды в зимний маловодный период до слабокислой в весенний многоводный период, особенно при прохождении пика половодья. Изменяются также и другие характеристики реки – температура и уровень воды. Изменение pH от истока к устью реки связано с влиянием городской территории и подземного питания на химический состав речной воды, поскольку с территории города в русло стекает большое количество загрязненных промышленных и хозяйственно-бытовых вод.

Использованная нами методика может быть применена другими школьными исследовательскими коллективами при экологических исследованиях различных рек и ручьев на территории Карелии, особенно подверженных антропогенному влиянию населенных пунктов, промышленных и сельскохозяйственных объектов.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

Алекин О. А. Основы гидрохимии. Л., 1970. 413 с.

Потапова И. Ю. Опасность кислотных осадков для водоемов // Экологические исследования природных вод Карелии. Петрозаводск, 1999. С. 27–33.

Современное состояние водных объектов Республики Карелия. Петрозаводск, 1998. 188 с.

Справочное руководство гидрогеолога. М., 1995. С. 57–58.

Оценка качества воды прибрежья озера Логмозеро по организмам макрозообентоса

Елена Майорова

ученица 10 класса средней школы № 7

Руководитель: Т. А. Шишова

учитель биологии средней школы № 7

Водные ресурсы широко используются человеком в хозяйственных целях, что отрицательно сказывается на развитии всех гидробионтов и приводит к негативным последствиям в состоянии экосистем. Их структура в большинстве случаев упрощается, так как часть наиболее чувствительных к загрязнениям видов вымирает (рыбы, донная фауна, планктон), а ограниченное число отдельных представителей флоры и фауны может способствовать ухудшению качества природных вод.

Проблема качества водной среды стала привлекать внимание человека еще с середины XIX века, а в начале XX уже развернулись теоретические и экспериментальные работы, направленные на предупреждение загрязнения водоемов и организацию контроля за их состоянием (Котова и др., 1989).

Известно, что существуют различные методы изучения качества воды, которое может оцениваться по ряду показателей:

– физические – температура, содержание взвешенных веществ, цветность воды, вкус, запах и др.;

– химические – pH, жесткость, щелочность, окисляемость, растворенные газы и др.;

– биологические – количество и состав водных растительных и животных организмов.

Биологические методы оценки качества воды основаны на приспособленности отдельных гидробионтов к той или иной степени загрязнения среды (Тимофеева, 1986). Данные о видовом составе позволяют судить не только о степени и продолжительности загрязнения водоема, но и о его способности к самоочищению.

Условно все биологические методы изучения воды можно подразделить на методы биоиндикации и биотестирования. В своей работе для оценки качества воды мы выбрали метод биоиндикации по донным животным.

Биологическое равновесие водных экосистем поддерживается многочисленными подвижными связями организмов между собой и с окружающей неживой материей. При антропогенном воздействии это равновесие нарушается, что отражается на видовом составе биоценозов. Изменение видового состава происходит уже при столь слабом загрязнении водоемов, которое еще не может быть обнаружено с помощью химических и бактериальных методов.

В 1908–1909 гг. Р. Кольквитц и М. Марссон разработали классификацию загрязненности вод по показательным организмам. Они установили четыре зоны загрязнения и привели списки индикаторных организмов, характерных для каждой зоны (табл. 1). Эта классификация получила название системы сапробности (Тимофеева, 1986).

Таблица 1

ЗОНЫ ЗАГРЯЗНЕНИЯ В ВОДОЕМАХ

Зона сапробности (по Кольквитцу и Марссону)	Класс чистоты (по Либману)
ρ-сапробная – полисапробная	IV (очень грязная)
α-мезосапробная – альфамезосапробная	III (переходная)
β-мезосапробная – бетамезосапробная	II (загрязненная в большей или меньшей степени)
о-сапробная – олигосапробная	I (чистая)

В каждой из этих зон возможно интенсивное развитие определенных гидробионтов.

Система сапробности на протяжении более чем столетнего существования совершенствовалась и модифицировалась. Сведения о ней и других различных способах оценки качества вод по гидробиологическим показателям обобщены в работе А. В. Макрушина «Биологический анализ качества вод» (1974).

Наиболее простая схема биологической оценки степени загрязнения, по мнению А. В. Макрушина, основана на системе Вудивисса. В этой системе, которую мы применяли в работе, для анализа вод используются донные животные. Метод Вудивисса объединяет как показательные значения организмов, так и их видовое разнообразие. В этой системе учитываются нарушения структуры биоценозов донных животных и наиболее часто наблюдаемая последовательность исчезновения из сообществ различных групп организмов по мере увеличения загрязнения. В системе Вудивисса качество воды оценивается по значениям биотического индекса (БИ) от 0 до 10. Снижение индекса свидетельствует о снижении качества воды (табл. 2).

Под термином «группа» подразумевается систематическое положение водных животных, которое определяется без анализа деталей их строения, что исключает необходимость проведения трудоемких таксономических исследований. Понятие «группа» включает отдельные виды или более крупные таксоны: все известные виды плоских червей, пиявок, моллюсков, ракообразных, веснянок, поденок, все семейства ручейников; все виды личинок вислокрылок, личинки звонцов, мотыля, мошек, мух; жуки и их личинки, водяные клещи и т. д.

Система Вудивисса разработана для оценки качества воды водотоков, но может быть использована и в прибрежной зоне водоемов, где донная фауна наиболее разнообразна (Яковлев, 1988; Полякова, 1999).

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Наблюдения за донной фауной проводились в прибрежной зоне оз. Логмозеро в районе

Таблица 2

БИОТИЧЕСКИЙ ИНДЕКС ВУДИВИССА ДЛЯ ОЦЕНКИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОД ОЕМОВ

Наличие индикато рных групп	Количество видов	Общее число «групп»				
		0–1	2–5	6–10	11–15	16 и более
Личинки веснянок	Более одного	–	7	8	9	10
	Только один	–	6	7	8	9
Личинки поденок	Более одного	–	6	7	8	9
	Только один	–	5	6	7	8
Личинки ручейников	Более одного	–	5	6	7	8
	Только один	4	4	5	6	7
Gammarus (бокоплав)	Все названные виды отсутствуют	3	4	5	6	7
Asellus (водяной ослик)	То же	2	3	4	5	6
Тубифициды и (или) крупные (красные) личинки хирономид	То же	1	2	3	4	–
Все указанные группы отсутствуют	Возможно наличие *Eristalis* («крыски»)	0	1	2	–	–

микрорайона Соломенное в 2000 и 2001 гг. с целью оценки качества воды по индикаторным группам организмов на выбранных участках.

Оз. Логмозеро расположено к северо-западу от Петрозаводской губы Онежского озера и соединено с ней глубокой протокой (рис. 1, вклейка). Через озеро проходит сток р. Шуи, бассейн которой подвержен значительному антропогенному воздействию – это мелиорация, сельское хозяйство (Пирожкова, 1990). Помимо этого в него поступают сточные воды промышленных предприятий (ООО «АВ-Инвест») и населенных пунктов, расположенных на побережье. Большое количество маломерного водного транспорта и грузовое судоходство являются причиной загрязнения воды нефтепродуктами. Источником загрязнения озера служит также большое количество гниющей древесины на значительных площадях дна вблизи ООО «АВ-Инвест».

Наблюдения проводили в летне-осенний период на трех прибрежных участках водоема:

⇒ относительно чистом, не испытывающем непосредственного антропогенного воздействия;

⇒ в зоне интенсивного антропогенного воздействия (вблизи промышленного предприятия ООО «АВ-Инвест» и населенного пункта Соломенное);

⇒ на некотором удалении от загрязненного участка в переходной зоне, где протекают процессы самоочищения (рис. 1).

Определение качества воды на выбранном объекте предполагает более полное знакомство с фауной дна, поэтому на каждом из этих участков (станциях) выбрали точки отбора проб с различными биотопами – каменистые, песчаные, илистые грунты, заросли макрофитов. На каждой станции отбирали не менее трех проб.

В качестве орудия для отбора проб использовали гидробиологический сачок. С его помощью брали пробы грунта и облавливали придонные слои воды. Фауну каменистых грунтов собирали, смывая животных с камней с помощью кисточек. Илистые грунты промывали, а остаток переносили в широкогорлую банку. Песчаный грунт перекладывали в ведро с водой и перемешивали круговыми движениями. Воду быстро сливали в сачок и так делали до тех пор, пока вода после взмучивания не оставалась прозрачной. Среди зарослей растений фауну собирали сачком и переносили в банки.

Пробы снабжали этикетками с характеристикой места отбора: водоем, станция, проба, глубина, прозрачность, грунт, температура воды и воздуха, дата.

Отобранный материал разбирали в живом виде по систематическим группам под бинокулярной лупой. В каждой группе определяли число видов с помощью простейших определителей (Хейсин, 1962; Полякова, 1999). В затруднительных случаях консультировались у специалистов лаборатории гидробиологии Института водных проблем Севера Карельского научного центра РАН. Результаты обработки проб заносили в рабочий журнал.

За период наблюдений собрано и обработано 65 проб бентоса.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В литоральной зоне Логмозера обитает достаточно разнообразная фауна. Бентические организмы представлены многочисленными личинками насекомых (стрекоз, веснянок, подёнок, ручейников, комаров), червями, моллюсками, ракообразными и другими формами.

Определение БИ проводили для каждой станции по табл. 2. Например, летом 2001 г. на первой станции в пробах были обнаружены: веснянки – 1 вид, бокоплав – 1, моллюски – 1, личинки стрекоз – 1, личинки жуков – 1, пиявки – 1 вид (табл. 3).

Таблица 3

СОСТАВ ФАУНЫ И ЗНАЧЕНИЯ БИ НА СТАНЦИЯХ НАБЛЮДЕНИЯ В 2000 г.

Станция 1				Станция 2				Станция 3			
Состав фауны	$N_В$	$N_{ГР}$	БИ	Состав фауны	$N_В$	$N_{ГР}$	БИ	Состав фауны	$N_В$	$N_{ГР}$	БИ
Весна											
Бокоплавы	1	7	5	Вод. ослик	1	6	4	Ручейники	1	6	5
Моллюски	3			Моллюски	2			Моллюски	1		
Лич. жука	1			Хирономиды	> 1			Жуки	1		
Пиявки	2			Пиявки	2			Хирономиды	> 1		
								Пиявки	2		
Лето											
Веснянки	1	5	6	Поденки	1	5	5	Ручейники	1	7	5
Бокоплавы	1			Вод. ослик	1			Моллюски	2		
Лич. жука	1			Хирономиды	> 1			Жуки	2		
Хирономиды	> 1			Пиявки	2			Мошки	1		
Пиявки	1							Пиявки	1		
Осень											
Бокоплавы	1	7	5	Поденки	1	3	5	Ручейники	1	6	5
Моллюски	3			Пиявки	2			Моллюски	2		
Хирономиды	> 1							Жуки	1		
Пиявки	2							Пиявки	2		

Примечание. Здесь и в табл. 4: $N_В$ – число видов; $N_{ГР}$ – число «групп».

Таблица 4

СОСТАВ ФАУНЫ И ЗНАЧЕНИЯ БИ НА СТАНЦИЯХ НАБЛЮДЕНИЙ В 2001 г.

Станция 1				Станция 2				Станция 3			
Состав фауны	N_B	$N_{ГР}$	БИ	Состав фауны	N_B	$N_{ГР}$	БИ	Состав фауны	N_B	$N_{ГР}$	БИ
					Весна						
Веснянки	1	5	6	Поденки	1	4	5	Ручейники	1	6	5
Моллюски	2			Вод. ослик	1			Моллюски	3		
Хирономиды	> 1			Хирономиды	> 1			Пиявки	2		
Пиявки	1			Пиявки	1						
					Лето						
Веснянки	1	6	7	Поденки	1	5	5	Ручейники	2	8	6
Бокоплавы	1			Вод. ослик	1			Моллюски	2		
Моллюски	1			Хирономиды	> 1			Жуки	1		
Лич. стрекоз	1			Пиявки	2			Мошки	1		
Лич. жуков	1							Пиявки	2		
Пиявки	1										
					Осень						
Бокоплавы	1	7	5	Вод. ослик	1	4	3	Ручейники	1	7	5
Моллюски	3			Хирономиды	> 1			Моллюски	2		
Хирономиды	> 1			Пиявки	2			Лич. жуков	2		
Пиявки	2							Пиявки	2		

В первой графе таблицы находили позицию, в которой была указана присутствующая в пробе индикаторная группа (веснянки). Затем во второй графе находили строку, соответствующую числу видов, имеющихся в данной группе. При этом ограничивались определением видового разнообразия по трем категориям: «более одного вида», «только один вид», «все названные виды отсутствуют». В пробах оказался лишь один вид индикаторной группы. Всего обнаружено шесть «групп», следовательно, биотический индекс на станции равен семи. Таким образом, были проанализированы все пробы, отобранные на каждой из станций. Полученные результаты представлены в табл. 3 и 4.

Величины индекса БИ на станциях, полученные в разные годы и сезоны, колебались от 3 (ст. 2) до 7. Средние значения БИ за год на всех станциях не превышали 6,0 и были несколько ниже на более загрязненном участке прибрежья (рис. 2).

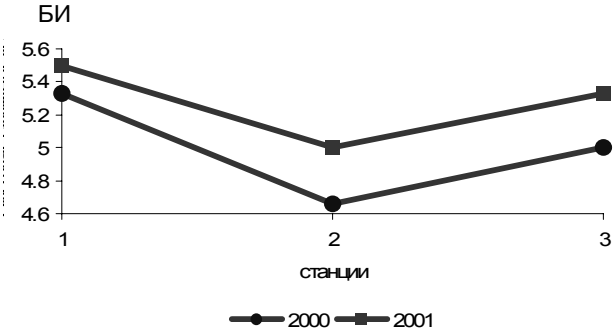


Рис. 2. ЗНАЧЕНИЯ БИОТИЧЕСКОГО ИНДЕКСА НА ВЫБРАННЫХ УЧАСТКАХ ПРИБРЕЖЬЯ ОЗЕРА В РАЗЛИЧНЫЕ ГОДЫ НАБЛЮДЕНИЙ

Далее, сопоставив полученные величины БИ с другими классификациями (Полякова, 1999), определили, что качество воды на выбранных участках озера в основном соответствует умеренно загрязненным водам (по классификации Госкомгидромета) или β-мезосапробному уровню загрязнения (табл. 5).

Таблица 5

КЛАССИФИКАЦИЯ КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД ПО ПОКАЗАТЕЛЯМ ЗООБЕНТОСА

Биотический индекс (по Вудивиссу)	Качество вод по классификатору Госкомгидромета	Класс вод	Зона сапробности
	Очень чистые	I	
7–10	Чистые	II	Олигосапробная
5–6	Умеренно загрязненные	III	β-мезосапробная
3–4	Загрязненные	IV	α-мезосапробная
2–0	Грязные	V	Полисапробная
0	Очень грязные	VI	

Межгодовые колебания БИ невелики, что указывает на относительно стабильную экологическую обстановку на обследованных участках озера. Однако вблизи предприятия ООО «АВ-Инвест» (ст. 2) в 2001 г. биотический индекс оказался несколько ниже, чем в предыдущем. Его величина свидетельствовала о снижении качества воды до α-мезосапробного уровня.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Данные исследования по изучению гидробиологических характеристик оз. Логмозеро имеют большое практическое значение. Результаты

работы в целом соответствуют имеющимся в литературе сведениям (Притоки.., 1990).

Экосистема оз. Логмозеро в настоящее время испытывает значительную антропогенную нагрузку. Уже сейчас его вода считается умеренно загрязненной. Есть также данные о том, что среднегодовая концентрация нефтепродуктов в оз. Логмозеро равна 0,05 мг/л, а в Соломенской протоке она иногда достигала более высоких значений (до 6 ПДК), что связано с интенсивным движением маломерного водного транспорта и грузовых судов. При дальнейшем поступлении загрязняющих веществ, учитывая небольшие глубины озера, следует ожидать дальнейшего ухудшения качества его вод.

Для улучшения экологической обстановки на озере необходимо:

⇒ администрации предприятия ООО «АВ-Инвест»:
- перейти на более экологически безопасную технологию производства пиломатериалов,
- очистить дно озера от затопленных бревен для их дальнейшей переработки,
- совершенствовать технологию очистки сточных вод с территории предприятия;

⇒ резко сократить применение средств защиты растений в сельском хозяйстве и на приусадебных участках и использовать биологические способы защиты растений (уменьшение стока веществ в р. Шую и оз. Логмозеро);

⇒ повышать экологическую грамотность населения;

⇒ довести до сведения жителей микрорайона Соломенное результаты данной работы.

М. М. Телитченко (1975) выдвинул следующую теоретическую концепцию формирования качества воды. Основным качеством воды является ее биологическая полноценность – способность обеспечивать нормальное протекание физиологических и биохимических процессов, на базе которых строится наследственность организмов.

Экстремальное воздействие нарушает это природное равновесие и изменяет качество воды. Наша задача – сохранить чистоту и первозданность прекрасного озера. Ведь озера – это глаза нашей планеты.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

Котова Л. И., Рыжков Л. П., Полина А. В. Биологический контроль качества вод. М., 1989. 141 с.

Макрушин А. В. Биологический анализ качества вод. Л., 1974. 60 с.

Пирожкова Г. П. Химический состав приточных вод бассейна Онежского озера // Притоки Онежского озера. Петрозаводск, 1990. С. 4–37.

Полякова Т. Н. Оценка качества воды малых водоемов и водотоков по организмам макрозообентоса // Экологические исследования природных вод Карелии. Петрозаводск, 1999. С. 61–76.

Притоки Онежского озера. Петрозаводск, 1990. 163 с.

Телитченко М. М. Формирование биологической полноценности воды гидробионтами // Биологическое самоочищение и формирование качества воды. М., 1975. С. 9–14.

Тимофеева С. С. Санитарно-техническая гидробиология и водная токсикология. Иркутск, 1986.

Филенко О. Ф. Методы биотестирования качества водной среды. М., 1988.

Хейсин Е. М. Краткий определитель пресноводной фауны. М., 1962. 148 с.

Яковлев В. А. Оценка качества поверхностных вод Кольского Севера по гидробиологическим показателям и данным биотестирования: Практические рекомендации. Апатиты, 1988. 27 с.

РЕФЕРАТЫ

УДК 556.55 (470.22)

Большие и малые озера Пудожского района. Мартынова Н. Н., Лозовик П. А. // Водная среда Карелии: исследования, использование и охрана. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2003. С. 9–16: ил. 2, табл. 4. Библиогр. 14 назв.

В статье излагаются материалы по химическому и биологическому составу вод больших и малых озер Пудожского района, которые в связи с их удаленностью остаются мало изученными. Характеристика водных объектов дана с учетом условий формирования состава воды озер. Выделены отдельные группы водных объектов, имеющих близкие показатели качества воды.

The paper discusses data on the water chemical and biological composition in large and small lakes of the Pudozh district, which remain poorly studied owing to remoteness. The water objects are described with account of the conditions in which the water composition has been forming. Individual groups of water objects with similar water quality parameters have been identified.

УДК 556.55

Водлозерское водохранилище и его биологические ресурсы. Петрова Л. П. // Водная среда Карелии: исследования, использование и охрана. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2003. С. 17–26: ил. 5, табл. 5. Библиогр. 42 назв.

Предложен обзор биолого-рыбохозяйственных исследований, рассмотрены режимные характеристики абиотических факторов среды водоема, а также экологическая ситуация. Приведены материалы по биологической продуктивности отдельных сообществ водных организмов: зоопланктона, бентоса, ихтиофауны. Определен характер изменений рыбопродуктивности и состава ихтиоценоза Водлозера в процессе его функционирования в режиме водохранилища, рассмотрены причины, их обусловливающие.

Статья рассчитана на широкий круг читателей: научных работников и практиков рыбного хозяйства, преподавателей, учителей средней школы, аспирантов, студентов и старшеклассников, а также представляет интерес для специалистов, занимающихся вопросами экологии внутренних водоемов.

The paper reviews the biological and fish management studies, abiotic factors of the reservoir environment, as well as the ecological situation. We present data on the biological productivity of individual aquatic organism communities: zooplankton, benthos, fish fauna. The trends in fish production and community composition in Lake Vodlozero since its transformation into a storage reservoir were identified, and the factors controlling the changes are discussed.

The paper is meant for a wide readership including researchers, fish industry practitioners, university and secondary school teachers, post-graduate and graduate students, senior schoolchildren. It may also be interest to experts in inland water ecology.

УДК 574.633 (470.22)

Экологические проблемы Сегежско-Надвоицкого промцентра. Лозовик П. А. // Водная среда Карелии: исследования, использование и охрана. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2003. С. 26–34: ил. 4, табл. 3. Библиогр. 6 назв.

Рассмотрено влияние производства алюминия и бумаги на окружающую среду. Показано, что в первом случае происходит загрязнение атмосферных осадков, поверхностных и подземных вод фторидами, а во втором – органическими веществами, сульфатами и биогенными элементами. Проанализировано состояние источника питьевого водоснабжения пос. Надвоицы, для которого характерно, прежде всего, повышенное содержание фторидов (0,75 мг/л), органических веществ и железа. Продемонстрировано загрязнение Северного Выгозера в разные сезоны в результате поступления сточных вод Сегежского ЦБК. Предложены рекомендации по улучшению питьевого водоснабжения пос. Надвоицы и экологической ситуации в Северном Выгозере.

Environmental effects of aluminium and paper production are assessed. We show that the former process pollutes the air, surface- and groundwaters with fluorides, and the latter – with organic substances, sulphates and biogenic elements. The condition of the drinking water source for the Nadvoitsy town was analysed, finding first of all elevated concentrations of fluorides (0.75 mg/l), organic matter and iron. Seasonal pollution of northern Lake Vygozero by wastewater from the Segezha pulp-and-paper mill is described. Recommendations for improving the quality of drinking water supply to Nadvoitsy and the ecological situation in northern Vygozero are put forward.

УДК 574.583 (470.22)

Зоопланктон водоемов Карелии. Куликова Т. П. // Водная среда Карелии: исследования, использование и охрана. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2003. С. 34–53: ил. 14. Библиогр. 6 назв.

Приводятся сведения по экологии основных таксономических групп зоопланктонных организмов (простейшие, коловратки, ракообразные). Описаны методы отбора и обработки проб зоопланктона. Обсуждаются возможности оценки качества вод с помощью организмов планктонной фауны. Статья сопровождается определителем (рисунками) наиболее распространенных в карельских водоемах представителей зоопланктона, необходимым для исследовательской работы.

Data on the ecology of the main taxonomic zooplankton groups (protozoans, rotifers, crustaceans) are given. Zooplankton sampling and treatment methods are described. Possibilities of assessing water quality using planktonic organisms are discussed. The paper is supplied with an illustrated identification guide to the most common and widely used in research representatives of zooplankton from Karelian waters.

УДК 574.632:556.53(470.22)

Современное состояние водоемов системы реки Кенти. Калинкина Н. М., Кухарев В. И., Морозов А. К., Рябинкин А. В. // Водная среда Карелии: исследования, использование и охрана. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2003. С. 53–59: ил. 7, табл. 1. Библиогр. 16 назв.

Представлены основные результаты исследования водоемов системы р. Кенти (северо-запад Карелии), находящихся в условиях загрязнения отходами горнорудного производства. Показано, что химический состав воды наиболее загрязненных верхних озер системы претерпел наибольшие изменения, в результате чего вода озер превратилась из слабоминерализованной гидрокарбонатно-кальциевого типа в сульфатно-калиевую воду повышенной минерализации. Обсуждаются источники поступления минеральных компонентов в водоемы. Изменения в химическом составе вод вызвали смену сообществ зоопланктона и зообентоса: типичные обитатели северных водоемов, наиболее уязвимые к действию техногенных вод, заменились эврибионтными видами животных.

The main results of surveys of water bodies in the Kenti river system (north-west Karelia) exposed to pollution from ore dressing are described. We show that the chemical composition of water in the most heavily contaminated upstream lakes has undergone the greatest changes transforming from the little mineralized calcium hydrocarbonate type into highly mineralized potassium sulphate water. The sources of mineral element influx to the waters are discussed. Changes in the water chemical composition induced a modification in the zooplankton and zoobenthos communities: typical inhabitants of northern waters, which are most vulnerable to industrial pollution, were ousted by eurybiontic species.

УДК 574.2 (282.247.211)

Экологическое состояние Кондопожской губы Онежского озера. Тимакова Т. М. // Водная среда Карелии: исследования, использование и охрана. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2003. С. 59–63: ил. 1.

Показано, в чем заключается опасность воздействия целлюлозно-бумажного производства на водные экосистемы. На примере Кондопожской губы рассмотрено влияние Кондопожского ЦБК на экосистему в разные периоды его фунционирования. Прослежены изменения в экосистеме губы, связанные с проведением важнейших природоохранных мероприятий на комбинате.

We demonstrate the threats from pulp-and-paper production to aquatic ecosystems. The example of the Kondopoga Bay is used to consider the impact of the Kondopoga pulp-and-paper mill on the ecosystem at different periods of the mill operation. Changes in the bay ecosystem induced by major nature conservation measures taken by the mill are traced.

УДК 551.594.5 (470.22)

Продолжительность солнечного сияния в Карелии. Назарова Л. Е. // Водная среда Карелии: исследования, использование и охрана. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2003. С. 63–66: ил. 3, табл. 1.

Рассматриваются данные о продолжительности солнечного сияния, числе дней без солнца, их изменение по территории Республики Карелия, временной ход, экстремальные значения за период метеорологических наблюдений с 1951 по 1990 г., приводятся определения некоторых климатических понятий и характеристик, касающихся вопросов актинометрических наблюдений, а также сведения по истории измерений продолжительности солнечного сияния в Карелии.

We consider data on the duration of sunshine, number of sunless days, its variation across Republic of Karelia, temporal pattern, extreme values over the 1951–1990 period of meteorological observations. Some climatic notions and actinometry-related characteristics are defined, the history of sunshine duration measurements in Karelia is shown.

УДК 626.811 (470.22)

Использование подземных вод Карелии для водоснабжения. Бородулина Г. С., Тренин В. В. // Водная среда Карелии: исследования, использование и охрана. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2003. С.66–72: ил. 2 + 4 фото на вкл. Библиогр. 6 назв.

Рассмотрены эксплуатационные возможности водоносных горизонтов Карелии и перспективы использования подземных вод для водоснабжения. Подчеркнуты возможности применения подземных вод водно-ледниковых отложений и уязвимость этих вод к загрязнению. Приведены примеры практических шагов для решения проблемы водоснабжения ряда населенных пунктов Карелии.

The operational capacities of aquifers in Karelia and the possibilities of using groundwater for water supply are discussed. We stress the feasibility of using groundwater from glacial outwash and its vulnerability to pollution. Some potential solutions for the problem of water supply to a number of communities in Karelia are proposed.

УДК 630*221: 556.16

Влияние рубок леса на речной сток Карелии. Бондарик Н. Л. // Водная среда Карелии: исследования, использование и охрана. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2003. С. 72–75: ил. 3. Библиогр. 6 назв.

Оценено влияние рубок на испарение и сток с модельного водосбора, характеристики леса которого отражают усредненную структуру насаждений водосборов Карелии. Рассмотрен прирост древостоя (сосна, ель, береза) и его эксплуатация в течение 200 лет. Получено, что динамика стока с леса определяется интенсивностью прошлых и нынешних рубок на исследуемой территории. При вырубке леса в объеме, существенно не влияющем на лесосырьевые запасы (расчетная лесосека), изменение возрастной структуры насаждений приводит к снижению стока с водосбора на 2–3% и его стабилизации через 160–180 лет. При использовании лесосеки на 2/3 запас древесины и масса полога древостоя на водосборе постоянно растут, вызывая увеличение суммарного испарения, в результате сток поступательно уменьшается на 7%. Показано, что при нынешних масштабах рубок леса на водосборах они не приводят к ощутимым изменениям в водном балансе региона.

Effects of logging on evaporation and runoff from a model catchment with an average tree stand structure for Karelian catchments were estimated. Stand increment (pine, spruce, birch) and exploitation over 200 years was considered. We found that the dynamics of runoff from a forest depended on the intensity of past and ongoing logging in the area. When forest is logged in amounts producing no significant effect on timber resources (allowable cut) changes in the stand age structure result in a 2–3% lower runoff from the catchment and its stabilisation in 160–180 years. If 2/3 of the allowable cut are harvested the growing stock and stand canopy volume in the catchment keep growing steadily causing total evaporation to increase so that the runoff gradually decreases by 7%. We show that with the current scope of logging in the catchments it does not significantly change the water budget in the region.

УДК 574.632

Макрофиты как индикатор природной среды. Фрейндлинг А. В. // Водная среда Карелии: исследования, использование и охрана. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2003. С. 75–87. Прил. 1. Библиогр. 12 назв.

Рассмотрены место и роль макрофитов в системе биомониторинга качества поверхностных вод, показаны преимущества их использования по сравнению с другими звеньями экосистемы. Рекомендован ряд критериев при использовании высших водных растений в процессе биоиндикации. Предложены виды растений-индикаторов для разнотипных озер регионов.

The position and role of macrophytes in the system of the surface water quality biomonitoring are discussed. The biomonitoring-related advantages of macrophytes versus other components of the ecosystem are demonstrated. A number of criteria for the application of higher aquatic plants in bioindication is put forward. Indicator-species of plants are proposed for different types of lakes.

УДК 551.524.32

Практические исследования изменчивости годовой температуры воздуха на территории Карелии. Сало Ю. А., Назарова Л. Е. // Водная среда Карелии: исследования, использование и охрана. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2003. С. 88–91: ил. 2, табл. 1. Библиогр.

Дано описание метода статистической оценки линейного тренда временного ряда. На примере хронологического ряда годовой температуры воздуха для метеостанции Пряжа (1951–1990 гг.) рассмотрено практическое применение метода (расчет нормы температуры, коэффициентов уравнения линейного тренда). Применение изложенного метода позволяет оценить локальные проявления «парникового эффекта» для различных пунктов.

A method for statistical treatment of the time series linear trend is described. The chronological series of the annual air temperature at the Pryazha meteorological station (1951–1990) was used for a practical application of the method (calculation of the temperature norm, linear trend coefficients). The method permits to estimate local manifestations of the «greenhouse effect» in various locations.

УДК 574.587

Проведение токсикологических экспериментов с использованием доступных материалов и организмов. Дубровина Л. В., Полякова Т. Н. // Водная среда Карелии: исследования, использование и охрана. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2003. С. 91–103: ил. 14, табл. 1. Библиогр. 9 назв.

Предлагаются схемы и описания простейших токсикологических экспериментов на бентосных организмах. Показано, как приготовить опытные растворы, выбрать необходимый диапазон концентраций, какие вещества лучше использовать при работе со школьниками. Дана краткая характеристика наиболее распространенных представителей донной фауны (моллюски, поденки, ручейники), а также рекомендации по их культивированию в лабораторных условиях. Выбор животных определяется тем, что бентосные организмы можно легко собрать в прибрежной зоне. Кроме того, работа с живым материалом увлекательна и интересна. Она предоставляет неограниченные возможности наблюдений за организмами как в условиях эксперимента, так и в их естественных местообитаниях. Приводится список наиболее интересных тем, которые могут послужить предметом для самостоятельного изучения.

The paper describes the layouts and instructions for the simplest toxicological experiments with benthic organisms. We explain how to prepare experimental solutions, choose the right range of concentrations, what substances are the most suitable for school experiments. A brief description of the most common representatives of the bottom fauna (mollusks, mayflies, caddis flies), as well as tips for their laboratory culture are provided. This group of animals was chosen because benthic organisms can be easily collected from along the shore. Also, working with live material is far more exciting. Children can thus widely observe the animals both in experiments and in the wild. We list a number of most interesting topics for individual study.

УДК 574.622

Выращивание лабораторных культур ветвистоусых рачков *Daphnia magna* Straus и *Simocephalus serrulatus* Koch. Калинкина Н. М., Пименова Н. В. // Водная среда Карелии: исследования, использование и охрана. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2003. С. 103–111: ил. 6, табл. 4. Библиогр. 15 назв.

Рассматриваются основные проблемы культивирования ветвистоусых рачков *Daphnia magna* Straus и *Simocephalus serrulatus* Koch. в лабораторных условиях. Предлагаются методики выращивания корма (зеленых водорослей); методы оценки плотности клеток водорослей в культуре, разведения культур дафний при групповой и индивидуальной посадке; приводятся показатели нормальной изменчивости плодовитости и длины тела ветвистоусых рачков.

The main problems of the laboratory culture of the cladocerans *Daphnia magna* Straus and *Simocephalus serrulatus* Koch. are considered. Feed (green algae) growing techniques, methods of estimating alga cell density for (continuous and batch) group and individual culture of daphnia are proposed. Normal variation ranges of cladoceran fertility and body length are shown.

УДК 556.16

Определение характеристик речного стока. Литвиненко А. В. // Водная среда Карелии: исследования, использование и охрана. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2003. С. 111–117: ил. 3. Библиогр.

Рассмотрена суть процесса речного стока и приведены основные понятия, связанные с ним. Даны его основные количественные характеристики (расход, объем, модуль, слой). Подробно рассмотрен один из наиболее распространенных способов измерения речного стока (при помощи гидрометрических поплавков) и даны практические рекомендации по его применению.

We consider the essence of streamflow and the main related notions. The main quantitative characteristics of streamflow are defined (discharge, volume, rate, stage). Details of one of the most widely used methods of measuring streamflow (with hydrometric floats) are described and practical tips for its application are given.

УДК 574.583

Планктонные водоросли как индикаторы качества вод водоемов. Чекрыжева Т. А. // Водная среда Карелии: исследования, использование и охрана. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2003. С. 118–120: ил. 3, табл. 1. Библиогр. 8 назв.

Показана возможность использования двух способов оценки качества вод водоемов по фитопланктону. Оценено качество вод для 27 озер и 17 рек Карелии. Приведены планктонные водоросли, являющиеся индикаторами сапробности. Выполнена биоиндикация по фитопланктону различающихся по степени загрязнения районов Кондопожской губы Онежского озера и оз. Суоярви.

Two methods of assessing water quality using phytoplankton are described. The water quality in 27 lakes and 17 river of Karelia was assessed. Planktonic algae that can be used as saprobity indicators are listed. Bioindication based on phytoplankton was performed for parts of the Kondopoga Bay, Lake Onega and Lake Suojarvi with different pollution degrees.

УДК 550.2

Географические методы и средства обработки космической информации. Коросов А. А. // Водная среда Карелии: исследования, использование и охрана. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2003. С. 121–125: ил. 5, 2 на вкл., табл. 1. Библиогр. 9 назв.

Рассматривается современное направление изучения земной поверхности – дистанционное зондирование Земли из космоса. Обсуждаются основные этапы получения информации из космоса – аппаратный уровень (получение снимков с искусственных спутников Земли) и программный уровень (обработка снимков с использованием компьютерных программ). Представлены физические основы зондирования Земли из космоса. Дана информация об основных характеристиках искусственных спутников; о различных аспектах использования информации из космоса в науке и практике.

We consider the up-to-date approach to the study of the Earth surface – satellite-based remote sensing. The main stages of data acquisition from Space – the hardware (image acquisition from satellites) and the software (computer processing of the images) stages, are discussed. The physical basics of the Earth observations from Space are described. Information about the main parameters of satellites and about various scientific and applied uses of satellite imagery is provided.

УДК 574.632

Сравнение различных методов оценки качества воды по бентосным сообществам. Юдина Д. С. // Водная среда Карелии: исследования, использование и охрана. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2003. С. 125–130: ил. 3, табл. 4. Библиогр. 28 назв.

Для определения изменений качества природных вод под воздействием животноводческих ферм использована индексная оценка. Приводятся основные современные индексы, пригодные для использования на водных объектах Северо-Западного региона, методы их расчета и соответствие классам качества вод. По результатам исследований предложены индексы, наиболее приемлемые для выявления влияния животноводческих ферм на качество вод.

The index approach was used to assess changes in the quality of natural waters exposed to cattle farming effects. Modern indices applicable in the Northwest Russia, calculation procedures and correlation with water quality classes are described. Indices best addressing the task of evaluating the effects of cattle farms on the water quality are proposed relying on the survey results.

УДК 556.535.4

Исследование изменчивости показателя кислотности реки Неглинки в зимне-весенний период. Сазонова А., Смирнова И., Колобо-

в а А., М ю л л я р и О. // Водная среда Карелии: исследования, использование и охрана. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2003. С. 130–133: ил. 3, табл. 2. Библиогр.

Дано описание методики измерения уровня, температуры и pH воды в р. Неглинке в устьевой ее части с целью оценки влияния городской территории на кислотность речной воды. Показано, что перечисленные характеристики заметно изменяются в различные по водности периоды – маловодный зимний и многоводный весенний. Влияние урбанизированной территории проявляется в изменении pH речной воды: от слабощелочной в зимний маловодный период до слабокислой реакции среды в весенний многоводный.

A technique for estimating the level, temperature and pH of water in the estuary part of the river Neglinka is described. The technique is to be used to assess the city impact on the water acidity. We show that the above parameters change significantly in periods with different water content – the winter low water and the spring high water. The impact of the urban area shows in the river water pH changing from weakly alkaline in the winter low-water period to weakly acidic in the spring high-water period.

УДК 556.558

Оценка качества воды прибрежья озера Логмозеро по организмам макрозообентоса. М а й о р о в а Е. // Водная среда Карелии: исследования, использование и охрана. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2003. С. 133–137: ил. 2, 1 на вкл., табл. 5. Библиогр. 9 назв.

Представлены результаты наблюдений школьников старших классов на водоеме, испытывающем значительное антропогенное воздействие. Приводится подробное описание методики работ. На основе большого объема собранного материала (65 проб) дана характеристика донной фауны и оценка качества воды литоральной зоны озера.

The paper deals with the results of observations carried out by senior schoolchildren on a lake exposed to a significant human impact. The technique applied is described in detail. Extensive material (65 samples) was treated yielding characteristics of the bottom fauna and an assessment of the water quality in the lake littoral zone.

ВОДНАЯ СРЕДА КАРЕЛИИ:
ИССЛЕДОВАНИЯ, ИСПОЛЬЗОВАНИЕ И ОХРАНА

Печатается по решению Ученого совета
Института водных проблем Севера
Карельского научного центра РАН

Редакторы: *И. Г. Варваровская, Л. В. Кабанова*
Оригинал-макет *Г. А. Тимонен*
Рисунки на обложке *Д. А. Дубровина*

Оригинал-макет подготовлен в РИО КарНЦ РАН
г. Петрозаводск, пр. А. Невского, 50
Серия ИД. Изд. лиц. № 00041 от 30.08.99 г.
Формат 60x84$^{1}/_{8}$. Уч.-изд. л. 13,0. Усл. печ. л. 16,7. Изд. № 35

Отпечатано ЗАО «Копистар» Тираж 300 экз.