



Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН
Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Карельский государственный
педагогический университет»



Российская Академия Наук



ВОДНАЯ СРЕДА КАРЕЛИИ: ИССЛЕДОВАНИЕ, ИСПОЛЬЗОВАНИЕ, ОХРАНА

МАТЕРИАЛЫ

**II республиканской школы-конференции молодых ученых
20–21.02.2006**

*Посвящается 60-летию КарНЦ РАН,
15-летию ИВПС КарНЦ РАН
и 75-летию КГПУ*

ПЕТРОЗАВОДСК
2006

Организационный комитет:

Филатов Н.Н., д.г.н., профессор, директор ИВПС КарНЦ РАН
Регеранд Т.И., к.б.н., ученый секретарь ИВПС КарНЦ РАН
Лозовик П.А., к.х.н., доцент, зав. лаб. гидрохимии и гидрогеологии ИВПС КарНЦ РАН
Гриппа С.П. к.г.н., доцент кафедры географии КГПУ, проректор по учебной работе
Потахин С.Б. к.г.н., доцент кафедры географии КГПУ, зав. кафедрой географии

Материалы школы-конференции представлены в авторской редакции

В настоящий сборник включены материалы II Республиканской школы-конференции молодых ученых «Водная среда Карелии: исследование, использование, охрана», которая посвящена 60-летию Карельского научного центра Российской академии наук, 15-летию Института водных проблем Севера КарНЦ РАН и 75-летию государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Карельский государственный педагогический университет».

В представленных тезисах и статьях рассматриваются результаты исследований, проведенных студентами КГПУ, аспирантами и молодыми учеными ИВПС КарНЦ РАН в области географии, гидрологии, геоэкологии, геоморфологии, гидрохимии, гидрофизики. Исследования осуществлялись при плодотворном сотрудничестве академического института ИВПС и высшего учебного заведения КГПУ, целью которого является работа с талантливой молодежью и подготовка кадров для научных учреждений в высшей школы в будущем.

СОДЕРЖАНИЕ

С.П. Гриппа. ПРИВЕТСТВИЕ	5
Т.И. Регеранд. ПРЕДИСЛОВИЕ	6
Н.Н. Филатов, В.В. Меншуткин. НЕКОТОРЫЕ ИТОГИ И ПЕРСПЕКТИВЫ ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ	8
Часть 1. ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ГЕОЭКОЛОГИИ И ГЕОГРАФИИ	9
С.П. Гриппа. УЧЕБНЫЕ ПОЛЕВЫЕ ПРАКТИКИ ПО ГЕОМОРФОЛОГИИ В РАЙОНЕ ВОДОСБОРНОГО БАСЕЙНА ОЗЕРА ПРЯЖИНСКОЕ	11
М.С. Потахин. ОБЗОР КЛАССИФИКАЦИЙ ВОДОЕМОВ КАРЕЛИИ	16
М.С. Богданова, В.П. Бусарова, Т.Б. Баскова. ОСОБЕННОСТИ ХОЗЯЙСТВЕННОГО ОСВОЕНИЯ ГЕОКОМПЛЕКСОВ ОСТРОВНЫХ ГЕОСИСТЕМ КАРЕЛИИ	22
А.П. Быков. ДЕНДРОИНДИКАЦИОННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ОСТРОВНЫХ ГЕОКОМПЛЕКСОВ КИЖСКОГО АРХИПЕЛАГА (ОНЕЖСКОЕ ОЗЕРО)	25
С.Ханолайнен, С.П. Гриппа. ДЕНДРОХРОНОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВОДОСБОРНОГО БАСЕЙНА ОЗЕРА ПРЯЖИНСКОЕ	30
А.В. Колоколов, С.Б. Потахин. ПОЭТИЧЕСКАЯ ГЕОГРАФИЯ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ КАРЕЛИИ	33
С.Б. Потахин. ПРОТИВОРЕЧИЯ СОВРЕМЕННОГО ВОДОПОЛЬЗОВАНИЯ.....	37
А.В. Гайдашева, С.Б. Потахин. ЗАГРЯЗНЕНИЕ ПРИБРЕЖНЫХ ГЕОКОМПЛЕКСОВ ОНЕЖСКОГО ОЗЕРА (на примере острова Брусно).....	39
Часть 2. ГИДРОЛОГИЯ	43
Ю.В. Голомах, Ю.А. Сало. СТРУКТУРА МНОГОЛЕТНЕГО ВОДНОГО БАЛАНСА ОЗЕРА ПРЯЖИНСКОЕ	45
Р.О. Жигадло, С.П. Гриппа. РЕЛЬЕФ ВОДОСБОРНОГО БАСЕЙНА ОЗЕРА ПРЯЖИНСКОЕ	50
Р.Э. Здоровеннов, О.В. Зимон. СИНОПТИЧЕСКАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ТЕЧЕНИЙ В ОНЕЖСКОМ ОЗЕРЕ	54
Г.Э. Здоровеннова, Д.А. Никельс. ОСОБЕННОСТИ ТЕРМИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ МЕЛКОВОДНОГО ОЗЕРА В ПЕРИОД ЛЕДОСТАВА	57
А.В. Толстикова. О НАБЛЮДЕНИИ ИНТРУЗИИ ОТНОСИТЕЛЬНО ТЕПЛОЙ ВОДЫ В УСТЬЕ ЧУПИНСКОЙ ГУБЫ БЕЛОГО МОРЯ В МАРТЕ-АПРЕЛЕ 2004 ГОДА	61

Часть 3. ГИДРОХИМИЯ	65
Н.А. Белкина, И.Ю. Потапова. ДОННЫЕ ОТЛОЖЕНИЯ ОЗЕРА ПРЯЖИНСКОЕ	67
Н.А. Дворак, И.Ю. Потапова, П.А. Лозовик. УСТОЙЧИВОСТЬ ОЗЕРА ПРЯЖИНСКОЕ К ЗАКИСЛЕНИЮ	71
М.С. Кононова, А.В. Рыжаков. ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ВОДЫ ОЗЕРА ПРЯЖИНСКОЕ	74
П.А. Лозовик, А.В. Сабылина, Н.Н. Мартынова, А.В. Рыжаков. РАЗВИТИЕ ГИДРОХИМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ В КАРЕЛИИ	77
А.В. Петрова, П.А. Лозовик. ХИМИЧЕСКИЙ БАЛАНС ОЗЕРА ПРЯЖИНСКОЕ	81
Л.Н. Пителина, Г.С. Бородулина, В.В. Тренин. ОЦЕНКА ХИМИЧЕСКОГО ПОДЗЕМНОГО СТОКА В ОЗЕРО ПРЯЖИНСКОЕ	85
А.В. Платонов. ИЗУЧЕНИЕ КИНЕТИКИ ОКИСЛЕНИЯ ЖЕЛЕЗА И МАРГАНЦА В ПРИРОДНЫХ ВОДАХ	89
И.Ю. Потапова, П.А. Лозовик. ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ КАРЕЛИИ К ЗАКИСЛЕНИЮ ПО БУФЕРНОЙ ЕМКОСТИ И КИСЛОТНО- НЕЙТРАЛИЗУЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ	93
М.Б. Зобков. АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ОБРАБОТКИ ГИДРОХИМИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ	99
Часть 4. ГИДРОБИОЛОГИЯ	103
А.П. Георгиев, М.С. Потахин. ХАРАКТЕРИСТИКА ВИДОВОГО СОСТАВА РЫБ НЕКОТОРЫХ ВОДОЕМОВ КАРЕЛИИ В СРАВНИТЕЛЬНОМ АСПЕКТЕ	105

ПРИВЕТСТВИЕ

Дорогие друзья!

Главной целью любого высшего учебного заведения является подготовка высококвалифицированных специалистов, которые бы успешно могли не только применять в своей работе знания, полученные в университете, но и быть творческими, инициативными педагогами-исследователями. Исследовательская работа студентов в Карельском государственном педагогическом университете играет большую роль в формировании их как грамотных специалистов. Получаемые в процессе освоения основных образовательных программ теоретические знания базируются на хорошо отработанной, иногда выверенной десятилетиями информации. Задача вузовского преподавателя заключается в том, чтобы стандартную программу снабдить новыми знаниями, углубить и расширить их диапазон.

Интеграция академической науки с высшим учебным заведением в наше время является насущной необходимостью. Привлекая сотрудников Карельского научного центра РАН к чтению лекций, руководству курсовыми и дипломными работами, ВУЗ устанавливает перед собой высокую планку в качественной подготовке не просто учителей, а инициативных, творчески работающих личностей, способных в дальнейшем привлечь к исследовательской работе учащихся школ. В этой творческой связке — наука — образование есть свой резон: дело в том, что научный сотрудник всегда находится на острие науки, именно он работает над новым, непознанным; в то же время вузовский преподаватель в силу своей профессиональной подготовки лучше знает, как обработать и изложить материал для студентов.

Карельским государственным педагогическим университетом и Карельским научным центром РАН накоплен богатый опыт в совместной работе. В нашем ВУЗе десятилетиями работают научные сотрудники разных институтов КарНЦ РАН: геологи, гидрологи, климатологи, почвоведы, биологи, историки, лингвисты и многие другие. Председатель президиума Карельского научного центра РАН д.б.н. А.Ф. Титов является заведующим и профессором кафедры ботаники и методики преподавания биологии в КГПУ. Директор Института водных проблем Севера КарНЦ РАН д.г.н. Н.Н. Филатов — профессор кафедры географии.

Хочу выразить надежду, что и в дальнейшем наше сотрудничество будет столь же плодотворным и интересным!

Проректор по учебной работе, к.г.н., доцент кафедры географии С.П. Гриппа

ПРЕДИСЛОВИЕ

Проведение II республиканской школы-конференции молодых ученых «Водная среда Карелии: исследование, использование, охрана» и издание ее материалов осуществлялись при финансовой поддержке Российской академии наук, предоставленной учебно-научному центру «Водные объекты Карелии и методы их исследования» Института водных проблем Севера КарНЦ РАН по программе «Поддержка молодых ученых».

Учебно-научный центр «Водные объекты Карелии и методы их исследования» был создан при Институте водных проблем Севера КарНЦ РАН в 2002 году в связи с необходимостью совершенствования научно-образовательной деятельности ИВПС в рамках сотрудничества с МГУ им. Ломоносова и КГПУ по работающей в то время программе ФЦП «Интеграция», договора о сотрудничестве с ГОУ «Институтом повышения квалификации работников образования» о проведении стажировок для учителей естественного цикла средних школ Республики Карелия «Наука – школе», международных проектов «Экологическое просвещение для учителей Карелии» с Центром окружающей среды Кайнуу (Финляндия), «Устойчивое использование вод» с университетом г. Упсала (Швеция), «Балтийский университет» (Санкт-Петербургский университет), а также при тесной научной и просветительной деятельности с национальными парками «Водлозерский» (Республика Карелия) и «Коли» (Финляндия).

Для работы центра в ИВПС сформирован творческий коллектив, выделен и подготовлен кабинет для проведения теоретических занятий, который оборудован компьютерной техникой с возможностью выхода в Интернет, обеспечена возможность использования для полевой практики НИС «Эколог» и стационара «Вендюры».

Уникальной особенностью созданного при ИВПС КарНЦ РАН учебно-научного центра является непрерывность обучающего процесса от школьника, студента до преподавателя средних учебных заведений, многие из которых занимаются научно-исследовательской деятельностью со своими учащимися. Данный замкнутый цикл дает возможность наблюдать результаты процесса обучения в центре и координировать его с учетом изменений в системе образования и развития научно-исследовательской базы ИВПС.

Большое значение в организации обучающего процесса учебно-научного центра ИВПС имеет возможность использовать кабинет, укомплектованный компьютерной техникой и лекционным оборудованием, предназначенный для проведения теоретических занятий, комплект полевого лабораторного оборудования для проведения практических занятий, научно-исследовательское судно «Эколог» и полевой стационар, а также коллектив научных сотрудников, ведущих профессиональную преподавательскую деятельность.

В 2005 году за счет использования целевых государственных средств, направленных на интеграцию науки и образования, были проведены теоретические и практические мероприятия в рамках работы учебно-научного центра «Водные объекты Карелии и методы их исследования», организована и проведена школа-конференция молодых ученых.

В 2005 г. во время летней полевой практики студентов ПГУ и КГПУ в рамках работы учебно-научного центра ИВПС организованы и проведены комплексные научные работы, включающие гидрологические, гидрохимические, гидробиологические, гидрогеологические, геоэкологические, токсикологические исследования оз. Пряжинское и его водосборной территории. Отобранные пробы проанализированы совместно со студентами в лабораториях ИВПС с использованием оборудования и реактивов института. На основе полученных результатов будет подготовлено около 10 курсовых и дипломных работ, которые представлены на II республиканской школе-конференции молодых ученых «Водная среда Карелии: исследования, использование и охрана», организованной в рамках работы учебно-научного центра ИВПС, и опубликованы в виде материалов конференции.

Деятельность учебно-научного центра представлена на официальном сайте ИВПС КарНЦ РАН в разделе «Молодежь» по адресу: <http://nwpi.krc.karelia.ru>.

Руководитель учебно-научного центра, ученый секретарь ИВПС к.б.н. Т.И. Регеранд

НЕКОТОРЫЕ ИТОГИ И ПЕРСПЕКТИВЫ ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Н.Н.Филатов, В.В. Меншуткин

Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН

Недостаток в пресной воде отмечается на территории, составляющей около 60% всей площади суши. По данным Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), примерно 1,2 миллиарда человек страдают от нехватки питьевой воды. Таким образом, вода является важнейшим ресурсом для поддержания жизни, экономической деятельности.

При углублении процесса глобализации к 2020–2100 годам мир может неизменно измениться по сравнению с настоящим, встанут проблемы перераспределения ресурсов, а продажа воды даже на большие расстояния станет весьма актуальной. Положение еще более обострится с продолжающимся ростом населения и изменением климата. К тому же вода, или точнее то, что с ней связано, не всегда является благом. Ежегодно большой урон мировой экономике приносят наводнения, паводки, штормовые нагоны и другие явления. В последние годы большие проблемы связаны с техногенными авариями, катастрофами, а также террористической деятельностью. Перечисленное показывает новые вызовы, результаты которых необходимо не только устранить, но и разработать методы предвидения их. К тому же научные знания, ноу-хау, инновации в области изучения водных проблем могут представлять значительный практический интерес. В настоящее время «водный» бизнес составляет около 40 % от нефтяного.

В последние годы стало очевидным, что ряд исследований, проводимых в области гидрологии, лимнологии, океанологии, гидробиологии, перестал удовлетворять всевозрастающим по сложности и значимости проблемам, которые ставит перед современной наукой общество как на региональном, так и на государственном и глобальном уровнях. Практика ставит перед наукой грандиозную задачу оптимального управления экологическими системами, для решения которой традиционные методы оказываются малоприменимыми.

Только в последней трети XX века гидрология, океанология, лимнология стали рассматривать динамику своих элементов не только во времени, но и пространстве. Этому способствовало развитие средств аэрокосмического наблюдения, а также появление геоинформационных компьютерных систем. В области изучения водных экологических систем существенную роль стали играть эффекты пространственной неоднородности, пятнистости и трехмерной гидродинамической и гидробиологической структуры.

Практика XXI века спрашивает у исследователей не только как оценить биоразнообразие природных сообществ, а как его сохранить или изменить видовой состав в желаемом направлении. Не как измерить продукцию популяций зоопланктона или промысловых рыб (что, конечно, само по себе очень интересно), а сколько и как следует ловить рыбу, чтобы при получении максимальных выловов не только не подорвать промысловые запасы, но и не нарушить всей экологической системы водоемов, морей и океана. Для решения подобных задач одних статистических описаний или вероятностного анализа мало, нужно понимание и описание процессов, происходящих в экологических системах. Все большее внимание должно уделяться математическому моделированию – одному из главных методических приемов.

Важным в ближайшие годы становится создание таких теорий, которые смогли бы, если не предотвратить, то предвидеть последствия возможных катастроф и дать рекомендации по ликвидации их последствий. Задача наук о Земле – гидрологии, лимнологии и океанологии – это создание в наступившем веке теории динамики экологических систем, способной к практическому прогнозированию не только в обычных, но и в экстремальных ситуациях. Признание факта стохастичности водных экологических систем существенно повышает требования к аппарату экологического про-

гнозирования и увеличивает значимость длинных рядов непрерывных наблюдений, которые требуется получить с учетом аппарата теории эксперимента. Необходимо при этом учитывать также принцип омпотентности (Налимов, 1983), суть которого сводится к тому, что существуют факторы, которые вчера или сегодня не играли значимой роли в динамике той или иной экосистемы, но которые могут оказывать решающее воздействие на нее в будущем.

Все более актуальными становятся проблемы изучения влияния человека на экосистемы, изучение взаимодействия человека и природы. Это породило представление об эколого-экономических и даже социо-эколого-экономических системах. Экология стала составной частью региональной и мировой макроэкономики (Atkinson et al., 1997). Экологические системы в современном мире – это почти всегда эколого-экономические системы.

В XXI веке науки, связанные с водой становятся междисциплинарными, для решения задач которых необходимо создание коллективов специалистов различных дисциплин, объединенных не только единым организационным началом, местом проведения исследования или средством транспорта (например, экспедиционным судном), но и единой идеей и задачей. При этом вряд ли удастся решить поставленные проблемы только научным составом отдельных институтов, лабораторий. Потребуется объединение лучших специалистов и групп исследователей разных организаций. Особое значение приобретают работы, связанные с задачами управления ресурсами водных систем, необходимо переходить от теоретических работ к решению проблем оптимального управления природными объектами, ресурсами.

Многие важные сведения для понимания функционирования водной экосистемы и прогнозирования ее поведения обычно определяют не на основе специальных натуральных экспериментов, фундаментальных исследований, а в первую очередь на основе использования разных моделей. Эффективность использования экосистемы зависит от степени адекватности отображения состояния и динамических характеристик эксплуатируемой экосистемы в созданной модели. В свою очередь точность описания свойств реальной экосистемы ее моделью зависит как от достоверности теоретических сведений, положенных в основу модели, так и от точности оперативной информации о состоянии реального озера. При постановке исследований важно определить соотношение наблюдений и фундаментальных, модельных экспериментов по разработанным в настоящее время критериям (Меншуткин, Показеев, Филатов, 2004).

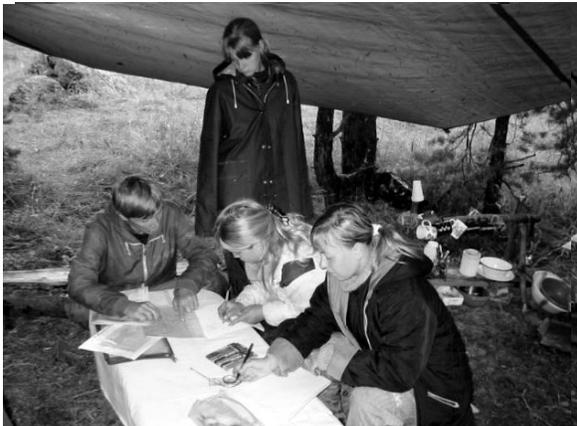
Предлагаемый краткий анализ состояния знаний наук о воде ни в коей мере не претендует на полноту. Так, например, вне рассмотрения остались интереснейшие вопросы связи современной экологии с проблемой создания искусственного интеллекта, с глобальными изменениями климата, с этическими аспектами поведения человека по отношению к окружающей среде и др. Однако сказанного достаточно для того, чтобы географы, гидрологи, океанологи, гидробиологи, занимающиеся каждый собственной и, несомненно нужной и актуальной проблемой, взглянули на пути развития науки несколько шире и дальше, чем этого требует их повседневная научная и практическая деятельность. Таковы вызовы времени и такова необходимость смены парадигм.

Новая экологическая парадигма еще не выработана и находится в стадии становления, причем усилия к этому прилагаются. История науки показывает, что теоретическое оформление новой парадигмы происходит обычно на завершающем этапе переходного периода от одной системы представлений о природе и методологии данной науки к следующей. Для геоэкологии этот завершающий этап еще не наступил, но перечисленные выше тенденции свидетельствуют об интенсивном поиске новых форм и методов. Дальнейшее развитие наук о воде должно также учитывать новые современные разработки в области искусственного интеллекта, моделирования, постановки натуральных экспериментов, использовать всю мощь имеющихся достижений, чтобы отвечать на актуальные проблемы и вызовы времени.

И мы уверены, что молодому поколению исследователей удастся ответить на поставленные вопросы, решить сложные проблемы современной науки и практики.

Часть 1

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ГЕОЭКОЛОГИИ И ГЕОГРАФИИ



УЧЕБНЫЕ ПОЛЕВЫЕ ПРАКТИКИ ПО ГЕОМОРФОЛОГИИ В РАЙОНЕ ВОДОСБОРНОГО БАССЕЙНА ОЗЕРА ПРЯЖИНСКОЕ

С.П. Гриппа

Карельский государственный педагогический университет

Введение

Полевые практики по геоморфологии – неотъемлемая часть программы подготовки будущих учителей географии и естествознания. Полевые исследования – это реальная возможность соединить глубину теоретических знаний с практическими умениями и навыками. Весь фактический материал, собираемый в процессе работы, в дальнейшем служит основой курсовых и дипломных проектов. Практики проводятся в летнее время в районе восточного побережья Пряжинского озера как территории, менее затронутой антропогенным влиянием.

Закрепление студентами теоретических курсов основано на знаниях о геологическом строении, характеристиках рельефа, его генезисе, современных геоморфологических процессах, содержании и принципах составления геоморфологических карт. Практические занятия предусматривают геоморфологическое описание территории по топографической карте, составление геолого-геоморфологического профиля, описание истории развития рельефа, а также составление геоморфологической карты (Гардинер, Дакомб, 1990).

Формы рельефа и почвенный покров изучаются студентами не только как основные компоненты ландшафта, но и как система взаимодействующих единиц природного комплекса. При таком подходе практиканты получают наиболее полное представление о связях, существующих в природе. По завершении комплекса практических работ студенты закрепляют знания, полученные в аудиториях и приобретают опыт работы с приборами и оборудованием в различных геокомплексах.

Многое происходящее в природе можно объяснить, отслеживая причинно-следственные связи, чему призван помочь системный подход или системный анализ. Применение генетического, структурно-функционального, географического, картографического методов исследований помогает всесторонне изучить рельеф как лимитирующее вещество и энергию фактор при формировании геокомплекса (Полевые практики..., 1980).

Полевые практики студентов-географов также важная часть подготовки учителя-географа, который в соответствии со школьной программой будет проводить практические занятия в различных природных комплексах. Подготовленный таким образом учитель сможет во внеурочное время вести предметные кружки, формировать исследовательские группы школьников, организовывать экологические лагеря и т.п.

Студенты и школьники, прошедшие через систему полевых практик, как правило, получают навыки общения в коллективе в полевых условиях (иногда в экстремальных, например, связанных с плохой погодой); осваивают специфику полевого быта: постановку палаток, заготовку дров, разжигание костров, приготовление пищи для больших групп; учатся вести себя в природе, в том числе с точки зрения безопасности жизнедеятельности.

Материалы и методы

Полевые геоморфологические исследования несут в себе систему знаний и подходов к определению и описанию форм поверхности территории, их происхождения, строения слагающих пород, измерению элементов неровностей, а также интенсивности происходящих на ней процессов. При проведении полевых работ учитывается фактор времени как важный элемент в геоморфологических исследованиях. При определении типа рельефа устанавливается его происхождение, после чего формы поверхности отображаются посредством нанесения на карту условных знаков (Гарди-

нер, Дакомб, 1990). Картографический метод несет в себе больше информации, чем, например, простая фиксация границ между крутыми и пологими склонами; он особенно удобен, если условные обозначения наносятся на рабочую карту, имеющую горизонтали. Горизонтали передают высоту местности, а форма поверхности характеризуется условными знаками, при этом с большей точностью, чем изолиниями (Полевые практики, 1980).

Также весьма информативен метод поперечного и продольного профилирования возвышенностей или склонов долины. С этой целью создаются профильные карты, которые дают наглядное представление, например, о глубине вреза водотока или крутизне склона. В учебных полевых практиках профиль можно вычертить, используя простейший школьный нивелир (рис. 1, 2).

Для успешного проведения полевых исследований и получения результатов разработан общий алгоритм проведения работ: составление плана исследований, изучение дополнительной литературы по территории, анализ картографического материала (топографических, геологических, общегеоморфологических карт). На первом этапе нами устанавливались первичные (основные) для исследуемой территории формы рельефа: гляциальные, эоловые, флювиальные, береговых процессов и другие, а затем вторичные (наложенные на основные). Второй этап включал в себя непосредственное знакомство с территорией, рекогносцировку на местности: определение наиболее показательных в геоморфологическом отношении площадок, направлений профилей, маршрутов. На третьем этапе проводились измерения элементов рельефа, их картографирование и вычерчивание профилей; изучался состав, строение и залегание горных пород, а также проводился их гранулометрический анализ. Важным пунктом на этапе исследований является регистрация современных процессов рельефообразования. Далее следует камеральная обработка результатов (сначала в полевых, а затем в лабораторных условиях) и подготовка общего отчета.

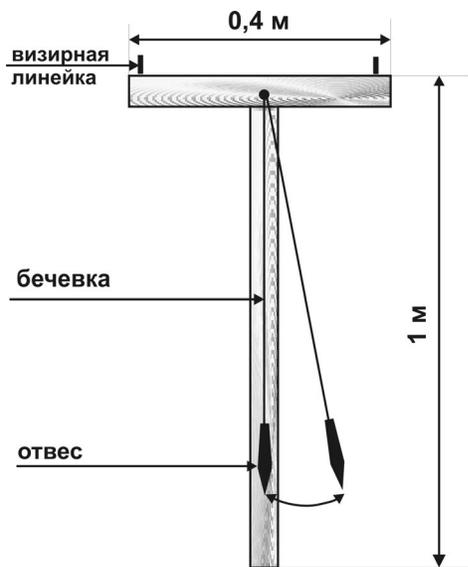


Рис. 1. Школьный нивелир

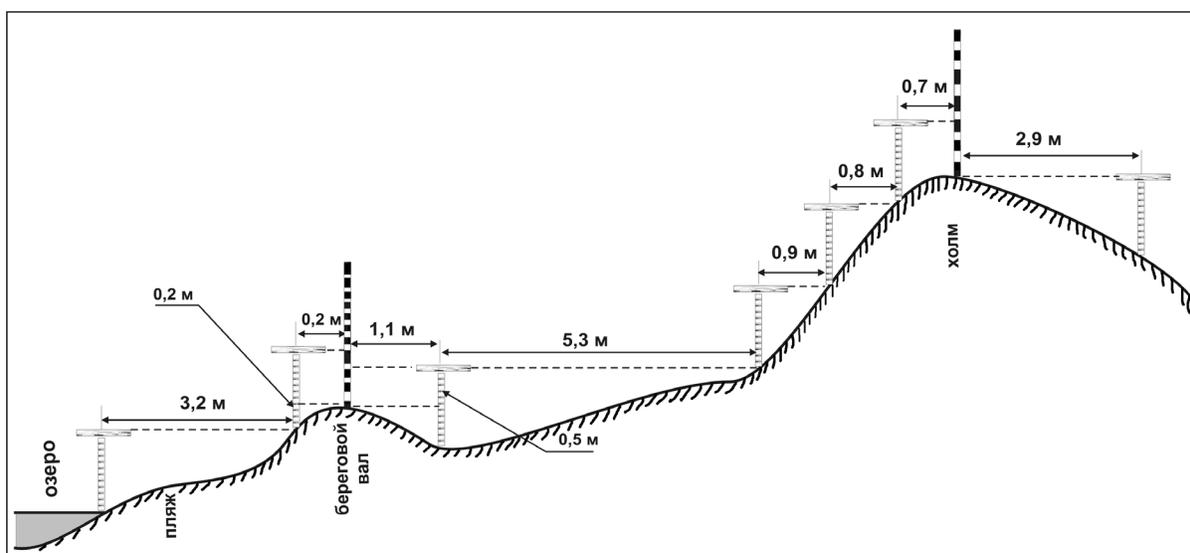


Рис. 2. Пример нивелирования побережья озера и холма (ватерпасовка)

Во время полевой практики нами выделялись следующие элементы рельефа: положительные и отрицательные формы; по масштабу мы различали: микрорельеф (колебания высот до 1–2 м), мезорельеф с колебаниями высот от нескольких метров до нескольких десятков метров (чему обычно соответствуют и размеры занимаемой площади) и макрорельеф с еще большими амплитудами высот. Морфометрические показатели, записанные в полевой дневник, дополнялись и описательными данными, например: «вершина холма средней относительной высоты до 10 м имеет в профиле округлую (или плоскую усеченную, или острую) форму» или «термокарстовая воронка с крутыми склонами (до 45°) и глубиной 8 м имеет изрезанные эрозионными рытвинами борта». При определении размеров небольших форм рельефа расстояния измерялись шагами или рулеткой, а для более крупных форм пользовались угломерными инструментами.

Другой важнейшей задачей исследования является установление происхождения (генезиса) и времени образования форм рельефа. Эти вопросы легче всего решать в полевой обстановке, т. к. надо учитывать все особенности географической среды, определяющей комплекс экзогенных рельефообразующих сил. Для понимания происхождения рельефа необходимо знание геологического строения местности – характера слагающих ее горных пород и условий их залегания. Очень существенны физические и химические свойства пород: проницаемость или водоупорность, растворимость, трещиноватость, однородное или неоднородное сложение, химическая устойчивость в условиях земной поверхности и т. д.

Для целей морфологического анализа на район полевой практики и прилегающую территорию обычно составляется гипсометрическая схема. Затем проводятся работы на бланковых картах, где нанесены абсолютные (или относительные) высоты современной поверхности. Выделение мелких форм (холмов, гряд, ложбин, долин и др.) осуществляется непосредственно на основании анализа гипсометрической карты. На карте проводятся границы отдельных форм, определяются их длина, ширина, высота (глубина) и крутизна склонов.

Начинается полевая практика с обзорной лекции, на которой даются краткая характеристика природы района и его геолого-геоморфологическое строение. Студенты знакомятся с основными видами планируемых полевых работ, требованиями по их выполнению и планом отчета. Полевые исследования обычно состоят из трех органически связанных видов работ: геоморфологической экскурсии, самостоятельной работы студентов на ключевых участках и камеральной обработки собранного материала.

Во время рекогносцировочной геоморфологической экскурсии студенты знакомятся с различными формами и типами рельефа, основными приемами работы и методами полевых исследований. Во время экскурсии студенты обучаются ведению геоморфологических записей в полевом дневнике. Записи содержат следующие сведения: дату, место исследования (или номер маршрута), номер точки описания (этим же номером отмечается точка на карте фактического материала), название геоморфологического объекта (холм, гряда и т. д.), его местоположение по отношению к постоянным ориентирам, размеры (длина, ширина, глубина и т. д.), характерные морфологические особенности, геологическое строение.

При описании геоморфологических объектов в полевом дневнике отмечаются в первую очередь данные, которые объективно фиксируются наблюдателем в поле. Все соображения, связанные с возможной их интерпретацией, заносятся в дневник после изложения фактических данных. Текстовые описания сопровождаются зарисовками, иллюстрируются разрезами, профилями и схематическими картами, фотографируются.

Детальное описание точек осуществляется на характерных участках, где наблюдаются четкие геоморфологические закономерности. Между точками можно ограничиться маршрутными наблюдениями, которые также заносятся в дневник. Одновременно с дневником ведется рабочая карта-схема, в которой отмечаются маршрут и местоположение точек наблюдений (с номером), а также геоморфологических объектов (в масштабе или условными знаками). Основная задача геоморфологической экскурсии – отработка студентами простейших методов геоморфологических исследований различных форм и типов рельефа.

После ознакомления с методами полевых исследований студенты (обычной бригадой) проводят самостоятельное изучение одного из типичных участков. Основная задача второго этапа – овла-

дение навыками самостоятельных геоморфологических исследований. Получив участок, бригада проводит его рекогносцировку, в процессе которой выясняет геологические объекты, подлежащие детальному и обзорному изучению, и составляет план изучения.

Работа на участках включает: сбор морфологических данных по отдельным формам рельефа (геометрическая форма, очертания, ширина, высота, крутизна склонов, характер подошвы, бровки, поверхности и др.), изучение их взаимных соотношений (разбросаны одиночно, располагаются беспорядочно, образуют линейно вытянутые комплексы и т. д.), изучение внутреннего строения основных форм рельефа — литологического состава пород, их текстурных особенностей, условий залегания и т. д. С этой целью проводится расчистка обнажений и закладка шурфов.

Собранный полевой материал обрабатывался, при этом вычерчивались геолого-геоморфологические разрезы, профили, фрагменты геоморфологической карты. Основной задачей текущих камеральных работ являлась систематизация материала, выяснение генезиса отдельных форм и уточнение программы работ на следующий этап.

Результаты и обсуждение

Территория водосборного бассейна Пряжинского озера представляет большой интерес для проведения учебных полевых практик как для студентов-географов, так и для учащихся местной школы, изучающих свой родной край в курсе географии. Это связано с разнообразием форм рельефа и типов отложений.

Пряжинское озеро лежит в котловине, образованной деятельностью плейстоценовых ледников, обрамленной гляциальными (ледниковыми) и флювиогляциальными (водно-ледниковыми) возвышенностями и грядами. Деятельность ледников была мощным фактором, оказавшим большое влияние на формирование как мелких, средних, так и крупных форм рельефа в древнеледниковой области. Однако крупные формы рельефа на полевой практике являются объектом экскурсионных наблюдений. Объектами непосредственных исследований на полевой практике в районе Пряжинского озера являются обычно аккумулятивные (озы, флювиогляциальные холмы, зандры и т. д.) и денудационные формы ледникового рельефа.

В зависимости от генезиса слагающих рельеф пород в районе исследования выделяются ледниковые, водно-ледниковые и озерно-ледниковые типы рельефа, а по морфологическим признакам — плоские и плосковолнистые, мелкохолмистые, холмистые и крупнохолмистые поверхности. Условно к плосковолнистым равнинам относят участки с амплитудой высот до 4-5 м, мелкохолмистым — до 10 м, холмистым — 10-20 м, крупнохолмистым — 20-40 м.

С юго-востока Пряжинское озеро обрамлено холмистыми и крупнохолмистыми равнинами, сложенными моренными отложениями, которые представлены валунными суглинками и супесями. Анализ текстур и вещественного состава морен позволяет определить их тип (основная, абляционная, локальная, абрадированная) и тем самым уточнить условия формирования моренного рельефа. Северо-восточная часть водосборного бассейна сложена гравийно-песчаными алевритовыми моренами и слабосортированными песками озовых гряд, водно-ледниковых возвышенностей и небольших зандровых равнин. С запада к озеру примыкают песчано-гравийные отложения, сформированные вне озера. По периметру озера узкой полосой, шириной до первых десятков метров, распространены озерно-ледниковые отложения, которые формируются в результате абразионно-аккумулятивной деятельности приледниковых водоемов.

Аккумулятивные озерно-ледниковые равнины сложены с поверхности осадками озерного типа: однородными мелко- и среднезернистыми горизонтально-слоистыми песками, супесями, суглинками и глинами. Одним из своеобразных типов осадков озерно-ледниковых равнин являются ленточные глины, которые можно использовать для определения времени существования приледниковых водоемов. Изучение озерно-ледниковых равнин лучше всего проводить по маршрутам, перпендикулярным древней береговой зоне, поскольку в этом направлении обычно наблюдается смена фаций озерно-ледниковых отложений мелководных на более глубоководные и закономерный переход абразионных равнин в аккумулятивные.

В восточной части водосборного бассейна озера находится фронтальная зона краевых ледниковых образований. Именно здесь проходит маргинальная граница невской стадии деградации верхневальдайского ледника. В этой зоне находятся формы рельефа, отмечающие положение края ледника, которые могут быть представлены как водно-ледниковыми, так и моренными типами рельефа. К югу расположены зафронтальные формы, возникшие на занятой ледником территории и представлены холмами, грядами и котловинами, сложенными основной мореной. К северу — предфронтальные образования, которые представлены в основном водно-ледниковыми типами рельефа: зандрами, озерно-ледниковыми равнинами.

При проведении учебной полевой практики в бассейне озера Пряжинское были установлены следующие объекты для исследования: озовые гряды, абрадированные морены и моренные возвышенности, зандровые поля, озерные террасы, болота, временные и постоянные водотоки (ручьи), песчано-гравийные карьеры и др.

1. Озовая гряда, протянувшаяся к северо-востоку от центральной части восточного побережья озера примерно на 5-6 км, имеет относительную высоту более 20 м. В центральной ее части находится песчано-гравийный карьер, который нарушает целостность гряды, но именно это позволяет наблюдать оз в разрезе, определять его слоистость и гранулометрический состав.

2. Пример абрадированной морены можно наблюдать на некоторых склонах моренных возвышенностей. Она представлена большим количеством валунов размером до 0,5 м и вытянута в одном направлении, мелкозем отсутствует. Такие скопления валунов получили название «каменные речки».

3. Русло ручья Дегенс, который впадает в озеро Пряжинское с восточной стороны, представлено абрадированной мореной. Водоток в летнее время слабый, а вымывание мелкозема происходит в основном во время весеннего половодья.

4. Бобровая плотина, которая находится на ручье Дегенс, примерно в 500 м от устья, является хорошим примером биогенного влияния на рельеф. При этом происходит заболачивание лесов и гибель древостоя.

5. Озерные террасы не имеют четко выраженных поверхностей и перегибов. Они лучше фиксируются в северной и южной частях бассейна озера. На подрезанных при строительстве дороги склонах хорошо наблюдается горизонтальная слоистость озерных отложений.

6. Пляж озерный представлен в небольшой, протяженностью до 300 м, неглубоко вдающейся в берег бухте на восточном берегу озера. Ширина пляжа до 10 м. Он отделяет от озера небольшое верховое болото.

7. Абразионные и абразионно-аккумулятивные типы берегов представляют большую часть берегов Пряжинского озера и лучше наблюдаются на восточном и северном побережьях.

8. Болотные отложения наблюдаются по восточному побережью озера Пряжинское за озовыми грядами. Мощность торфяной толщи составляет 1,9 м, что способствует определению периода торфонакопления.

9. Антропогенные формы рельефа: песчано-гравийные карьеры, гидротехнические сооружения и др.

Заключение

Результатом учебной полевой практики студентов является подготовка отчета, который состоит из текстовой и графической частей. В отчете дается анализ рельефа, его основные характеристики, происхождение, характерные черты. Устанавливаются причинно-следственные связи компонентов природных комплексов. Графическая часть включает в себя несколько поперечных и продольных профилей озовых гряд, геоморфологическую карту исследованной территории, схемы слоистости разрезов, фотографии и рисунки форм рельефа. Для учебных целей наиболее удобными являются морфогенетические карты, поскольку они дают синтезированное представление о рельефе. Под морфогенетическими типами рельефа понимаются участки земной поверхности, характеризующиеся определенными чертами рельефа и отражающие особенности его генезиса.

Отчет о геоморфологических исследованиях составляется по следующему плану:

- 1) географическое положение места практики, его размеры, время проведения, состав участников, распределение обязанностей;
- 2) цели и задачи полевой практики;
- 3) краткая физико-географическая характеристика территории (составляется по литературным данным с учетом полевых наблюдений); в этом разделе отмечаются важнейшие особенности природы, оказывающие влияние на развитие рельефа;
- 4) характеристика морфоструктуры; в этом разделе излагаются сведения о геологическом строении территории, необходимые для понимания особенностей формирования рельефа (стратиграфия, условия залегания, литологический состав пород, их трещиноватость и т. д.); наиболее детально приводятся данные по строению четвертичных отложений; рассматривается рельефообразующая роль структур, новейших тектонических движений и выделяются типы морфоструктур;
- 5) характеристика морфоскульптуры; в разделе рассматриваются основные типы экзогенного рельефа, развитые на изучаемой территории (морфология, строение, генезис), отмечаются закономерности их распространения и взаимного соотношения;
- 6) в разделе «История развития» характеризуются основные этапы развития рельефа, они базируются на изучении разновозрастных элементов рельефа;
- 7) в разделе «Современные рельефообразующие процессы» рассматриваются современные тектонические движения (по карте современных движений), склоновые, оползневые, эоловые процессы, проявления плоскостной, глубинной и боковой эрозии и т. д., определяются меры борьбы с возможными их отрицательными последствиями;
- 8) влияние рельефа на хозяйственную деятельность; здесь рассматривается влияние рельефа на размещение населенных пунктов, дорог, сельскохозяйственных угодий, промышленных предприятий, рекреаций и т. д.; антропогенные формы рельефа; рельеф и проблемы охраны природы;
- 9) завершается отчет разделом «Использование материалов полевых геоморфологических наблюдений в школьной практике» (на уроках географии, при подготовке и проведении экскурсий, в природоохранительной работе с учащимися).

Литература

- Гардинер В., Дакомб Р. Полевая геоморфология: Пер. с англ. – М., 1990. 239 с.
Полевые практики по географическим дисциплинам: Учеб. пособие для студентов пед. ин-тов по геогр. спец. / Под ред. В.А. Исаченкова. – М., 1980. 224 с.

ОБЗОР КЛАССИФИКАЦИЙ ВОДОЕМОВ КАРЕЛИИ

М.С. Потахин

Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН

Среди наиболее сложных теоретических проблем лимнологии одной из первых следует назвать проблему классификации озер. В настоящее время существует большое количество классификаций, в основу которых положены отдельные признаки водоемов. Множество классификаций объясняется комплексностью лимнологии, объединяющей специалистов различных областей знания, а также тем, что озера представляют интерес с разносторонних научных и прикладных точек зрения.

Лимнологические исследования в пределах Карелии привели к накоплению большого объема научной информации и разработке различных классификаций. Среди множества лимнологических классификаций можно выделить следующие группы: генетические, морфометрические, термические, гидробиологические, гидрохимические, гидробиологические и др. К сожалению, объем статьи не позволяет привести подробный обзор классификаций озер района. Поэтому мы остановимся на некоторых из них.

Следует отметить, что классификации водоемов строятся на основании их свойств, которые определяются физико-географическими особенностями территории. Для Карелии такой особенно-

стью является расположение ее территории на Балтийском (Фенноскандинавском) кристаллическом щите докембрийского возраста, перекрытым четвертичными отложениями, в умеренном климатическом поясе, в зоне избыточного увлажнения.

Генетические классификации. Первые классификации генетических типов озерных котловин относятся к ранним периодам развития лимнологии. Как правило, они основывались на убеждении, что происхождение озерной котловины определяет основные типические особенности озера. Со становлением науки стала очевидна ошибочность этих взглядов. Так, М. А. Первухин (1937) при рассмотрении ранних, в основном зарубежных, генетических классификаций высказал мнение, что тип озера является функцией развития его в определенных физико-географических условиях. Только на ранних стадиях развития морфология озера полностью определяется происхождением, во время дальнейшего развития различия между генетическими типами могут исчезать.

Расположение территории Карелии на Балтийском (Фенноскандинавском) кристаллическом щите, перекрытом слоем четвертичных отложений водно-ледникового происхождения, определяет генезис озерных котловин. Так, Г. С. Бискэ и А. Д. Лукашов (1970) при разработке генетической классификации подчеркивают, что озера Карелии имеют сложный генезис, но главная роль в формировании их котловин принадлежит тектоническому или ледниковому фактору рельефообразования. В процессе функционирования озерные котловины подвергаются воздействию второстепенных факторов (работе ветра, волн, рек и т.д.), которые не приводят к значительным изменениям, а лишь способствуют созданию отдельных деталей. Поэтому в качестве основных типов авторы выделяют *тектонические* и *ледниковые* котловины. Первые связаны либо с разрывными нарушениями, либо со складчатыми структурами, вторые — с аккумулятивной и экзарационной деятельностью ледника, и их распространение большей частью также подчинено тектонике. Данная классификация, созданная специалистами-геологами, носит явно выраженную геолого-геоморфологическую направленность.

Из генетических классификаций также большой интерес представляет работа Ю. Б. Литинского (1962). В ней в качестве основных типов, помимо *тектонических* и *ледниково-аккумулятивных* котловин, автор выделяет *тектонико-ледниковые* (двойственные по генезису) котловины, а также второстепенные *водно-аккумулятивные*, *водно-эрозионные*, *карстовые*, *вторичные*, *зоогенные* и *искусственные* озера. В статье широко затрагиваются вопросы геоморфологии озер, под которой автор подразумевает изучение происхождения озерных котловин, динамики озерных процессов и законов формирования побережья, а также основных факторов, формирующих рельеф ложа озер (тектоники, седиментации) и вопросов геохронологии в сочетании с палеолимнологией и палеогеографией водоемов. В работе делается вывод о том, что комплексная классификация озер Карелии должна создаваться на генетической основе.

Морфометрические классификации. Морфометрия озер представляет собой совокупность методов и приемов количественного и качественного выражения формы и размеров котловин и объема заполняющих их вод. Особенности озерных котловин характеризуются различными абсолютными и относительными величинами — морфометрическими характеристиками (площадь, длина, ширина, глубина) и показателями (получаются как производные от характеристик). Эти величины имеют большое значение при сравнительном морфологическом изучении озер и отдельных сторон их режима, а также позволяют оценить принадлежность водоема к тому или иному типу.

Из морфометрических показателей, определенных Г. Ю. Верещагиным (1930), в работе, построенной на изучении озер Карелии, наибольшее распространение получили показатели «развития»¹, «открытости»², «емкости»³ и др. С. В. Григорьевым (1958) при изучении озер Карелии были введены показатели «островистости»⁴, «удлиненности»⁵ и др., которые также получили распространение в лимнологических исследованиях. На основании значений показателей авторами было проведено разделение озер на типы.

¹ Отношение площади круга с длиной окружности, равной береговой линии озера (внешний круг), к площади озера.

² Отношение площади водного зеркала к средней глубине.

³ Отношение средней глубины озера к его максимальной глубине.

⁴ Отношение суммарной площади островов озера к его полной площади, в процентах или долях единицы.

⁵ Отношение наибольшей длины озера к его средней ширине.

Первоначальная форма озерных котловин связана с окружающим рельефом и изменяется под воздействием процессов, происходящих в озере и на водосборе. Несмотря на огромную роль лимнологических процессов, главной морфологической особенностью озер Карелии является ярко выраженная связь озерных котловин с рельефом. Эта связь проявляется в распределении озер по территории, находит выражение в различных морфометрических характеристиках и объясняется геологической молодостью современного рельефа и озерно-речной сети.

Обобщение морфометрических характеристик и показателей основных генетических типов озер Карелии было проведено К. Д. Литинской (1976). Так, для озер тектонического генезиса характерны вытянутые, реже вытянутые с лопастными отклонениями формы котловин, для ледниково-тектонических озер — лопастные и овально-лопастные, для ледниковых озер — овальные, реже овально-лопастные котловины и т.д.

Термические классификации. К настоящему времени известно более 30 термических классификаций и их вариантов. Большое количество классификаций объясняется связью (прямой или опосредованной) всех озерных процессов с температурой воды, а также тем, что термический режим является одним из ведущих экологических факторов, определяющих степень развития гидробионтов.

Нахождение территории Карелии в умеренном климатическом поясе обуславливает температуру поверхности озер летом выше, а зимой ниже 4 °С со значительными сезонными колебаниями (класс умеренных озер, согласно глобальной классификации, разработанной в 1892 году Ф. Форелем). Как следствие подобного распределения температур, водоемы характеризуются двумя полными конвективными перемешиваниями водной массы в течение года — весной и поздней осенью (класс *димиктических* озер Г. Хатчинсона и Г. Леффлера).

Примеры некоторых классификаций озер умеренной зоны, основанные на различных принципах детализации, приведены в *табл. 1*. Из этих работ непосредственно на материалах изучения термического режима озер Карелии была построена классификация В. А. Фрейндлингом (1962, 1969). Большой интерес представляет классификация А. И. Тихомирова (1970, 1982), получившая широкое распространение в региональных лимнологических исследованиях, так как с помощью ее по минимуму данных можно дифференцировать пресные озера умеренной зоны.

Таблица 1

Примеры термической классификации озер умеренной зоны

Автор, год. Признаки деления	Классы озер
В. А. Фрейндлинг (1962, 1969). Форма озерной котловины, характер нагревания водных масс в весенне-летний период, размер перемешивания, устойчивость.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Мелкие водоемы со спокойным рельефом дна: нагреваются в условиях гомотермии, перемешивание по всей глубине, неустойчивое термическое равновесие. 2. Глубокие водоемы со сложным строением надводного строения котловины: нагреваются в условиях устойчивой термической стратификации, максимальные градиенты в термоклине. 3. Водоемы, плесы которых нагреваются в различных условиях.
А. И. Тихомиров (1970, 1982). Термическая структура по гидрологическим сезонам, годовой термический цикл.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Эпитермические: малые мелкие водоемы, гомотермия весь открытый период — вся водная толща составляет эпилимнион. 2. Гипотермические: большие глубокие водоемы, основная масса воды составляет гиполимнион. 3. Метатермические: термический режим неоднороден, разделяются на три группы — собственно метатермические, метаэпитермические и метагипотермические водоемы.
Л. В. Несина, Т. А. Огнева (1975). Доля радиационного баланса на нагревание и испарение.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Глубокие озера: 70-80 % на нагревание, 20-30 % на испарение. 2. Среднеглубокие озера: 15-20 % на нагревание, 75-80 % на испарение. 3. Мелкие озера: 5-10 % на нагревание, 90-95 % на испарение.
С. П. Китаев (1978, 1984). Средняя интегральная температура воды в летний период (t_{cp}) или сумма температур за период с температурой воды выше 10 °С ($\sum t$).	<ol style="list-style-type: none"> 1. Очень теплые: $t_{cp} > 20$ °С; $\sum t > 4\,000$ °С. 2. Теплые: $t_{cp} = 15-20$ °С; $\sum t = 2\,000-4\,000$ °С. 3. Умеренные: $t_{cp} = 10-15$ °С; $\sum t = 1\,000-2\,000$ °С. 4. Холодные: $t_{cp} = 5-10$ °С; $\sum t = 500-1\,000$ °С. 5. Очень холодные: $t_{cp} < 5$ °С; $\sum t < 500$ °С.

Гидрологические классификации. Расположение Карелии в зоне избыточного увлажнения, где количество осадков преобладает над испарением, обуславливает наличие поверхностного или подземного стока из озер и возможность отнесения их к классу *сточных*, согласно классификации Б. Б. Богословского (1960).

Большой вклад в развитие гидрологических классификаций внесли работы С. В. Григорьева (1958, 1959), в которых автор вводит понятия «удельный водосбор»⁶ и «условный водообмен»⁷. Данные показатели дают первое представление о влиянии водосбора и стоковых процессов на режим водоема. С. В. Григорьевым на основании средних значений показателей озер Карелии, было проведено выделение классов, границы которых, по мнению автора, являются условными.

Более обусловленное выделение классов водоемов, на основании их внешнего водообмена, проводит Б. Б. Богословский (1970). Он различает следующие типы водоемов: *транзитные* (водообмен несколько десятков сотен раз в год), *транзитно-аккумулятивные* (воды обмениваются несколько раз в год), *аккумулятивно-транзитные* (водообмен осуществляется в течение десятков лет), *аккумулятивные* (водообмен совершается за сотни или тысячи лет).

В этой группе также следует отметить классификацию озер и водохранилищ Карелии по внутригодовому режиму уровней воды К. Д. Литинской (1976). На основании величины удельного водосбора и средней многолетней амплитуде колебания уровней воды автором было выделено три типа водоемов: *с устойчивым режимом уровней воды* (значение показателя менее 10), *со среднеустойчивым режимом* (от 10 до 50) и *со слабоустойчивым режимом* (более 50). Деление на подтипы было осуществлено с учетом площади водоемов и фаз водного режима внутри года.

Гидрохимические классификации. На формирование химического состава вод карельских озер влияет расположение территории в зоне избыточного увлажнения, на трудно растворимых коренных породах Балтийского кристаллического щита, хорошо промытых четвертичных отложениях. В соответствии с общепринятой классификацией природных вод по минерализации озера Карелии могут быть отнесены к классу *пресных* (или *пресноводных*) с соленостью менее 1‰ (1 000 мг/л). И. В. Баранов (1962) подразделяет пресные воды по степени минерализации на три категории: *низкоминерализованные* — сумма ионов до 100 мг/л, *среднеминерализованные* — 100-500 мг/л и *повышенноминерализованные* — 500-1 000 мг/л. Отличительной чертой пресных озерных вод, как правило, является преобладание в ионном составе гидрокарбонатных анионов и катионов кальция.

Большая работа по классификации озер трех природных зон (тундры, тайги и смешанных лесов) на основании значений показателей общей минерализации, pH, цветности, перманганатной и бихроматной окисляемости, а также содержанию кислорода, двуокиси углерода и органического вещества была проделана С. П. Китаевым (1984). Классификации строились на значении гидрохимических показателей поверхностных слоев в летний период без учета распределения их в горизонтальном и вертикальном направлениях и сезонном аспекте из-за отсутствия необходимой информации.

В последнее время среди гидрохимических классификаций получили распространение классификации вод по их качеству. Для Карелии классификация качества поверхностных вод была разработана П. А. Лозовиком (Современное состояние..., 1998; Каталог озер..., 2001) на основании совокупности таких показателей, как величина pH, содержание органического вещества, кислорода, общего фосфора и некоторых других. Отличительной чертой данной классификации является выделение помимо четырех классов качества вод — *высокого, хорошего, удовлетворительного* и *низкого*, дополнительного класса — *загрязненных* вод.

Гидробиологические классификации. К данной группе относятся классификации, основанные на различных биологических характеристиках озер. Л. Л. Россолимо (1964) выделяет два подхода в биологической классификации озерных экосистем. Первый основан на характеристике типов озер по присутствию и преобладающему распространению в них определенных водных организмов (экологические классификации), второй — на характеристике биологической продуктивности (трофические классификации).

⁶ Отношение площади водосбора к площади зеркала озера.

⁷ Отношение объема среднегодового притока к водосборной площади озера к объему озера.

Более широкое лимнологическое значение имеют трофические классификации озер. Основы их были заложены в 20-30-х гг. XX в. Тинеманом и Науманом, которые подразделили озера на *олиготрофные*, *мезотрофные*, *эвтрофные* и *дистрофные*, основываясь на связи биологических показателей с абиотическими факторами среды. Дальнейшее развитие трофического направления связано с именем Оле, предложившим новую концепцию типизации, основанную на оценке интенсивности круговорота органического вещества (продукционно-биологический подход). В дальнейшем этот подход был дополнен балансовым подходом, основанном на соотношении величин продукции и деструкции.

Обобщение материалов биологических классификаций проведено С. П. Китаевым (1984) табл. 2, И. Н. Андрониковой (1993) и др. Классификации озер Карелии, основанные на различных биологических характеристиках, представлены в работах С. В. Герда (1949, 1962), И. В. Баранова (1957, 1962), А. А. Салазкина (1976), А. В. Фрейдлинга (1988) и др.

Таблица 2

Классификация озер по степени трофности (Китаев, 1984)

Характеристика	Тип озерной экосистемы						Гипертрофный
	Олиготрофный		Мезотрофный		Эвтрофный		
	α	β	α	β	α	β	
Хлорофилл «а» ($мг/м^3$)	< 1,5	1,5-3	3-6	6-12	12-24	24-48	> 48
Биомасса фитопланктона ($г/м^3$)	< 0,5	0,5-1	1-2	2-4	4-8	8-16	> 16
Первичная продукция ($гС/м^3 сут$)	< 0,125	0,125-0,25	0,25-0,5	0,5-1	1-2	2-4	> 4
Первичная продукция ($гС/м^2 сут$)	< 0,125	0,125-0,25	0,25-0,5	0,5-1	1-2	2-4	> 4
Первичная продукция ($гС/м^2 год$)	< 12,5	12,5-25	25-50	50-100	100-200	200-400	> 400
Биомасса зоопланктона ($г/м^2$)	< 1,25	1,25-2,5	2,5-5	5-10	10-20	20-40	> 40
Биомасса зоопланктона ($г/м^3$)	< 0,5	0,5-1	1-2	2-4	4-8	8-16	> 16
Биомасса бентоса ($г/м^2$)	< 1,25	1,25-2,5	2,5-5	5-10	10-20	20-40	> 40
Ихтиомасса ($кг/га$)	< 12,5	12,5-25	25-50	50-100	100-200	200-400	> 400
Промысловая рыбопродукция ($кг/га год$)	< 2,5	2,5-5	5-10	10-20	20-40	40-80	> 80

Комплексные классификации. Одной из первых попыток создания комплексной классификации озер умеренной зоны можно назвать работу П. Ф. Домрачева (1922), построенную на исследовании малых озер бассейна Балтийского моря. В созданной классификации автор выделяет ряд глубинных типов водоемов, в которых нашли отражение такие характеристики, как рельеф дна, грунт, температурный и кислородный режим, прозрачность, цветность, различные биологические процессы. Большой интерес представляет классификация И. В. Баранова (1957, 1962), которая нашла широкое применение в региональных лимнологических исследованиях. При разработке данной классификации ставилась задача положить в основу факторы, определяющие главные лимнологические процессы. К сожалению, в силу своей специализации автор отдает предпочтение химико-биологическим характеристикам. В этой группе классификаций следует также назвать работу Л. Л. Россолимо (1964), в которой он в качестве единого и общего типологического показателя рассматривает озерное накопление независимо от характера озера и его географического положения.

На наш взгляд, комплексная классификация должна исходить из понимания озера и его водосбора как целостной геосистемы и отражать закономерности ее структуры (формирование, функционирование и эволюцию). В основу классификации необходимо положить характеристики, определяющие основные лимнологические процессы.

Создание комплексной классификации позволит решить ряд лимнологических задач. Во-первых, построение классификации приведет к обобщению данных о природе озер изучаемого района. Во-вторых, позволит вскрыть информационные пробелы и планировать дальнейшие исследования. В-третьих, даст возможность восстанавливать информацию об озерах (т.е. по имеющимся немногочисленным данным позволит отнести классифицируемый объект к тому или иному классу и приписывать ему свойства, характерные для его класса). В-четвертых, создаст научную основу для разра-

ботки типовых мероприятий по освоению и охране озер, т.к. типологически сходные озера будут обладать сходными свойствами с точки зрения их практического использования, однотипно реагировать на антропогенные воздействия.

Литература

Андроникова И.Н. Классификация озер по уровню биологической продуктивности // Теоретические вопросы классификации озер. СПб., 1993. С. 51-71.

Баранов И.В. Классификация озер Карело-Кольской лимнологической области // Рыбное хозяйство Карелии. Петрозаводск, 1957. Выпуск 7. С. 180-193.

Баранов И.В. Лимнологические типы озер СССР. Л., 1962. 276 с.

Бискэ Г.С., Лукашов А.Д. Генетическая классификация озерных котловин Карелии // Труды Всесоюзного симпозиума по основным проблемам пресноводных озер. Т. II. История озер. Вильнюс, 1970. С. 258-274.

Богословский Б.Б. Схема гидрологической классификации озер СССР // Вестник МГУ. Серия 5. География. 1960. № 2. С. 44-51.

Богословский Б.Б. Внешний водообмен водоемов и некоторые особенности водных масс пресных озер // Труды Всесоюзного симпозиума по основным проблемам пресноводных озер. Т. I. Режим озер. Вильнюс, 1970. С. 237-258.

Верещагин Г.Ю. Методы морфометрической характеристики озер // Труды Олонекской научной экспедиции. 1930. Ч. II, выпуск 1. С. 3-114.

Герд С.В. Биоценозы бентоса больших озер Карелии. Петрозаводск, 1949. 197 с.

Герд С.В. К вопросу о биомических типах озер Карелии // Биология внутренних водоемов Прибалтики. М.; Л., 1962. С. 25-28.

Григорьев С.В. О некоторых определениях и показателях в озераведении // Труды Карельского филиала АН СССР. Вып. XVIII. Материалы по гидрологии (лимнологии) Карелии. Петрозаводск, 1958. С. 29-45.

Григорьев С.В. О гидрологических типах водоемов // Труды V научной конференции по изучению внутренних водоемов Прибалтики. Минск, 1959. С. 46-55.

Домрачев П.Ф. К вопросу о классификации озер Северо-Западного края // Известия ГГИ. 1922. Т. 4. С. 1-43.

Каталог озер и рек Карелии / Под ред. Н. Н. Филатова и А. В. Литвиненко. Петрозаводск, 2001. 290 с.

Китаев С.П. Термические классификации озер мира // Водные ресурсы. 1978. № 4. С. 97-103.

Китаев С.П. Экологические основы биопродуктивности озер разных природных зон. М., 1984. 207 с.

Литинская К.Д. Режим уровней воды озер и водохранилищ Карелии. Л., 1976. 146 с.

Литинский Ю.Б. Генетические типы озерных котловин Карельского региона // Биология внутренних водоемов Прибалтики. М.-Л., 1962. С. 29-36.

Несина Л.В., Огнева Т.А. Солнечная радиация и тепловой баланс водоемов // Круговорот вещества и энергии в водоемах. Новосибирск, 1975. С. 308-313.

Первухин М.А. О генетической классификации озерных ванн // Землеведение. 1937. Т. 39, вып. 6. С. 526-537.

Россолимо Л.Л. Основы типизации озер и лимнологическое районирование // Накопление вещества в озерах. М., 1964. С. 5-46.

Салазкин А.А. Основные типы озер гумидной зоны СССР и их биолого-продукционная характеристика // Известия ГосНИОРХ. Л., 1976. Т. 108. С. 1-194.

Современное состояние водных объектов Республики Карелия / Отв. ред. Н. Н. Филатов, Т. П. Куликова, П. А. Лозовик. Петрозаводск, 1998. 188 с.

Тихомиров И.А. Классификация озер умеренной зоны по термическому режиму // Труды Всесоюзного симпозиума по основным проблемам пресноводных озер. Т. I. Режим озер. Вильнюс, 1970. С. 174-185.

Тихомиров И.А. Термика крупных озер. Л., 1982. 232 с.

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

Фрейндлинг В.А. Температурный режим и оборот тепла в некоторых озерах Карелии. Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. Л., 1962. 19 с.

Фрейндлинг В.А. Термика водоемов северного Прионежья и южного склона Беломорско-Балтийского водного пути // Вопросы гидрологии, озераведения и водного хозяйства Карелии. Петрозаводск, 1969. С. 246-255.

ОСОБЕННОСТИ ХОЗЯЙСТВЕННОГО ОСВОЕНИЯ ГЕОКОМПЛЕКСОВ ОСТРОВНЫХ ГЕОСИСТЕМ КАРЕЛИИ

М. С. Богданова, В. П. Бусарова, Т. Б. Баскова

Карельский государственный педагогический университет

Введение

Островные геосистемы обладают уникальными природными особенностями, проявляющимися в своеобразии микроклимата, ландшафтной структуры, флоры и фауны и др. В функционировании островных геосистем большую роль играет их изолированность, и чем дальше остров находится от материка, тем более выражен «островной эффект». Такие особенности отдельных островов, как изолированность, труднодоступность, наличие полезных хозяйственных ресурсов, были давно замечены человеком, о чем свидетельствует тот факт, что некоторые острова активно осваивались и были заселены еще в древности.

В настоящей работе мы проанализировали историю освоения островных геосистем Карелии, выделили основные этапы их освоения и определили возможные направления хозяйственной деятельности человека.

Материалы и методы

При проведении исследований нами использовались методика изучения длительновременной динамики ландшафтов, разработанная сотрудниками лаборатории ландшафтоведения и тематического картографирования Санкт-Петербургского университета (Исаченко, Резников, 1996), методы ключевых участков, ландшафтного профилирования, ландшафтного картографирования, исторических срезов, дендроиндикации, статистической обработки материалов, а также архивные и литературные источники.

Результаты и обсуждение

На основе полученных данных нами выделено четыре этапа хозяйственного освоения островов:

- I. Этап древнего освоения.
- II. Этап монастырско-крестьянского освоения.
- III. Этап колхозно-совхозного освоения.
- IV. Этап современного освоения.

Освоение островных геосистем Карелии началось в мезолите, о чем свидетельствуют данные археологических раскопок (стоянки северной части острова Большой Леликовский, острова Кижы, Ямка 1, Ямка 2, Южный Олений, острова Пудожского побережья). Поселения в этот период чаще всего возникали на древних озерных террасах, расположенных по склонам водно-ледниковых структур и коренным берегам водоемов. На протяжении мезолита эти структуры выступали на местности в виде небольших островов, приближенных к материковому берегу, или в виде узких, выдвинутых далеко в озеро полуостровов. Поселения располагались обычно на берегах южной экспозиции, защищенных от ветра. Постоянных поселений на островах, как правило, не было. На первых этапах освоения природный потенциал островов использовался незначительно. Основными видами природопользования были охота, рыбная ловля и собирательство.

Монастырско-крестьянская волна стала новым этапом освоения островных геосистем. Появление монастырей на островах относится к XIV–XVI вв. Наиболее известными монастырями на Онежском озере были Троицкий Клименецкий монастырь на о. Большой Клименецкий и Палеостровский Рождественский монастырь на о. Палеостров, на Ладожском озере — Спасо-Преображенский Валаамский монастырь на Валаамском архипелаге. Менее известными являются монастыри на островах небольших озер, например, на о. Захаркин (Монастырский) на озере Вашозере. Пустыни на небольших островах в крупных озерах также можно отнести к мало известным, напри-

мер, Андрусовская пúстынь на острове Сато в Ладожском озере. В настоящее время этот остров практически представляет собой полуостров.

Предпосылками создания монастырей именно на островах были, во-первых, поиски уединенной жизни и покоя, уход от земных забот и проблем, во-вторых, изолированность и компактность острова создавали ощущение безопасности, выгодные условия для защиты от вторжений. Кроме того, немаловажным было стремление монахов преобразовать (окультурить) суровые условия острова. Одним из направлений этого процесса стало выращивание культурных растений, в том числе и интродуцентов, например, аллеи из широколиственных пород деревьев (липа, вяз, клен), плодовых-ягодных садов на о. Валаам.

Одновременно с монастырским шло крестьянское освоение островов. Основными видами природопользования на данном этапе были земледелие, сенокосение, выпас скота, заготовка леса (на строительство, дрова) и прочие промыслы. О вовлечении островов в процесс хозяйственного освоения свидетельствуют сохранившиеся топонимы. Так, о развитии земледелия свидетельствуют названия острова Ернецкий (от фин., карел. лив., вепс. «горох»). Хорошо продуваемые луговые участки островов использовались для сенокосения, сено на них очень быстро сохло (Большой и Малый Сато в архипелаге Уймы (от фин., вепс. «стог сена»). Широкое распространение получил выпас крупного рогатого скота и молодняка на окружающих незаселенных островах, недоступных для хищных животных, что позволяло иметь наименьшие потери (о. Вазостров (от вепс. «теленок»), архипелаг Уймы (от кар. «летнее пастбище»)).

Селитебному освоению островов способствовали многочисленные природные и экономические предпосылки. Поселения чаще всего возникали на относительно крупных островах, таких как о. Суйсарь, о. Мижостров, о. Колгостров и др. На островах Кижского архипелага существовала целая сеть поселений, что позволило сформироваться здесь Кижскому ядру освоения.

Горнодобывающее освоение островных геосистем было слабо развито. Единичными примерами может служить добыча известняка и барита на о. Южный Олений и кварцито-песчанников на о. Брусно. Кроме добычи на островах осуществлялась первичная обработка материала, готовая продукция использовалась для местного потребления и вывозилась в Санкт-Петербург. Волкостров славился своими аметистами, применявшимися в ювелирном деле.

В советское время с 30-х гг. XX в. в связи с развитием колхозов земли островов были включены в колхозную систему землепользования. Например, колхоз «Заонежанин» располагался на острове Большой Клименецкий и близлежащих островах. Некоторые прибрежные острова были включены в состав колхозов, располагавшихся на материке, так, например, остров Монастырский на озере Вашозере относился к колхозу в деревне Улитина Новинка.

Наряду с колхозами, имеющими сельскохозяйственное направление, на островах часто организовывались рыболовецкие хозяйства и артели. В послевоенный период в Заонежском районе функционировали два рыболовецких колхоза: «Волкостровский» на одноименном острове и «За рыбную индустрию» на о. Большой Клименецкий. В Кондопожском районе на о. Колгостров — колхоз «им. Красной Гвардии».

На смену коллективным хозяйствам пришли совхозные, ориентировавшиеся на сельскохозяйственное направление. Заимствуя опыт крестьянского ведения хозяйства, островные земли стали в большей степени использоваться как изолированные пастбища. Например, Заонежский совхоз «Прогресс» вывозил молодняк крупного рогатого скота на острова Кижского архипелага.

Современный этап освоения островов связан с развитием рекреационного направления природопользования, проявляющегося главным образом в водном туризме, рыбной ловле и др. На местах бывших деревень быстрыми темпами идет дачное освоение островов (о. Суйсарь, о. Большой Клименецкий и др.).

О современном состоянии островных геосистем можно судить по их ландшафтной структуре. Современная структура островных геоконплексов рассмотрена нами на примере о. Монастырский на озере Вашозере. Площадь острова Монастырский составляет 1/5 часть от площади озера (5,60 км²), при длине 2800 м и средней ширине 390 м.

Исследуемый район обладает низкой степенью дифференциации геоконплексов. Доминирующими местоположениями острова являются волнистые равнины на валунных суглинках и супесях.

Растительные ассоциации, характерные для этих местоположений, представлены разнотравно-злаковыми лугами на луговых старопахотных почвах и березово-осиновым травяно-осоковым лесом на слабодифференцированных старопахотных литогенных почвах. Местоположения равнинных участков южной части острова испытывали преимущественно сельскохозяйственное воздействие. Луговые геоконплексы, образовавшиеся на месте деградировавших пашенных участков, в настоящее время находятся на стадии естественного восстановления. Преобладающими состояниями на острове являются вторичные мелколиственные леса, возникшие на месте бывших сельскохозяйственных земель и вырубок.

В центральной части острова расположен двухвершинный пологосклонный моренный супесчано-валунный холм. На вершинных участках холма произрастает сосновый с примесью березы травяно-осоковый и травяно-черничный лес на литогенных почвах. К западным склонам средней крутизны приурочен осиновый травяно-злаково-черничный лес на слабодифференцированных литогенных почвах. Длительновременные состояния восточного пологого склона представлены березовым с примесью сосны травяно-злаковым лесом на литогенных почвах. Наличие здесь ровниц — камней, сложенных в кучи при очистке земель, и отсутствие пахотного горизонта — свидетельствует об использовании пологосклонных участков холма под подсеку.

Болотные геоконплексы острова представлены осоково-моховыми с порослью ивы и березы и багульничково-сфагновыми с редкослойной сосной мезотрофными торфяниками проточных понижений. Болотные участки острова можно отнести к условно неизменным геоконплексам.

В прибрежных растительных ассоциациях острова довольно часто можно встретить ольху черную *Alnus glutinosa* (L.) Gaertn. Геоконплексы побережий острова подвергаются наибольшей антропогенной нагрузке. Это характерно практически для всех островов Карелии и вызвано в первую очередь увеличением количества туристских и рыбацких стоянок, для которых характерно замусоривание, вытаптывание, наличие фауных и вырубленных деревьев, а также участков, пройденных локальными пожарами.

Восстановление антропогенно-измененных геоконплексов на острове происходит значительно медленнее, чем на материке. Сравнительный анализ разновозрастных карт и аэрофотоснимков показал, что почти за 160 лет площадь луговых геоконплексов на острове уменьшилась всего в 4 раза, тогда как на материке при одинаковых ландшафтных условиях полная смена лугового геоконплекса лесным происходит в среднем за 40–50 лет. Причина этого заключается в изолированности острова от крупных лесных массивов, которые являются основными источниками семян.

В ходе флористических исследований на острове было выявлено более ста видов высших сосудистых растений. Флора острова представлена 46 семействами, 6 из которых являются многовидовыми (насчитывают 5 и более видов). Это такие семейства, как *Rosaceae* — 12 видов, *Poaceae* — 10 видов, *Asteraceae*, *Scrophulariaceae* — 6 видов, *Fabaceae*, *Ranunculaceae* — 5 видов. На острове произрастают виды растений, найденные в Заонежском флористическом районе, к которому относится остров, всего в нескольких пунктах. В северной части острова в сосновом кустарничково-травяно-осоковом лесу на склоне моренного холма было обнаружено несколько экземпляров *Hypopitys monotropa* Crantz. (подъельник обыкновенный), занесенного в Красную книгу Карелии (1995). В нескольких точках встречаются *Lycopodium dubium* Zoega и *Sanguisorba officinalis* L.

Заключение

В данной работе нами проанализированы основные направления хозяйственного освоения островов: сельскохозяйственное, селитебное, промысловое, горнодобывающее, рекреационное. Основными причинами освоения островных геосистем являлись дефицит земли на материке, защищенность от внешних вторжений, благоприятные условия для выпаса скота и сенокосения.

Особенности хозяйственного освоения островных геосистем обусловлены их морфометрическими показателями: размерами, площадью, перепадами высот, создающими предпосылки для ландшафтной дифференциации территории острова, что в свою очередь способствует развитию разнообразных видов природопользования.

Большая часть экологических проблем островов вызвана нерациональным использованием природных ресурсов и высокой рекреационной нагрузкой. Рекреационное освоение в последнее время становится ведущим направлением антропогенного воздействия на геокомплексы островов. По сравнению с материковой частью островные геосистемы более уязвимы, любое внешнее воздействие на них может привести к серьезным нарушениям экологического равновесия всей островной системы.

Литература

Исаченко Г., Резников А. Динамика ландшафтов тайги Северо-Запада Европейской России. СПб., 1996.
Красная книга Карелии / Науч. ред. И. В. Ивантер, О. В. Кузнецов. Петрозаводск, 1995.

Исследования частично проводились в рамках проекта РГНФ (№ 04-01-00032а) «Колхозное землепользование на территории Карелии в 40-50-е годы XX столетия».

ДЕНДРОИНДИКАЦИОННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ОСТРОВНЫХ ГЕОКОМПЛЕКСОВ КИЖСКОГО АРХИПЕЛАГА (ОНЕЖСКОЕ ОЗЕРО)

А.П. Быков

Карельский государственный педагогический институт

Введение

Ландшафт с течением времени развивается, претерпевает изменения. Деревья являются одним из важнейших компонентов естественных геокомплексов. Ввиду того что они отражают в своем приросте многие изменения окружающей среды, при извлечении информации для конкретных условий мы можем получить данные об антропогенном влиянии, о проходивших пожарах, динамике поверхностных и грунтовых вод, активности геоморфологических процессов и многих других. Таким образом, мы можем проследить динамику развития ландшафта.

Дендроиндикационные изыскания на территории музея-заповедника «Кижы» проводились кафедрой географии Карельского государственного педагогического университета в рамках историко-географических и ландшафтных исследований. Район исследования охватывал группу островов в центральной части Кижского архипелага: Букольников, Карельский и два небольших острова Кобыльняк и Конево.

Основная цель — охарактеризовать динамику развития ландшафтов островных территорий, оперируя данными, полученными в ходе дендроиндикационных исследований.

Материалы и методы

В основе нашей методики находятся положения о дендрохронологических исследованиях, изложенных в работах С.Г. Шиятова (1986), Н.В. Ловелиуса (1979) и др. Также в рамках этой работы использовались методы ландшафтных исследований. Для каждого дерева на месте отбора составлялся паспорт, в котором отмечалось положение дерева в древостое и его отличительные особенности: наличие пожарных или морозобойных шрамов, высота, диаметр, характер расположения ветвей и т.д. Вместе с этим проводилось подробное описание его местообитания по методике ландшафтно-динамических исследований на уровне групп фаций (Исаченко, 1998). Модельные деревья отбирались для типичных местоположений и состояний. Нами было получено 27 дендрохронологических образцов в виде кернов с сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.).

Результаты и обсуждение

В результате исследований была получена информация о длительновременных процессах и изменениях на территории островных геокомплексов. По дендрохронологическим данным средний

возраст сосновых древостоев ключевого участка не превышает 100 лет (рис. 5). Это объясняется тем, что на о. Букольников до начала XX века существовало сельское поселение, и данная территория с прилегающими островами испытывала на себе длительное сельскохозяйственное воздействие: одни участки подвергались распашке, а другие — возможной рубке коренного леса.

Геокомплексы исследуемой территории были неравномерно изменены в ходе аграрной деятельности. Основной сельскохозяйственной нагрузке подвергались равнинные территории и нижние пологие склоны денудационно-тектонических гряд. Для них характерны выположенный рельеф, большая мощность почвенного профиля по сравнению с вершинами сельг и более благоприятные гидрологические условия. На таких местоположениях производилась распашка, создавались сенокосы, как доказательство этому остались старопашотные почвы. После прекращения хозяйственной деятельности процесс восстановления естественных древостоев проходил различными путями.

Без поддерживающей деятельности человека сельскохозяйственные угодья начали замещаться на вторичные мелколиственные и сосново-мелколиственные леса (рис. 3). На острове Карельский средний возраст сосны составил 72 года, а максимальный — 80 лет (дендрообразцы UZ0326C и UZ0329C). Это свидетельствует о прекращении использования данной территории в сельскохозяйственных целях уже в начале XX века. Восстановление естественных древостоев на о. Карельский продолжается и в настоящее время (рис. 4). Подобные процессы также происходили в северо-западной части о. Букольников. Средний возраст сосновых древостоев составил там 79 лет, максимальный 82 года (образец UZ0310C). Деревья в условиях благоприятного органо-минерального питания на старопашотных почвах, имеют высокие показатели прироста. Среднегодовой прирост составил 2,6 – 3,6 мм, максимальный – до 6,5 мм, а минимальный – 0,7 мм.

Заращение лугов на о. Конево и южной части о. Букольников проходило с образованием обрамляющих луг участков вторичных сосново-мелколиственных лесов. Это явление связано с систематическим использованием луговых формаций жителями окрестных деревень до середины прошлого века, т.к. сосны на данных территориях имеют небольшой возраст, не более 50 лет (рис. 3). Отдельные участки лугов сохранились и до настоящего времени (рис. 4). Деревья на таких открытых пространствах с высоким содержанием питательных веществ в почве имеют очень высокие показатели приростов: среднегодовой составил 3,1-5,6 мм, максимальный — 8,7 мм, минимальный 0,8-1,9 мм.

К условно неизменным геокомплексам можно отнести вершины и верхние крутые склоны денудационно-тектонических гряд. Для этих ландшафтов характерен наибольший средний возраст сосновых древостоев (рис. 1). Эти территории практически невозможно использовать под распашку и сенокосы из-за маломощного почвенного профиля и пересеченного рельефа. Поэтому здесь сохранились наиболее старые деревья возрастом около 100 лет. Древостои в таких условиях находятся в угнетенном состоянии, для них характерны более низкие среднегодовые приросты – 1,2 – 1,9 мм, максимальные – до 5,2 мм, минимальные – до 0,05мм. Отдельные всплески максимальных годовых приростов (образец UZ0314S) можно объяснить благоприятным сочетанием природных условий для конкретного дерева. Для склонов сельг средней крутизны отмечено снижение среднего возраста сосны (рис. 4). Это объясняется частичным использованием данной территории в сельскохозяйственном направлении – под пашню и сенокосы (например, южные склоны сельги острова Карельский). В пределах условно неизменных геокомплексов ведущим направлением антропогенной деятельности, вероятно, была лесозаготовка, что отражается в небольшом максимальном возрасте древостоев не более 100 лет, но при этом лес не сводился полностью, т.к. лесные формации данных территорий отражены на плане 1868 года. Однако предположение об антропогенном воздействии на эти геокомплексы носит вероятностный характер, т.к. нет явных признаков вырубki. Возможно, что на крутых скальных склонах и вершинах сельг проходили буреломы.

Еще одной характерной чертой сосновых лесов на вершинах сельг является периодически повторяющиеся низовые пожары. По данным образца UZ-0311-S в 1955 году в северной части о. Букольников прошел низовой пожар. Он также фиксируется в почвенных горизонтах в виде угольков. Пожарные шрамы отмечены на многих деревьях, на некоторых даже серии шрамов, что говорит о

частой повторяемости пожаров. Нарушение огнем корневых систем деревьев в условиях их неглубокого залегания в почве, привело впоследствии к ветровалу на вершинах денудационно-тектонических гряд. Он отчетливо виден на аэрофотоснимках 1961 года (участки безлесого пространства на рис. 3). В дальнейшем на данной территории восстановился типичный для вершин сельг сосновый редкостойный лес на примитивных почвах (рис. 4).

Заключение

Территория использовалась неравномерно: равнинные участки подвергались распашке, склоны и вершины сельг — вероятным вырубкам леса. В настоящее время происходит восстановление лесных геокомплексов, но этот процесс в отдельных местах приостановлен поддерживающей луговые формации деятельностью человека (сенокосением).

Литература

Исаченко Г.А. Методы полевых ландшафтных исследований и ландшафтно-экологическое картографирование. СПб., 1998.

Ловелиус Н.В. Изменчивость прироста деревьев: дендроиндикация природных процессов и антропогенных воздействий. Л., 1979. 231 с.

Шиятов С.Г. Дендрохронология верхней границы леса на Урале. М., 1986. 136 с.

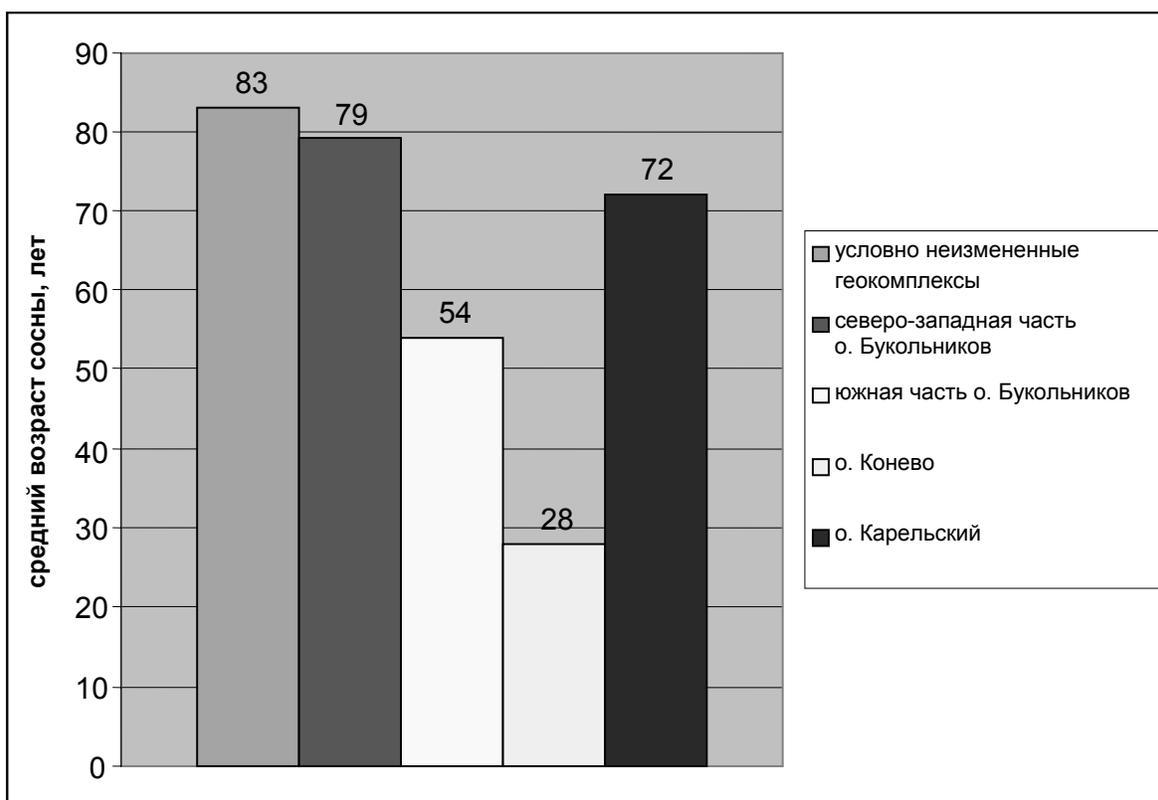


Рис. 1. Дифференциация показателей среднего возраста сосны на ключевом участке

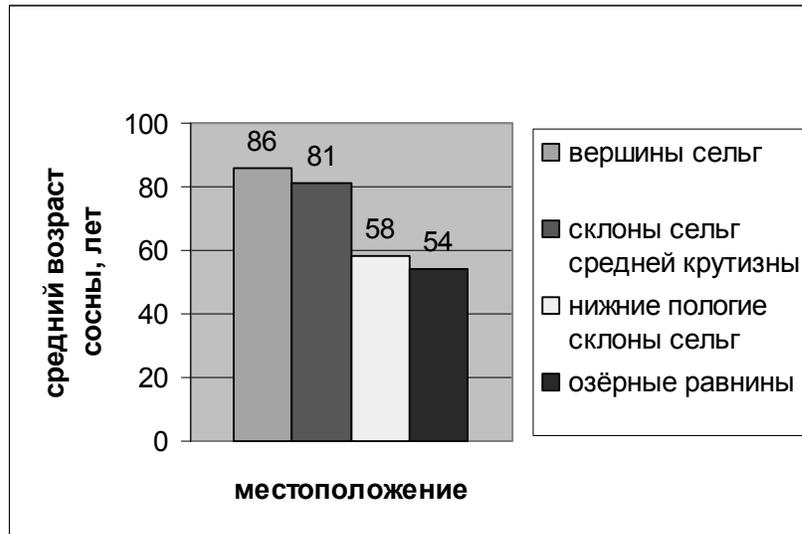


Рис. 2. Зависимость среднего возраста сосновых древостоев от типов местоположений

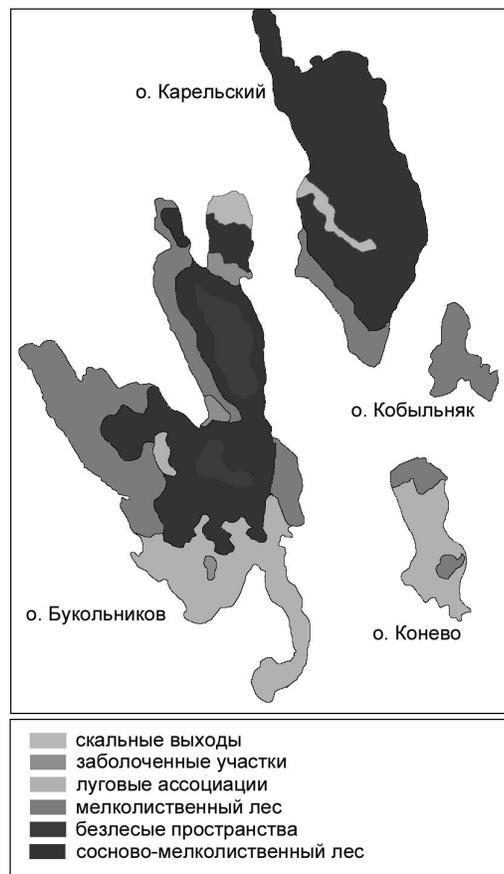


Рис. 3. Состояние растительного покрова исследуемых островов на 1961 год по данным аэрофотосъемки

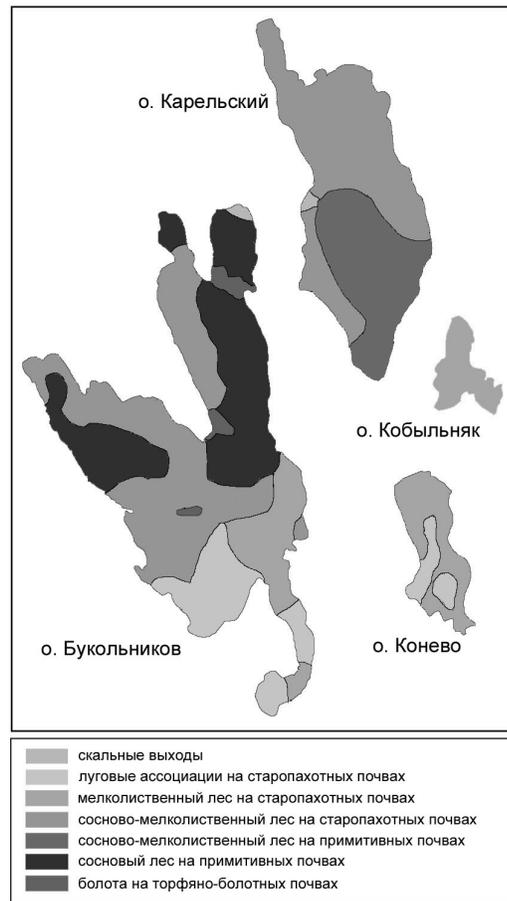


Рис.4. Длительновременные состояния геокомплексов исследуемых островов на 2003 год, по данным ландшафтных карт

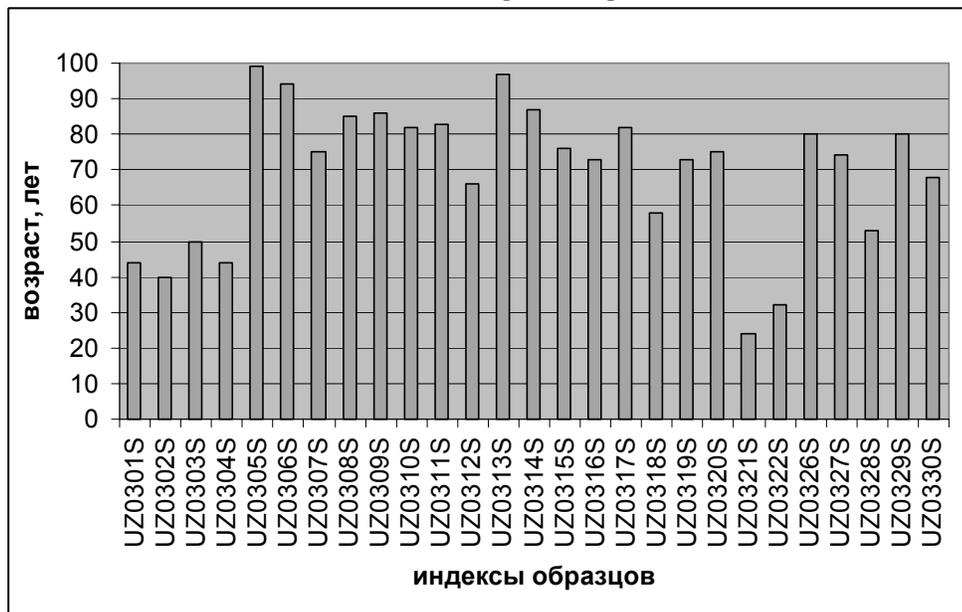


Рис.5. Возраст модельных деревьев

ДЕНДРОХРОНОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВОДОСБОРНОГО БАССЕЙНА ОЗЕРА ПРЯЖИНСКОЕ

С. Ханолайнен, С.П. Гриппа

Карельский государственный педагогический университет

Введение

Применение дендрохронологических (дендроиндикационных) методов исследования природных геокомплексов позволяет установить влияние различных естественных и антропогенных факторов на древостои. Являясь естественными мониторами, деревья, благодаря своему радиальному приросту древесины помогают получить информацию о многолетнем режиме погодных условий вегетационного периода, колебаниях гидрологического режима подземных вод или близлежащего водоема, прохождении низовых пожаров, антропогенных воздействий и т.д.

Образцы древесины, собранные в различных эдафических условиях, могут дать дополнительную информацию для исследователя. При изучении особенностей рельефа, почвенного покрова и растительности водосборного бассейна Пряжинского озера были установлены закономерные связи между этими компонентами геокомплексов. Для всей территории исследования характерно распространение преимущественно сосновых древостоев. Это связано с тем, что для всего водосборного бассейна озера характерны четвертичные отложения озерного, ледникового и водно-ледникового происхождения, состоящие из слоистого глинисто-песчаного, моренного и слабосортированного песчано-гравийного материала, ввиду чего здесь распространены неразвитые почвенные профили и недостаточно увлажненные почвогрунты. Также сосны распространены на верховых болотах и местами на заболочиваемых побережьях озера. Еловые древостои встречаются в основном по ложбинам временных водотоков и слабовыработанным долинам ручьев, т.е. в местах с повышенным увлажнением и распространением суглинков, что влияет на улучшение почвенно-эдафических условий для этих деревьев.

Территориальное дифференцирование древесной растительности в районе исследования имеет еще один важный фактор: холмистый рельеф и песчано-гравийные отложения оказывают сильное влияние на недостаточное увлажнение почвогрунтов, поэтому здесь отмечается неоднократное прохождение низовых пожаров, выжигающих подрост, подлесок и лесную подстилку. Сосны при таких пожарах получают незначительные повреждения и продолжают расти (с небольшим периодом угнетения), а ели сгорают полностью. Таким образом, особенности развития геокомплексов территории исследования оказывают существенное влияние на качество и количество воды, поступающей в озеро с поверхностным и подземным стоками.

Материалы и методы

Дендрохронологические образцы отбирались в виде древесных кернов при помощи бурава Пресслера (с длиной рабочей части 45 см) на расстоянии 40-45 см выше корневой шейки дерева по методике Н.В. Ловелиуса (1979).^{*} Модельными деревьями служили исключительно сосны – сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris*, L.), для отбора образцов брались зрелые деревья. Сбор образцов проходил в основном по восточному побережью Пряжинского озера. Отдельные образцы были взяты для сравнения в районе озера Белолампки и асфальтобитумного завода. Для исследования нами были использованы 18 кернов, 15 из них были отобраны в июле 2005 года, 2 образца – в 1995 году и один в 1998-м (самый долгоживущий из представленных здесь экземпляров — это дерево возрасте 393 года).

При отборе образцов учитывались почвенно-эдафические особенности произрастания деревьев: геолого-геоморфологические, микроклиматические, гидрологические, почвенные и положение в биотопе. Большую часть образцов мы отобрали с сосновых деревьев, произрастающих на вершинах и склонах флювиогляциальных гряд и холмов, а также на озерных террасах в пределах 2-4 м от уреза воды. Часть образцов представлена болотными экотопами.

^{*} Ловелиус Н.В. Изменчивость прироста деревьев: дендроиндикация природных процессов и антропогенных воздействий. Л., 1979. – 231 с.

Результаты и обсуждение

Средний возраст соснового древостоя района составил 181 год, максимальный — 393. Средняя ширина годовых колец исследованных сосен — 1,34 мм. Минимальный прирост — 0,05 мм, а максимальный — 7,00 мм. Эти показатели дают возможность сделать вывод об относительно низких радиальных приростах (рис. 1). Для некоторых из образцов характерна относительно плотная древесина с узкими годовыми кольцами. Значения средних квадратических отклонений приростов колеблются в пределах от 0,38 до 1,57 мм. Все это указывает на некоторую степень угнетенности сосновых древостоев, что, по нашему мнению, связано с недостатком увлажнения, поэтому одними из главных факторов, вызывающих колебания в радиальных приростах, будут осадки и подземный сток. Ввиду сильной пересеченности рельефа и особенностей грунтов вода не накапливается в почве, а достаточно быстро уходит глубоко в водоносные слои.

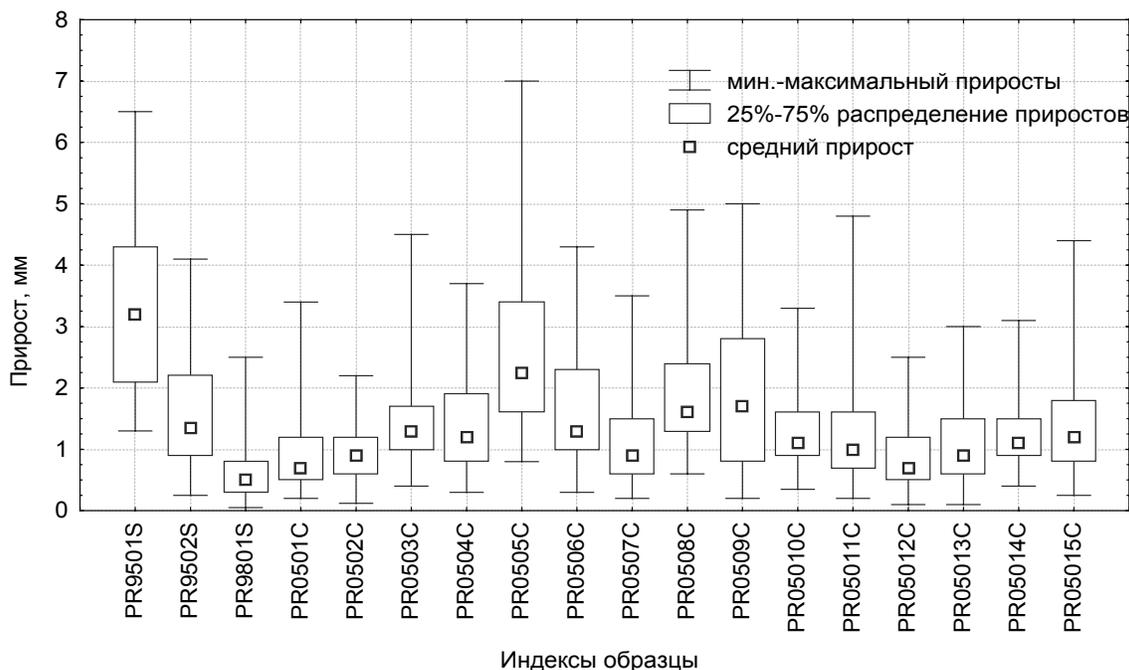


Рис. 1. Диаграмма радиального прироста образцов сосны района стока озера Пряжинское

В результате исследования нами было установлено, что наиболее благоприятные условия для произрастания сосновых древостоев представлены в средней и нижней частях озового склона. Именно здесь наблюдаются максимальный средний возраст модельных деревьев и максимальная величина радиального прироста.

Гораздо меньший средний возраст сосен, произрастающих в основании озовых гряд, на краю болота. Это связано с переувлажнением грунтов и наличием близко расположенных холодных болотных вод, которые слабо всасываются корневой системой. У подножья склонов встречаются отдельно стоящие ели, здесь более подходящие почвенно-эдафические условия для этих деревьев, чем для сосен (рис. 2).

Сосны, произрастающие на заболачиваемых террасах озера, имеют весьма незначительный радиальный прирост. Средняя ширина годовых колец не превышает 0,5-0,6 мм, максимальная — 2,2-3,4 мм, а средние квадратические отклонения — не более 1,2 мм. Этих деревья являются старовозрастными — им более 250 лет (рис. 3).

В водосборном бассейне озера нами отмечены значительные антропогенные воздействия на естественные геокомплексы: песчано-гравийные карьеры, вырубki древесины, дороги. Здесь велись боевые действия, и часть лесов была вырублена, особенно на вершинах и склонах озовых гряд. На

восточном побережье озера нами отмечены заброшенные сельскохозяйственные угодья, которые сейчас уже практически полностью заросли древесной растительностью. По дендрохронологическим данным было установлено, что территория использовалась под пашни и сенокосы вплоть до 50-60-х годов. Индикационным признаком являются старопашотные почвы этого района и наличие каменных куч — ровниц. Валуны убирались с полей и собирались в груды при проведении сельхозработ.

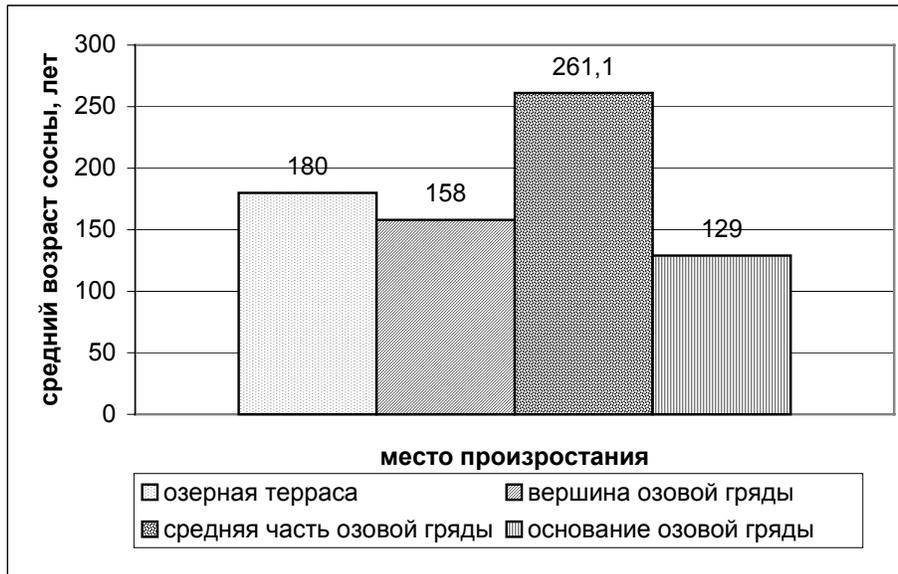


Рис. 2. Зависимость среднего возраста сосновых древостоев от типов местоположений

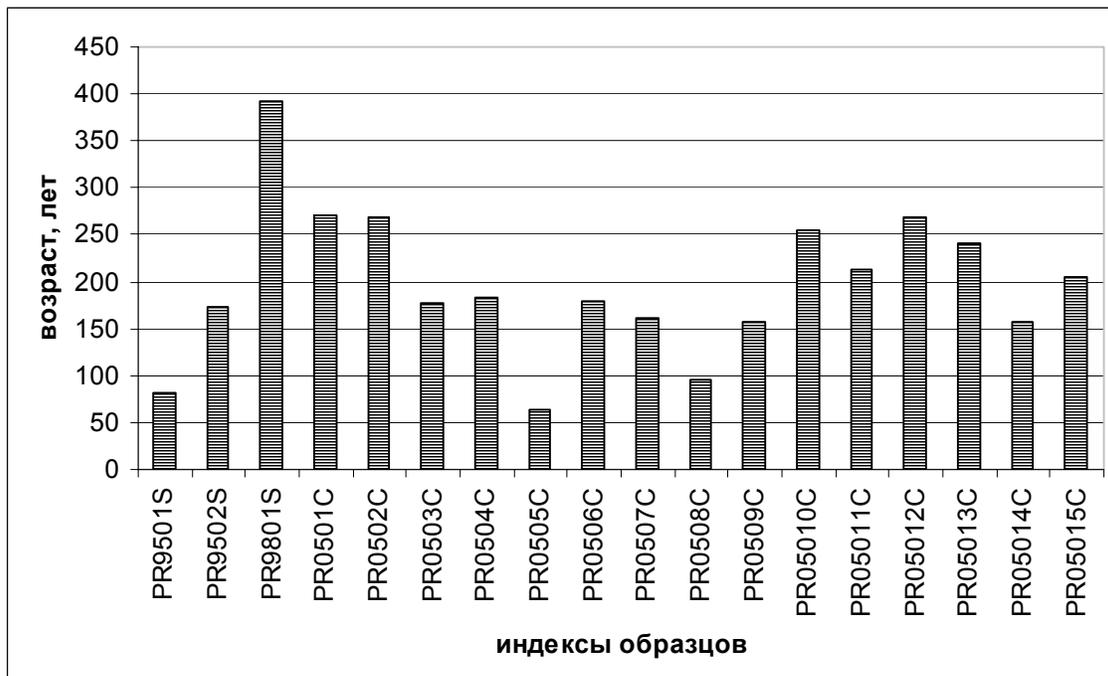


Рис.3. Возраст модельных деревьев

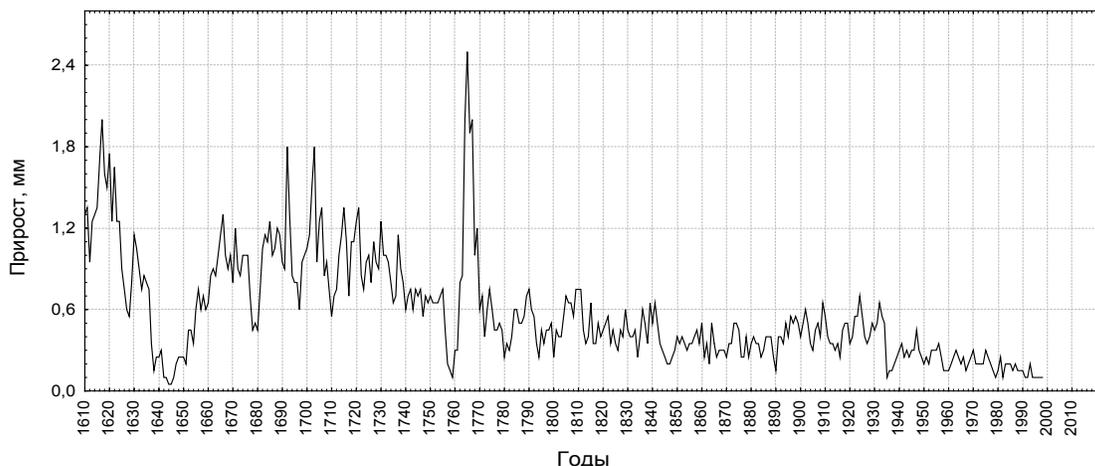


Рис. 4. Дендрохронологическая шкала по сосне возрастом 393 года водосборного бассейна Пряжинского озера

Для территории характерно наличие следов прохождения низовых пожаров. Они оказали сильное влияние на состав и структуру растительного покрова и почвенных генетических горизонтов. Зрелые сосны испытали на себе незначительное пирогенное воздействие, они продолжают существовать, имея на стволах пожарные шрамы и заболони. Подлесок и подрост выгорает, как правило, полностью. Еловые древостои сохранились в понижениях рельефа и по долине ручья Дегенс.

По результатам дендрохронологических работ района Пряжинского озера была составлена шкала по сосне возрастом 393 года (рис. 4).

ПОЭТИЧЕСКАЯ ГЕОГРАФИЯ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ КАРЕЛИИ

А. В. Колоколов, С. Б. Потахин

Карельский государственный педагогический университет

Поэтическая география Карелии поистине уникальна, ярко представлена в фольклоре, стихах, прозе, а также научных трудах многих ученых. Однако попытки провести параллель между географией и поэзией Карелии крайне немногочисленны.

Известно, что в углублениях, выгравированных ледником, скапливается влага – теперь уже поступающая из атмосферы, и так образовались многочисленные карельские озера. Избыток воды переливается из одной озерной ванны в другую в виде коротких, но бурных порожистых рек до тех пор, пока не достигает одного из морей – Белого или Балтийского. По сути лучше говорить об озерно-речных системах Карелии, крупнейшие из них Ковда, Кереть, Кемь, Выг (с Ондой и Сегежей) и Сума.

На территории Карелии и в тяготеющем к ней гидрографическом районе (границей района принимаем реку Свирь и южный берег Онежского озера от Вознесенья до устья реки Вытегры и водораздел бассейнов рек Черной и Водлы с бассейном реки Андомы на юге; с севера — по водоразделам рек Ковды и других с бассейнами больших рек Кольского полуострова — Туломы и Нивы) насчитывается до 12 270 рек и речек общей протяженностью 59 200 километров. Давней известностью пользуются наиболее мощные падуны Карелии, которые по красоте не уступают водопадам Европы. Крупных водопадов в Карелии насчитывается 12. Наиболее известен среди них водопад Кивач на реке Суна. До 49 800 озер (от самых маленьких до крупнейших в Европе и европейской

части России пресноводных водоемов – озер Ладожского и Онежского) рассеяно по этому краю. Всего в Карелии насчитывается около 43600 озер, мельчайшие из них площадью в один гектар. Общая площадь озер составляет одиннадцатую часть всей ее территории, не учитывая водной поверхности Ладожского и Онежского озер – этих «внутренних морей» Республики Карелия и Ленинградской области.

Край карельский — край озер. Карельская земля богато инкрустирована большими и малыми озерными зеркалами, ярко описанными в произведениях многих отечественных поэтов: Ю. Линник (Основа, 1979), А. Авдышев (Край озерный край лесной, 1964), В. Потиевский (Лесной ключ, 1988, Вера, 1976), И. Костин (Озерные песни, 1981), Е. Баратынский (Стихотворения и поэмы, 1978), В. Морозов (Избранное, 1976), А. Алухтин (Полное собрание стихотворений, 1974), Н. Федоров (Родные приметы, 1983) и др. Например, А. Иванов в своем стихотворении «Карелия родная» (1978) писал:

...Здесь озера, кругом озера
Голубой отражают свет,
И широким лесным просторам
Ни конца и ни края нет...

Несколько озер северной части Карелии

Озерная система Куйто. Занимает срединную часть Калевальского национального района, являясь его природной визитной карточкой. Представляет собой систему из трех озер — Верхнего, Среднего и Нижнего, дугообразно вытянутых в широтном направлении на 130-140 км. В вершине дуги, на озере Среднее Куйто, расположен п. Калевала — центр района.

Топозеро расположено в северной Карелии. Является одним из звеньев реки Ковды. После строительства Кумской ГЭС (1966 г.) стало частью Кумского водохранилища. Площадь водной поверхности 986 кв. км, с островами — 1 050 кв. км. Топозеро занимает четвертое место по величине среди озер Карелии. Наибольшая длина – 75,3 км, ширина – 30,3 км.

Топозеро – глубокий водоем. Средняя глубина – 15,2 м, наибольшая – до 55 м. Вода летом прогревается до 15-16 градусов. Замерзает озеро в октябре, вскрывается в мае.

...Закипают, бушуют буруны
У скалы на изломе реки.
И звенят эти волны,
Как струны, –
И стремительны,
И высоки...

В. Потиевский

Пяозеро расположено в северной части Карелии. Оно тоже влилось в Кумское водохранилище. При этом уровень воды в озере повысился на 7-9 м, площадь увеличилась на 35-40%, главным образом на юге и на севере, где образовались большие заливы. Ряд островов Пяозера оказались затопленными, площадь других резко уменьшилась.

Интересным объектом на севере является созданный в 1991 г. национальный парк «Паанаярви» (площадь 103,3 тысячи га), который расположен в приграничной полосе, долгое время закрытой для посещений. Он находится на возвышенности, вытянутой в сторону озера Ципринга у горы Пяйнур, в 80 км по автодороге от поселка Пяозерский.

Границы парка практически совпадают с бассейном реки Оланга и озера *Паанаярви*. В парке насчитывается около 600 больших и малых озер, 60 рек. Озеро, которое находится в каньоне длиной 25 км, – самое глубокое в Европе. В озере Паанаярви водятся кумжа, хариус, сиг. Через парк проходят пути миграции лесного северного оленя.

На берегу озера расположен туркомплекс, построенный из природных материалов (камень, дерево).

Озера средней части Карелии

Из озера Верхотинное на водоразделе начинается река Выг. Она протекает через самое большое озеро Карелии (после Ладожского и Онежского) – *Выгозеро*, которое делит реку на две части: Верхний, или Южный, Выг длиной 135 км и Нижний, или Северный, Выг (собственно Выг) длиной 102 км, который впадает в Онежскую губу Белого моря у Беломорска. Бассейн отличается большой озерностью, а сам Выг – порожистостью. И озеро, и река входят в состав Беломорско-Балтийского водного пути.

Озера средней части Карелии отличаются от северных озер более мягкой прибрежной растительностью, разнообразием трав, цветов и кустарников.

...Световую солому раздвинь
Как лучашуюся бахромю, –
Первозданно откроется синь
И тропа к озерку твоему...
Ю. Линник

В 30 км к юго-западу от Выгозера находится крупный водоем – *Сегозеро*. В результате строительства ГЭС превращено в водохранилище. Берега разнообразны – от высоких скалистых до низких, заболоченных, покрытых хвойным лесом. Сегозеро – глубоководный водоем: максимальная его глубина 97 м, средняя – 23 м, летом вода прогревается до 17 градусов. Замерзает озеро в декабре, вскрывается обычно в мае. Ведется лесосплав, вылавливаются ряпушка, окунь, сиг, щука, налим.

Очень красивое и необычное *Ондозеро*, оно имеет длину 30 км, ширину – более 13 км, наибольшая – глубина 8 м. Дно озера илистое или песчано-каменистое.

Исторический интерес представляет *Ругозеро*, т. к. Ругозерский погост с XV века входил в состав Новгородских земель. В начале XVII-XVIII века неоднократно завоевывался шведами. В XVIII веке добывалась ругозерская озерная железная руда. В XIX веке начались лесозаготовки и сплав. В 1920 году занят финнами. На берегу Ругозера стоит памятник Ругозерским коммунарам (в память о расстреле 1921 года).

Озерная система Пертозеро – Кончезеро – Укшозеро. Система расположена в 18 км к северо-западу от Петрозаводска и вытянута в этом же направлении на 40 км. Озера по отношению друг к другу расположены с небольшим уступом, они как бы продолжают друг друга. Между собой соединяются короткими, в сотню-другую метров, протоками и через такой же проток «выливаются» в реку Шую.

Озеро Сямозеро — одно из крупных озер южной Карелии. Находится в 70 км к западу от города Петрозаводска. Площадь водной поверхности – 266 кв. км. Наибольшая длина – 25 км, ширина – 15 км. Максимальная глубина – 24 м, средняя – около 7.

Самый большой водоем на юго-востоке Карелии — *Водлозеро*. Его общая площадь – около 370 кв. км, наибольшая длина – 36,2 км, наибольшая ширина – 15,9 км. На озере насчитывается около 200 островов, на некоторых есть селения.

Онего и Ладога описаны в стихах и прозе очень многих поэтов и писателей, и сегодня красота этих дивных озер вдохновляет современных творцов на создание новых прекрасных строк.

Ладожское озеро – самое крупное в Европе. Из него вытекает короткая, но очень полноводная река Нева, впадающая в Финский залив Балтийского моря. Само название Нева, или Нево, раньше относилось и к реке, и к озеру, и лишь значительно позже озеро получило самостоятельное название Ладога.

Онежское озеро – второе по величине озеро Европы. Площадь его – около 10 000 кв. км (9 682 кв. км без островов, 9 930 кв. км с островами), длина – до 248 км, ширина – до 80 км. Средняя глубина озера – 30 м, наибольшая – 120 м. Онежское озеро входит в бассейн Ладожского озера и реки Невы.

...Ладога и пенное Онего,
Светлая, высокая волна,
Чистота озер моих – от снега,
От земли великой глубина...

В. Потиевский

Водопады и реки Карелии также пользуются немалой популярностью среди поэтов и писателей: М. Пришвин (В краю непуганых птиц, 1973), Ф. Глинка (Карелия, 1938), Г. Державин (Ода «Водопад», 1973), А. Лихарев (Стихи карельских поэтов, 1973), И. Граве (1976), А. Ласточкин (Стихи карельских поэтов, 1976), Д. Ягодкин (Олонецкие водопады, 1983) и др. Так, по удачному сравнению одного из авторов описания сунских водопадов, «три падуна: Гирвас, Пор-Порог и Кивач представляют три момента борьбы (Суны) – трудность первого приступа (Гирвас), ожесточение разгара битвы (Пор-Порог) и торжество победы (Кивач)...».

Открытие Кивача в поэзии принадлежит Г. Р. Державину. Ода «Водопад», написанная в конце 1791 года уже зрелым поэтом, представляет великолепную, живую картину водопада.

...В пустыне шепот
Растет, растет, звучит, и вдруг –
Как будто конной рати топот,
Давит и ужасает слух!...

Сосланный в Петрозаводск поэт-декабрист Федор Николаевич Глинка в поэмах «Карелия» и «Дева карельских лесов» – этих великолепных пейзажных картинах природы Карелии, неоднократно упоминает Кивач.

Над Кивачом, на выси дальней,
Горит алмазная звезда...

По-новому трактует тему Кивача русский поэт Б. Лихарев. Он развивает мысль Державина о значении водопада: «...столь полезен».

Кивач бесновался. Сквозь грохот и звон
Мне слышались речи такие:
Быть может, не плохо, что я здесь пленен
Ярмом из бетона на Вые. (Здесь ошибка автора: плотиной одет Гирвас.)
Что проку бессмысленно щебень толочь,
К чему самолюбия счеты!

Водопад Падун на реке Водле расположен у д. Нижний Падун, немного ниже д. Верхний Падун, в 138 километрах по реке от Онежского озера в Пудожском районе Республики Карелия. Река Водла состоит из трех звеньев: нижнего, называемого собственно Водлой; среднего — озера Водлозеро, откуда она вытекает двумя рукавами: более длинным – Сухая Водла и более коротким — Вама и верхнего звена — р. Илекса, впадающая в Водлозеро. Кроме Падуна на Водле (ниже слияния Вамы и Сухой Водлы) насчитывается более 20 порогов. Все они приурочены к верхнему и среднему участкам реки, лишь один небольшой порог Мнивец (или Мневек) находится в ее низовье. Среди порогов снизу вверх по реке выделяются по величине падения и живописности Песьянец, Вайбуч, Березовец, Печки, Осинок, водопад Падун, Кинской и др.

Воицкий водопад на реке Нижнем (Северном) Выге находится в 100 километрах от устья реки и в 2 километрах от ее истока из Выгозера в Сегежском районе Карелии. Нижний Выг вытекает из самого большого озера Карелии — после Ладожского и Онежского — Выгозера (1285 квадратных километров). Впадает Нижний Выг в Белое море у города Беломорска. На всем протяжении Нижний Выг течет параллельно Кировской железной дороге, к западу от нее, не далее 0,5–2 километров.

Ужма, или *Подужемский* (едва ли правильное название, так как само село Подужемье, то есть под Ужмой, получило название от водопада, а не наоборот.) водопад на реке Кеми – весьма известный в Северной Карелии – расположен у старинного села Подужемье, в 19 километрах вверх по реке от города Кеми и в 17 километрах от станции Кемь Кировской железной дороги, по тракту Кемь — Ухта.

Широко известна, например, красивая легенда о происхождении водопадов Суны.

Реки Суна и Шуя – родные сестры – долго текли рядом, не желая расставаться друг с другом. В пути сестры устали и остановились отдохнуть. Суна, все время уступавшая сестре более удобное и покойное русло, уснула и проспала уход сестры вперед. Поэтому и называлась она Сон-река. Проснувшись, пораженная изменой и разлукой с сестрой, Сон-река бросилась догонять сестру, не выбирая русла и не останавливаясь перед преградами. В погоне за нею Сон-река налетела на скалы и начала неистово их рвать, пробиваясь стрелою все вперед. Скалы не могли ее удержать: Гирвас, Пор-Порог и Кивач – это победы Сон-реки. Но они измучили реку настолько, что с последним воплем, среди скал Кивача, Суна – Сон-река – отказалась от надежды догнать сестру (Ниже Кивача на Суне нет уже крупных порогов).

Таким образом, тема поэтической географии Карелии богата и перспективна, в связи с чем может получить дальнейшее развитие не только в трудах отдельных ученых, но и как самостоятельное научное направление, возможно, в будущем как самостоятельная дисциплина.

ПРОТИВОРЕЧИЯ СОВРЕМЕННОГО ВОДОПОЛЬЗОВАНИЯ

С. Б. Потахин

Карельский государственный педагогический университет

Вода занимает 70 % поверхности земного шара и является самым распространенным на нашей планете природным соединением. Она есть в воздухе, которым мы дышим, и в земле, по которой мы ходим. Она образует океаны, озера и реки. Вода — это источник жизни, без нее невозможно существование ни растений, ни животных, ни человека.

Вода способствует формированию климата на Земле, ее могучая сила преобразует нашу планету, уничтожая подчас творения человеческих рук. Она помогает нам соблюдать гигиену, готовить пищу, восстанавливать силы. Она уносит нечистоты и орошает поля; добытая из особых источников, она лечит нас лучше всяких лекарств.

Вода необходима для многих сторон хозяйственной деятельности людей — промышленности, сельского хозяйства, транспорта. Достаточно сказать, что почти все великие географические открытия были совершены мореплавателями, а освоение и заселение континентов совершалось в основном по водным путям, почти все крупнейшие города возникли на месте конечных пунктов речного или морского пути. Историю человечества можно проследить не только по развитию водной энергетики — от водяного колеса до современной турбины, но и по развитию водного транспорта — от наполненных воздухом звериных шкур и выдолбленных стволов деревьев до современных транс-океанских лайнеров.

И, наверное, самое главное заключается в том, что вода — это та среда, в которой зародилась жизнь на Земле. По этому поводу известный исследователь океана, почетный член Русского географического общества, путешественник Тур Хейердал сказал: «Одни верят в библейскую историю творения, другие — в доводы современного естествознания, но все согласны, что жизнь зародилась, в океане. Ни Бог, ни природа не смогли бы сотворить человека из безжизненной вулканической породы. Долгое и сложное развитие, венцом которого явился человек, началось в толще океана, когда энергия Солнца впервые преобразовала газы и продукты выветривания горных пород в протоплазму и живые клетки».

В связи с непрерывным процессом влагооборота в системе «океан — атмосфера — земля — океан» (гидрологический цикл, или большой кругооборот воды) вода в отличие от других природных ресурсов — нефти, газа, угля и др. — обладает таким исключительным свойством: сколько бы раз она не употреблялась в процессе жизни и деятельности человека, общее ее количество на Земле от этого не уменьшается. В процессе круговорота восстанавливаются качество воды и ее пригодность к новому употреблению.

Однако, несмотря на способность воды к самоочищению, проблемы ее сохранения существуют. Эти проблемы выражаются в противоречиях современного водопользования.

Выделяются три основных противоречия водопользования:

1. Между глобальными потребностями в воде и возможностями их удовлетворения (воды на Земле много, но значительная часть ее или непригодна для использования, или недоступна).

2. Между местными потребностями в воде и возможностями их удовлетворения, которые проявляются далеко не в одинаковой степени в различных частях земного шара и связаны преимущественно с неравномерностью распределения водных ресурсов.

3. Между существующими способами водопользования и их последствиями (истощением водных ресурсов, загрязнением вод).

Остановимся на каждом из указанных противоречий.

1. Общие запасы на Земле всех видов воды достаточно хорошо известны — они оцениваются огромной цифрой: 1 386 млн км³. Если этой водой равномерно покрыть весь земной шар, то ее слой составил бы 3 700 м. Однако основные запасы воды сосредоточены в Мировом океане — 1338 млн км³ (96,5 %). А горько-соленые морские воды не могут напрямую использоваться для удовлетворения как бытовых, так и хозяйственных нужд.

По данным тщательной инвентаризации, произведенной отечественными учеными во время международного гидрологического десятилетия, суммарные запасы всех видов пресных вод суши — рек, озер, подземных и снежно-ледниковых ресурсов — оцениваются цифрой 35 млн км³, или около 2,5 % общего количества воды на Земле.

Ресурсы пресных вод еще более уменьшаются, если учесть, что основная их масса — более 24 млн км³, или 70 % запасов, — находится в «законсервированном» виде — в ледниках и снежном покрове Антарктиды, островов Арктики, горных стран — и труднодоступна для практического использования.

Более 10,5 млн км³ пресных вод — это запасы подземных вод. Для многих стран они основной или один из главных источников водоснабжения. Однако использование подземных вод весьма ограничено поскольку их запасы распределены неравномерно, и потому, что нельзя допустить их истощения.

Основным источником обеспечения водой человечества в большинстве стран сейчас и в далекой перспективе будут реки и озера, запасы воды в которых далеко не безграничны и по современным данным не превышают 95 000 км³, т.е. всего 0,26 % от суммарных ресурсов пресных вод, или 0,007 % от общих запасов воды на Земле.

2. Неравномерное распределение водных ресурсов по территории земного шара приводит к тому, что в одних районах нехватка воды грозит перерасти в водный кризис, а в других районах нехватка воды — проблема далекого будущего. Водообеспеченность территории в различных районах земного шара большей частью не согласуется с численностью населения и размещением промышленного и сельскохозяйственного производства. В Европе и Азии сосредоточено 77 % населения мира, но на эту территорию приходится только 38 % мировых запасов ежегодно возобновляемых пресных вод. Население Южной Америки составляет 5 %, а водные ресурсы равны 25 % суммарного объема годового стока рек мира.

Среди чрезвычайно разнообразных вариантов соотношений между природными и хозяйственными системами выделяются четыре наиболее характерных:

- районы с большими водозапасами и ограниченными потребностями в воде (страны Африки, Южной Америки и Юго-Восточной Азии, расположенные в экваториальных широтах, а также на восточной окраине материков тропического пояса, некоторые Скандинавские страны, север Канады);

- районы с относительно небольшими запасами, но и с незначительными в них потребностями (большинство стран Северной Африки, Ближнего и Среднего Востока);

- районы со значительными запасами и большими потребностями в воде (высокоразвитые и густонаселенные страны Западной Европы, восточная часть США, северо-западные субъекты Российской Федерации); к этой группе относится и территория Республики Карелия;

- районы с относительно ограниченными водозапасами, но большими потребностями в них (запад США, некоторые урбанизированные районы Японии, страны Персидского залива и т.д.).

3. Решение противоречий современного водопользования как в глобальном, так и в региональном масштабе возможно только на основе планирования водохозяйственных мероприятий. Важное место при разработке системы таких мероприятий принадлежит анализу взаимосвязей природной среды и хозяйства, изучению региональных различий водопользования. Планирование водопользования в глобальном аспекте направлено на изменение факторов, лимитирующих водопользование. Один из путей решения этой проблемы — регулирование возобновимых водных ресурсов.

Другой путь изменения факторов, лимитирующих водопользование, — увеличение доступности для использования некоторых видов вод гидросферы. Один из возможных вариантов будет заключаться в широкой утилизации подземных вод глубокого залегания, а также в создании искусственных легкодоступных запасов подземных вод (магазинирование). Важную роль в будущем, очевидно, сыграет увеличение доступности ледниковых вод либо путем транспортировки льда (например, айсбергов) в воднодефицитные районы, либо воздействием на сток ледниковых вод (например, путем зачернения поверхности льда), либо путем переброски по водопроводам на большие расстояния.

Наконец, повышение пригодности вод для различных видов потребителей может достигаться путем опреснения минерализованных вод Мирового океана, запасы которых огромны. Считается, что опреснение морской воды позволит населению земного шара в течение 300 тыс. лет пользоваться питьевой водой из расчета 1 000 км³/год на одного жителя.

Однако наибольшее значение в увеличении пригодности водных ресурсов для потребления имеет очистка загрязненных сточных вод.

ЗАГРЯЗНЕНИЕ ПРИБРЕЖНЫХ ГЕОКОМПЛЕКСОВ ОНЕЖСКОГО ОЗЕРА (на примере острова Брусно)

А. В. Гайдашева, С. Б. Потахин

Карельский государственный педагогический университет

Введение и задачи исследования

Увеличение объема бытового мусора — актуальная угроза человечеству. Уже в начале 90-х гг. XX в. на одного жителя США в год приходилось по 744 кг бытовых отходов, на жителя Австралии — 681 кг, Канады — 635 кг. Наибольший объем бытовых отходов — до 32 % составляют бумага и картон, 24 % — пищевые отходы, 14 % — зола, 10 % — стекло, 7 % — пластмасса и т.д. (Моуэт, 1991). Доля последнего из упомянутых загрязнителей с каждым годом возрастает.

В окрестностях Москвы только в 1992 г. появилось 200 диких, т.е. никем не контролируемых, свалок, часть из которых расположилась по берегам водоемов и водотоков. Именно такие свалки являются самыми опасными, поскольку на них выбрасывает кто угодно и что угодно — начиная от ртутных ламп и кончая шламами гальванических производств, буквально набитыми солями тяжелых металлов (Орешкин, 1993).

Береговые ландшафты различных водных объектов испытывают значительные антропогенные нагрузки как в результате прямого воздействия (например, рекреационного), так и косвенного (в результате аккумуляции отдельных видов отходов промышленности, сельского хозяйства и транспорта). Прибрежные геокомплексы, являющиеся местом отдыха рекреантов, давно уже потеряли свой естественный облик. Многочисленные костровища, кучи мусора, поврежденные (фауновые) или вырубленные деревья — это довольно типичная картина береговой линии многих рек, озер, морей.

Нынешнее состояние береговых природных комплексов вызывает необходимость изучения этого вопроса и неотложного принятия мер по ликвидации загрязнения и сохранения эстетического потенциала побережий. Основной целью проводимого исследования является выявление величины, состава и источников загрязнения береговой линии Онежского озера; определение вида и причин преобразования прибрежных геокомплексов.

Задачами исследования являются: 1) сбор фактического материала; 2) анализ собранных материалов; 3) оценка современного состояния прибрежных геокомплексов; 4) выработка рекомендаций по предотвращению загрязнения и утилизации мусора, скопившегося на побережьях.

Методы исследования

Начиная с 1970-х годов исследователями многих стран регулярно проводятся контрольные подсчеты мусора на побережьях всех континентов.

В марте 1983 г. были проведены исследования состава мусора на 60-м пляже острова Гельголанд в Северном море (Vauk, Schrey, 1987). Было собрано 106 партий мусора, выброшенного морем на берег. В их составе насчитывалось 8 539 предметов общим весом 1 360 кг. Количество предметов из пластмассы и резины составило 6 404 единицы. Остальные находки были из дерева, бумаги и картона, стекла и фарфора; встречались также пищевые отходы и предметы одежды. По утверждению исследователей, 99,2% всех предметов явно сброшено с судов, лишь 0,8 — с самого острова. По национальной принадлежности мусор идентифицирован, где это было возможно, следующим образом: 39,5 % — ФРГ, 16,5 % — Нидерланды, 17,8 % — Великобритания, 9,6 % — Дания, 3,5 % — Франция, 1,7 % — Бельгия, по 1,5 % — Швеция и Финляндия, 7 % — другие страны.

Согласно данным американских ученых (Pruter, 1987), в результате судоходства в моря ежедневно попадает 4,8 млн металлических, 300 тыс. стеклянных и 450 тыс. пластмассовых предметов. В результате, например, в 1972 г. на отмелях Аляски пластиковый мусор лежал плотностью 122 кг/км², а в 1982 г. — уже 255 кг/км². Наибольшее количество мусора сбрасывается с пассажирских и торговых судов.

В заливе Ферт-оф-Форт в марте-октябре 1984 г. были проведены среднесуточные и ряд краткосрочных обследований побережья (Caulton, Mocogni, 1987). Сбор мусора производился на площади 1 500 м² у уреза воды. Собранный материал был сгруппирован по 19 категориям. Основную массу составляли упаковочные емкости разных видов (металл, картон, пластмасса), пластиковые пакеты, покрытия, одежда и обертки от кондитерских изделий. Большая часть мусора имела местное происхождение (г. Эдинбург) и была принесена приливом из ближайшей акватории. Отходы зарубежного происхождения, а также с проходящих морских судов имели случайный характер. Много мусора было оставлено на пляжах отдыхающими. Авторы исследования делают вывод, что для решения более эффективны пропаганда и повышение экологической грамотности населения, чем меры наказания.

В течение ряда лет кафедрой географии КарГПУ проводились исследования масштабов загрязнения различных водоемов Карелии. Часть материалов опубликована (Потахин, Семенов, 1992; Гриппа и др., 1996), а также был подготовлен научный отчет по хоздоговорной теме «Загрязнение берегов Онежского озера и антропогенное воздействие на прибрежные геокомплексы» (договор 1–56, 2001 г. с Министерством сельского хозяйства и продовольствия Республики Карелия).

Методика проведения исследований описана в упомянутых выше публикациях. При подсчете загрязнения береговой линии использовались площадной и маршрутный способы.

Площадной способ заключается в произвольном выборе участка на побережье озера определенной площади. Если площадь участка составляла 10 м², то подсчет производился следующим путем. На кольшики натягивается связанный в кольцо шнур длиной 22 м. Таким образом, площадка может иметь произвольную форму: например, вытянутую вдоль берега или поперек береговой линии длиной 10 м, шириной 1 м (длиной 5 м, шириной 2 м); квадратную – 3,16×3,16 м и т.д.

Маршрутный способ включает оценку количества и качества мусора на протяжении примерно 200 погонных метров побережья при ширине полосы от 10 до 20 м. На протяжении каждого километра побережья выбирается несколько контрольных площадок.

Детальные измерения составных компонентов мусора производятся при помощи рулетки (линейки) и весов. Оценивается объем, площадь и вес различных компонентов мусора. Например, металлические, пластиковые и стеклянные бутылки, пакеты, банки, детали механизмов и т.п. оцениваются по весу; полиэтилен — по площади; древесина, шунгизит, пенопласт — по объему.

Для достижения объективности оценки выводятся средние показатели результатов исследований.

Результаты исследования и выводы

Одним из объектов исследования по данной теме стал остров Брусно. Он расположен в юго-западной части Онежского озера на расстоянии 1,5 км от бухты Брусно и в 3,5 км от Вехручинской бухты. Координаты северной оконечности: 61° 28' 05,2" с. ш. и 35° 17' 20,3" в. д. Наиболее приближено к материку (375 м) западное побережье острова. Основание залива Брусно отделяют от д. Ростань, расположенной на Вытегорском шоссе, 3,75 км лесной дороги. С севера на юг остров простирается на 700 м, протяженность с запада на восток составляет 825 м. Береговая линия имеет протяженность 2,75 км. Площадь острова равна 1,89 км². Максимальное значение абсолютной высоты находится в пределах 40–42,5 м. Относительная высота не превышает 7–8 м.

Подсчет загрязненности побережья острова был произведен маршрутным способом, который включает оценку количества и качества мусора.

Были заложены четыре пробные площадки (северная, южная, западная и восточная прибрежные зоны) протяженностью около 800 м каждая. На этих площадках был подсчитан бытовой и производственный мусор: полиэтилен, пенопласт, пластмасса, железо, стекло.

Так как материал был разбросан по побережью, при подсчете общего загрязнения бралась прибрежная полоса различной ширины: для стекла эта полоса составляла 3 м, для полиэтилена, пластмассы, железа — 5 м.

Результаты исследования, приведенные в табл. 3, показали, что самым загрязненным участком острова является северный.

Северное побережье о. Брусно

Компоненты мусора	Количество			
	Северный уч.	Южный уч.	Западный уч.	Восточный уч.
Пластиковые бутылки и банки	38	32	54	15
Стеклянные бутылки и банки	43	4	5	7
Металлические банки	7	4	—	—
Полиэтилен	1,5 м ²	3 м ²	1 м ²	—

Это можно объяснить тем, что северная часть о. Брусно — наветренная, внешняя омывается водами «открытого Онега», где проходит фарватер. Следовательно, мусор попадает на остров с проходящих мимо судов и связан с волноприбойными явлениями.

На прибрежной полосе остальных частей острова металлический и стеклянный мусор не связан с волноприбойными явлениями и должен рассматриваться как результат рекреационного воздействия. На побережье было обнаружены 3 рыбацкие стоянки, которые сосредоточены на западном побережье. Также зафиксированы костровища: 3 — на северном, 4 — на южном, 4 — на западном и 1 — на восточном побережьях.

Наиболее встречаемыми видами мусора являются полиэтиленовые бутылки, железные банки, веревки, которые используются рыбаками, стеклянная тара. Полиэтиленовая тара часто служит поплавками-метками на рыболовных сетях.

Заключение

Проведенное исследование позволяет сделать следующие выводы:

1. Наиболее загрязненными мусором являются наветренные побережья острова, вдоль которых проходят трассы пассажирских и грузовых судов. Значительные скопления мусора отмечены на рыбацких и туристских стоянках.
2. Наиболее распространенными загрязнителями побережий являются упаковочные материалы и различная тара из пластмассы и стекла. На туристских и рыбацких стоянках отмечается большая концентрация металлических предметов и изделий из других материалов (резины, бумаги и т.д.).
3. Основной причиной преобразований прибрежных геоконплексов острова в настоящее время является рекреационная деятельность. В прошлом на структуру береговых ландшафтов острова оказывала влияние горнодобывающая деятельность — добыча малинового кварцито-песчаника.

4. Наиболее оптимальным путем утилизации мусора является его складирование на свалках, но это мероприятие является дорогостоящим и затруднено транспортной недоступностью. В настоящее время практикуется сжигание, закапывание и складирование мусора в местах туристских и рыбацких стоянок. Эта практика приводит к негативным преобразованиям геоконплексов, загрязнению атмосферы, снижению эстетичности ландшафта.

5. Принятие штрафных санкций за загрязнение природных объектов в настоящее время малоэффективно. По нашему мнению, лишь формирование экологической культуры населения может привести к решению проблемы. Под экологической культурой понимается «использование окружающей среды на основе познания естественных законов развития природы с учетом ближайших и отдаленных последствий изменения среды под влиянием человеческой деятельности» (Протасов, Молчанов, 1997, с. 59). Экологическая культура — неотъемлемая часть общечеловеческой культуры, представленной совокупностью продуктов материального и духовного труда. Развитие экологической культуры взаимосвязано с развитием профессионального экологического образования, воспитания и информирования.

Литература

Гриппа С. П., Потахин С. Б., Семенов В. Н. Загрязнение береговой линии заливов Онежского озера // Экологические проблемы Севера европейской территории России: Тез. докл. (Апатиты, 11–15 июня 1996 г.) Апатиты, 1996. С. 51.

Загрязнение берегов Онежского озера и антропогенное воздействие на прибрежные геоконплексы / Потахин С. Б., Антонова Р. Ф., Вага Т. В. и др. Петрозаводск, 2001. 60 с. (рукопись).

Моуэт Л. Мусор — зола — бетон // За рубежом. 1991. № 46. С. 20.

Орешкин Д. Б. Культура помойки // География. 1993. № 5. С. 3.

Потахин С. Б., Семенов В. Н. Современное загрязнение Петрозаводской губы Онежского озера // Экологические проблемы Северо-Запада России: Тез. науч.-практ. конф. Псков, 1992. С. 82–83.

Протасов В. Ф., Молчанов А. В. Словарь экологических терминов и понятий. М., 1997. 160 с.

Caulton E., Mocogni M. Preliminary studies of man-made litter in the Firth of Forth, Scotland // Mar. Pollut. Bull. 1987. 18. # 8. P. 446–450.

Pruter A. T. Sources quantities and distribution of persistent plastics in the marine environment // Mar. Pollut. Bull. 1987. 18. # 613. P. 305–310.

Vauk G. J. M., Schrey E. Litter pollution from ships in the German Bight // Mar. Pollut. Bull. 1987. 18. # 66. P. 316–319.

Часть 2

ГИДРОЛОГИЯ



СТРУКТУРА МНОГОЛЕТНЕГО ВОДНОГО БАЛАНСА ОЗЕРА ПРЯЖИНСКОЕ

Ю. В. Голомах, Ю. А. Сало

*Карельский государственный педагогический университет,
Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН*

Введение

Исследование закономерностей поступления, накопления и расходования влаги в границах природных объектов (речных или озерных водосборов, административных территорий, регионов и др.) выполняется с использованием метода водного баланса, в основе которого лежат генетические методы анализа причинно-следственных связей природных факторов и процессов. Уравнения водного и теплового баланса отражают фундаментальный закон природы – закон сохранения вещества и энергии – применительно к гидрологическим объектам. В зависимости от изучаемого природного объекта и расчетного интервала времени уравнение водного баланса может включать в себя различные элементы и, следовательно, иметь разную степень детализации и написание (уравнение «полного» или «приближенного» водного баланса) (Бочков, 1976; Методы изучения..., 1981; Методы расчета..., 1976). Результаты расчета по выбранному уравнению зависят от наличия, полноты и точности исходных данных.

Цель данной работы – рассчитать средний многолетний водный баланс и выполнить анализ его структуры для озера Пряжинское – базового объекта исследования по международной программе Лейкпромо.

Для достижения поставленной цели необходимо было решить следующие задачи:

- сформировать базу данных гидрометеорологических наблюдений по району исследований;
- выбрать расчетный период, в течение которого водный баланс озера может рассматриваться как равновесный;
- в зависимости от наличия и полноты исходных данных выбрать расчетные методы и выполнить расчет основных элементов водного баланса озера;
- выполнить анализ структуры приходной и расходной частей баланса и оценить количественные характеристики условного водообмена озера.

Материалы и методы

Исходными материалами для расчета многолетнего водного баланса за указанный период служили данные инструментальных наблюдений на метеостанции (МС) Пряжа (1960-1991 гг.), на гидрологическому посту в истоке из оз. Пряжинское (1977-1980 гг.), на озерном посту оз. Пряжинское - пгт. Пряжа (1964-1986 гг.); материалы специальных исследований, выполненных на оз. Пряжинское и его водосборе Институтом водных проблем Севера КарНЦ РАН в предыдущие годы. Схема расположения пунктов наблюдений показана на рис. 1.

Сведения о морфометрии озера и характеристиках его водосбора, необходимые для расчета составляющих водного баланса приведены в табл. 1.

Основным для расчета водного баланса озера Пряжинское является следующее уравнение:

$$P + Q_{\text{ПОДЗ}} + Q_{\text{ПОВЕРХ}} - E - R_{\text{ПОДЗ}} - R_{\text{ПОВЕРХ}} - W = \Delta V, \quad (1)$$

где P – объем атмосферных осадков на зеркало озера; $Q_{\text{ПОДЗ}}$ – подземный приток с водосбора; $Q_{\text{ПОВЕРХ}}$ – поверхностный приток с водосбора; E – испарение с водной поверхности озера в безледоставный период года и со снега в зимние месяцы; $R_{\text{ПОДЗ}}$ – подземный сток из озера; $R_{\text{ПОВЕРХ}}$ – поверхностный сток из озера; W – забор воды из озера для водоснабжения п. Пряжа; ΔV – изменение объема воды в озере за расчетный период.

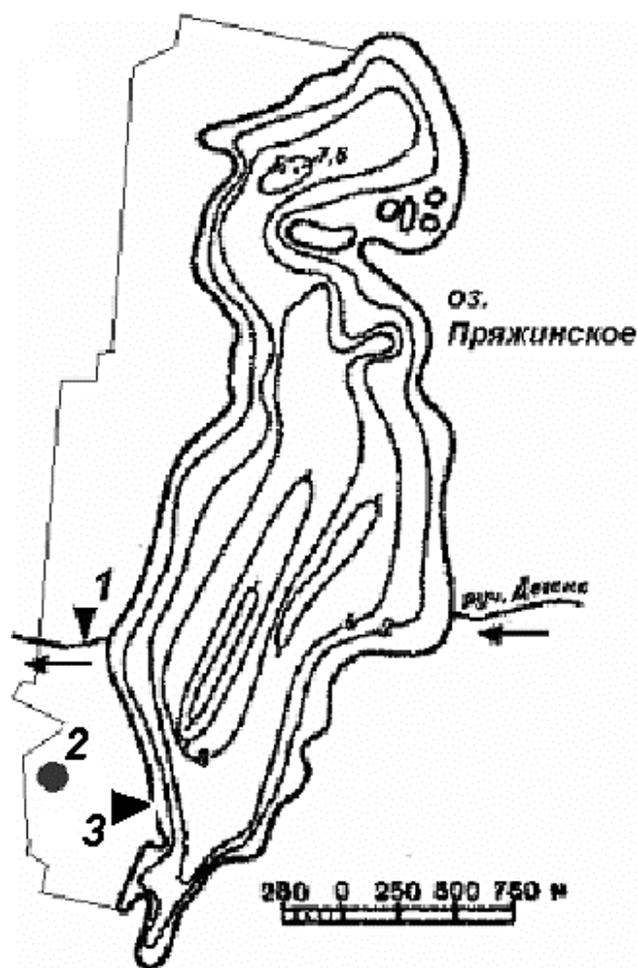


Рис. 1. Схема расположения пунктов наблюдений на озере и водосборе:

1 – речной сток; 2 – метеостанция;
3 – озерный урвненный пост

Все элементы водного баланса в уравнении (1) выражены в млн. м³. В качестве расчетного периода выбран гидрологический год (с 1 ноября предыдущего до 31 октября текущего года).

Анализ опубликованных многолетних данных по уровням воды озера Пряжинское показал, что для 9-летнего периода (1978-1986 гг.) изменения уровня и соответственно объема воды в озере могут быть приняты равными нулю ($\Delta V=0$). При этом уравнение (1) характеризует равновесный водный баланс озера Пряжинское.

Таблица 1

Основные морфометрические характеристики озера Пряжинское

Характеристика	Значение	
Координаты центра озера	61° 41' 44" N 33° 38' 28" E	
Высота над уровнем моря, м. абс.	108,4	
Площадь водосбора, км ²	50,2	
Площадь озера, км ²	общая	3,8
	водной поверхности	3,7
Длина, км	4,5	
Ширина, км	средняя	0,8
	наибольшая	1,6
Глубина, м	средняя	4,1
	наибольшая	7,5
Объем воды, км ³	0,0149	

Водный баланс озера пряжинское за многолетний период

Расчет осадков (P) на зеркало озера выполнен по формуле:

$$P = 0,001 \cdot F_{\text{зерк}} \cdot P_{\text{мс}},$$

где P – осадки, млн. м³; F_{зерк} – площадь зеркала озера, F_{зерк} = 3,7 км²; P_{мс} – среднее за расчетный период годовое количество осадков по МС Пряжа за гидрологический год, мм.

За период 1978-1986 гг. годовая сумма осадков по МС Пряжа изменялась от 503 до 838 мм, в среднем за расчетный период P_{мс} = 629 мм. Тогда при F_{зерк} = 3,7 км² объем осадков на зеркало озера равен 2,42 млн. м³.

Подземный приток (Q_{ПОДЗ}) в оз.Пряжинское за период 1978-1986 гг. был рассчитан с учетом результатов полевых исследований, выполненных лабораторией гидрохимии и гидрологии ИВПС КарНЦ РАН. Расчет по формуле Дарси с учетом уровней воды в измерительных скважинах, коэффициента водопроницаемости грунта и дебита родников показал, что суточный подземный приток равен 8,5 тыс.м³/сут., что соответствует годовому притоку подземных вод с водосбора в озеро Q_{ПОДЗ} = 3,10 млн.м³.

Поверхностный приток (Q_{ПОВЕРХ}) рассчитан по модулю речного стока по гидрологическому посту в истоке из оз. Пряжинское. Средний за расчетный период расход воды получен равным 0,505 м³/с, площадь водосбора – 59,8 км²; следовательно, модуль стока равен M = 0,505 · 1000 / 59,8 = 8,4 л/с·км². Принимая указанный модуль равным модулю притока поверхностных вод с водосбора площадью 50,2 км², получим, что средний многолетний приток Q_{ПОВЕРХ} = 0,0315 · 8,4 · 50,2 = 13,3 млн.м³.

В наших расчетах для оценки испарения с водной поверхности оз. Пряжинское использованы карты нормы испарения с поверхности стандартных водоемов с площадью водной поверхности 2 км² и глубиной 2 м (Ресурсы..., 1972). В соответствии с этим методом с карты по местоположению озера снимается значение E_{СТ} и определяются поправочные коэффициенты на отличие фактической глубины водоема от стандартной (K₁), на фактическую среднюю длину разгона воздушного потока над водоемом (K₂), на уменьшение испарения с защищенных водоемов (K₃) и на зарастание водоема (K₄). Эти коэффициенты определяются по таблицам, приведенным в Ресурсы..., 1972.

Озеро Пряжинское по площади водной поверхности (3,7 км²) и средней глубине (4,1 м) близко к стандартному водоему, поэтому для него все коэффициенты, кроме K₃, равны единице. Коэффициент K₃ при фактической длине разгона воздушного потока 2,7 км и принятой средней высоте препятствий (высота деревьев 30-50 м) принят равным 0,96. Для оз. Пряжинское E_{СТ} = 450 мм. Тогда с учетом коэффициентов среднее за расчетный период испарение с его водной поверхности равно E = 432 мм, или в единицах объема с учетом площади озера E = 432 · 3,7 · 0,001 = 1,60 млн. м³.

Испарение за зимний период (ноябрь-апрель) для всех лет принято равным 30 мм (Кабранова, 1977), что соответствует в объемных единицах 0,111 млн. м³.

Поверхностный сток (R_{ПОВЕРХ}) из озера рассчитан по формуле

$$R_{\text{ПОВЕРХ}} = 31,54 \cdot Q, \text{ млн.м}^3,$$

где Q – средний расход воды за гидрологический год, м³/с.

Поскольку измерения расходов воды в истоке из оз. Пряжинское производились только в 1978-1980 гг., этих данных недостаточно, чтобы подсчитать средний сток за расчетный период (1978-1986 гг.). Поэтому для расчета расходов воды за недостающие годы применен метод гидрологической аналогии. Сущность метода состоит в том, что устанавливается связь стока расчетной реки (в нашем случае – в створе на выходе из озера) со стоком рек-аналогов за совместный период и рассчитывается сток расчетной реки за недостающие годы по данным рек-аналогов, имеющих более продолжительный период наблюдений. В данном случае в качестве рек-аналогов выбраны два ближайших створа: р.Свят – пгт. Пряжа (площадь водосбора 355 км², период наблюдений с 1932 года по настоящее время) и р.Маньга – д.Маньга (площадь водосбора 209 км², период наблюдений с 1937 года по настоящее время). Хронологические графики расхода воды за совместный период показаны на рис.2.

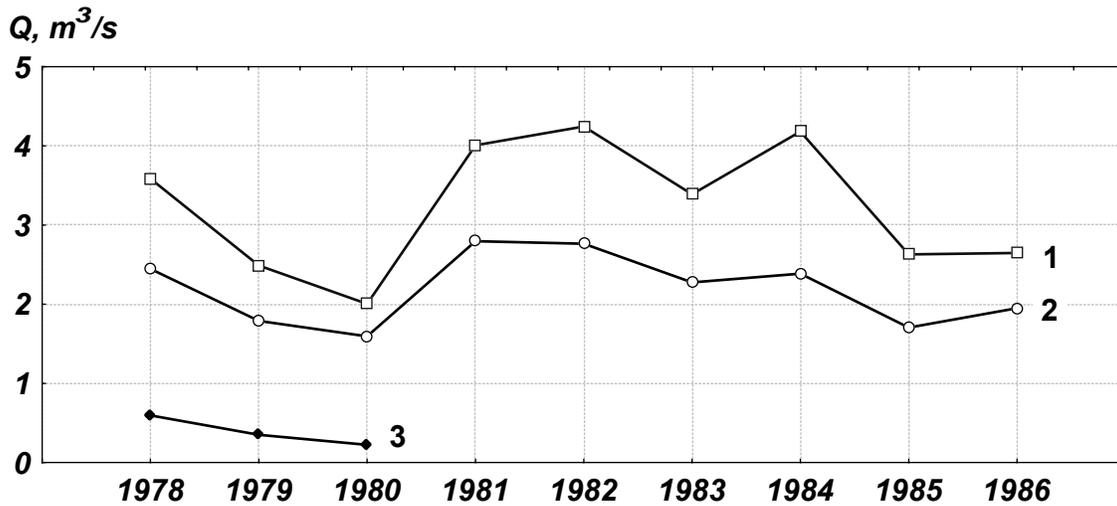


Рис.2. Средние за гидрологический год расходы воды:

1- р. Свят – пгт. Пряжа; 2 - р. Маньга – п. Маньга;
3 - протока между озерами Пряжинское и Шаньгима – пгт. Пряжа;

С помощью ППП STATISTICA 5.0 были получены соответствующие уравнения связи расхода воды в расчетном створе и створах-аналогах и рассчитан средний за период 1978-1986 гг. объем стока воды из озера Пряжинское $R_{\text{ПОВЕРХ}}=15,9$ млн.м³.

Подземный сток ($R_{\text{ПОДЗ}}$) в уравнении (1) принят равным нулю.

Озеро Пряжинское – источник водоснабжения пгт. Пряжа. Водообеспечение жителей и предприятий осуществляется из озера двумя водозаборами - коммунальным и ведомственным. Коммунально-бытовые стоки после очистки сбрасываются в руч. Шаньгимский, за пределы водосбора озера, поэтому в уравнении водного баланса (1) учитывается только забор воды из озера (в среднем за расчетный период 1978-1986 гг. $W=0,203$ млн. м³).

Заключение

По результатам расчета элементов водного баланса составлена сводная таблица (табл. 2), которая позволяет выполнить анализ структуры многолетнего водного баланса оз. Пряжинское за расчетный интервал времени. Как следует из табл.2, невязка баланса, определяемая как разность между суммарным приходом и суммарным расходом, равна 1,01 млн.м³, или 5,4% от общего прихода. Это подтверждает достаточно высокую точность расчета отдельных составляющих баланса и принятые при расчетах допущения.

Таблица 2

Многолетний водный баланс оз. Пряжинское за 1978-1986гг.

Составляющие водного баланса					
	Приход		Расход		
	млн.м ³	%		млн.м ³	%
Осадки	2.42	12.9	Испарение с водной поверхности	1.60	9.0
Подземный приток	3.10	16.5	Испарение со снега	0.111	0.6
Поверхностный приток	13.3	70.6	Поверхностный сток	15.9	89.3
			Подземный сток	0	0
			Использование воды	0.203	1.13
Всего	18.82	100	Всего	17.81	100
Невязка баланса	1,01 млн.м ³				

Структура многолетнего водного баланса оз. Пряжинское следующая. В приходной части баланса основной составляющей является поверхностный приток с водосбора, на долю которого приходится около 71% общего поступления воды в водоем. Доля осадков составляет около 13%, следовательно, гидрохимические условия в оз. Пряжинское будут в основном определяться химическим составом воды, стекающей в котловину озера с его водосбора. В расходной части баланса основной составляющей является поверхностный сток из озера, на долю которого приходится 89,3% общего расхода. Хозяйственное использование незначительно, забор воды составляет чуть более 1%.

Важной гидрологической характеристикой озера является показатель его условного водообмена ($k_{y,v}$). Он определяется как отношение объема воды W , вытекающей из озера к объему воды V в котловине озера

$$k_{y,v}=W/V, \text{ год}^{-1}.$$

Величина, обратная $k_{y,v}$, называется периодом условного водообмена $T_{y,v}$, и характеризует время, в течение которого объем воды в озере заменяется новой

$$T_{y,v}=k_{y,v}^{-1}=V/W, \text{ год}.$$

По данным табл. 1 и 2 рассчитаны показатели условного водообмена оз. Пряжинское. Получены следующие значения:

$$k_{y,v}=15,9/14,3=1,11 \text{ год}^{-1},$$
$$T_{y,v}=0,9 \text{ года}=330 \text{ сут}.$$

Указанные показатели проточности имеют важное значение для анализа гидрологических, химических и биологических процессов, протекающих в озере.

Выполненные расчеты характеризуют структуру водного баланса оз. Пряжинское за многолетний период. Вместе с тем важное значение имеет внутригодовой ход элементов водного баланса и его структура по сезонам. Расчет сезонных водных балансов оз. Пряжинское является задачей дальнейших исследований.

Результаты расчетов являются гидрологической основой для анализа гидрохимического и гидробиологического режима озера Пряжинское по программе проекта Лейкпромо, а также могут быть использованы для выполнения школьных исследовательских проектов по экологии, географии и краеведению.

Литература

Бочков А. П. Водный баланс речных бассейнов за конкретные интервалы времени и генетически однородные периоды // Тр. IV Всесоюз. гидрол. съезда. Т. 2. Л., 1976. С. 72-79.

Кабранова А.И. Водный баланс Выгозерско-Ондского водохранилища / Сборник работ Ленинградской гидрометеорологической обсерватории. Выпуск 11. Исследования режима и расчеты водного баланса озер-водохранилищ Карелии. Л., 1977. С. 78-93.

Методы изучения и расчета водного баланса / Ред. В. С. Вуглинский, Г. С. Клейн и др. Л., 1981. С. 201-233.

Методы расчета водных балансов. Международное руководство по исследованию и практике / Ред. А. А. Соколов и Т. Г. Чапмен. Л., 1976. 120 с.

Ресурсы поверхностных вод СССР. Т.2. Карелия и Северо-Запад. Ч. 1. Л., 1972. 528 с.

РЕЛЬЕФ ВОДОСБОРНОГО БАССЕЙНА ОЗЕРА ПРЯЖИНСКОЕ

Р.О. Жигadlo, С.П. Гриппа,

Карельский государственный педагогический университет

Введение

Озеро Пряжинское находится в пределах северных склонов Олонецкой возвышенности, являющейся Онежско-Ладожским водоразделом. Абсолютные высоты ее превышают 300 м. Урез озера Пряжинское находится на высоту 108,4 м.

Рельеф водосборного бассейна озера и рыхлые отложения ледникового и водно-ледникового генезиса играют существенную роль в водном балансе и фильтрации подземных вод, поступающих в водоем. Формы поверхности исследуемой территории и их генезис достаточно разнообразны. Здесь отмечаются гляциальные отложения в виде моренных холмов, возвышенностей и гряд; флювиогляциальные — в виде озовых гряд, озерно-ледниковых зандровых равнин; ледниково-озерные — в виде слоистых песчано-глинистых озерных террас; аллювиальные — в долине ручья Дегенс; болотные — торфяники. Особый интерес геоморфолога вызывают различные типы побережий самого озера: абразионные, аккумулятивные, фитогенные, потамогенные, антропогенные.

Территория водосборного бассейна подвержена антропогенному воздействию, степень которого отличается по разные стороны от озера. С запада от него располагается поселок Пряжа, в пределах которого формы поверхности подверглись существенному влиянию, с востока территория испытывает меньшее влияние человека и здесь лучше сохранились условно неизменные природные комплексы. На расстоянии 0,5 км к востоку от озера построены песчано-гравийные карьеры и небольшой завод по производству асфальто-битумной смеси для строительства дорог. Местами отмечаются следы лесозаготовок. Для предотвращения лесных пожаров по всей территории бассейна прорыты противопожарные канавы. На многих склонах озовых гряд встречаются следы боевых действий — окопы и блиндажи времен Второй мировой войны, которые не оказывают какого-либо заметного влияния на природные комплексы в целом.

На северо-восточном берегу Пряжинского озера построен водозабор для обеспечения поселка Пряжа чистой питьевой водой. Скважины были пробурены в основании озовой гряды, склон которой частично подрезан и выровнен в виде небольшой террасы над озером в месте выхода грунтовых вод.

Материалы и методы

При проведении геоморфологических исследований на территории водосборного бассейна озера Пряжинское нами применялись различные методы: картографические, морфометрические, структурно-геоморфологического анализа и др. При определении типа рельефа устанавливалось его происхождение. Формы поверхности отображались посредством нанесения на карту условных знаков. Этот метод дает больше информации о рельефе, чем, например, простая фиксация границ между крутыми и пологими склонами; он лучше отражает особенности поверхности, если наносится на рабочую карту, имеющую горизонталь.

Важнейшим методом геоморфологии является профилирование. Он дает возможность в масштабе изобразить ход поверхности и представить перепады высот и глубин. На территории исследования нами были построены геоморфологические профили озовых гряд, побережья озера, болота, моренных холмов (рис. 2, 3). Помимо измерения элементов рельефа и их картографирования (см. приложение) нами изучался состав, строение и залегание четвертичных пород, а также проводился их гранулометрический анализ. Важным пунктом на этапе исследований была регистрация современных процессов рельефообразования. Работа на ключевых участках включала в себя сбор геоморфологических данных по формам рельефа (геометрическая форма, очертания, ширина, высота, крутизна склонов, характер подошвы, бровки, поверхности и др.), изучение их взаимных соотношений (разбросаны, одиночно, располагаются беспорядочно, образуют линейно вытянутые комплексы и т. д.), изучение внутреннего строения основных форм рельефа — литологического состава пород, их текстурных особенностей, условий залегания и т. д. С этой целью использовались обнажения имеющихся на территории исследования карьеров и закладывались почвенно-грунтовые шурфы.

Результаты и обсуждения

В целом рельеф исследуемой территории представлен цокольной тектонически-денудационной возвышенной холмистой равниной на кристаллическом фундаменте Балтийского щита с чехлом осадочных пород четвертичных отложений. Водосборный бассейн озера ограничен грядами и возвышенностями ледникового и водно-ледникового генезиса невской стадии (Nw_1) – около 12150-10760 лет назад деградации Верхневалдайского ледника. Невские краевые образования представлены главным образом формами рельефа мертвого льда (Палеогеография Европы, 1982)*. Здесь представлены предфронтальные, фронтальные и зафронтальные морфоскульптурные элементы края ледникового покрова (рис. 1). Мощность рыхлых четвертичных отложений в данном районе составляет более 50-60 м.

В невскую стадию деградации ледникового покрова предфронтальная зона находилась к северу от современного положения Пряжинского озера и сейчас представлена в основном песчано-гравийными отложениями смешанного генезиса: ледникового и водно-ледникового. В этой зоне встречаются небольшие холмистые равнины, сложенные озерными песками приледниковых водоемов.

К юго-востоку от Пряжинского озера находится зафронтальная зона бывшего ледникового покрова (Nw_1). Она ныне занята возвышенностями (до 235 м), сложенными преимущественно крупнообломочной завалуненной мореной. Местами эта морена была подвержена сильному воздействию водных потоков, поэтому здесь часто встречаются «каменные речки» — хорошо отмытая абрадированная морена, в которой совершенно отсутствует мелкозем.

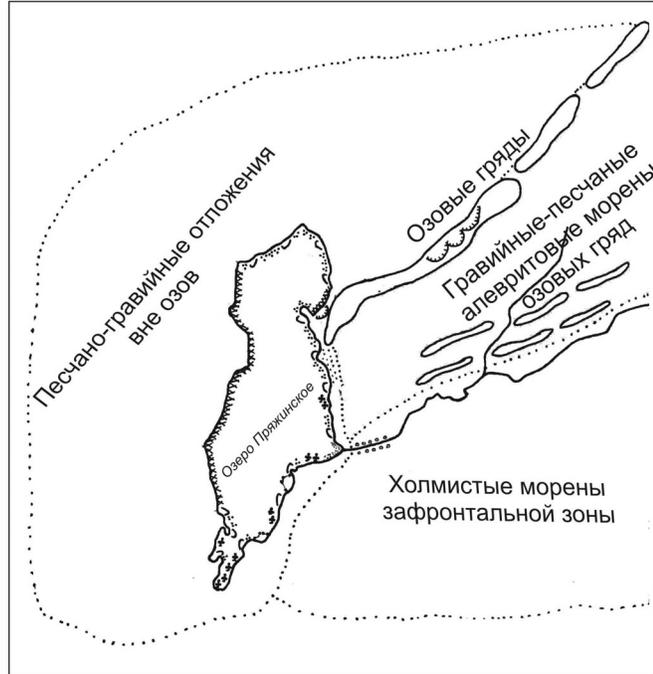


Рис. 1. Схема генетических типов рельефа водосборного бассейна озера Пряжинское

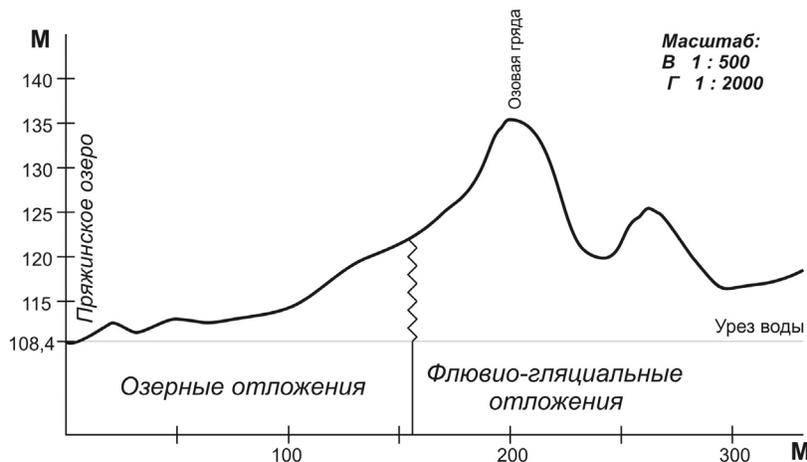


Рис. 2. Поперечный профиль (А) озоровой гряды восточного побережья озера Пряжинское

* Палеогеография Европы за последние сто тысяч лет (атлас-монография). М., 1982.

Наибольший интерес вызывают формы рельефа фронтальной зоны краевых частей бывшего ледникового покрова. Они находятся к востоку и северо-востоку от озера Пряжинское и сложены конечными гравийно-песчаными алевритовыми моренами и слабосортированными песками озовых гряд, водно-ледниковых возвышенностей. Озовые гряды имеют протяженность около 5-7 км, их относительная высота местами достигает 20-25 м, с уклоном до 30-40°.

Узкая полоса побережья озера представлена озерно-ледниковыми отложениями в пределах невысоких, до 2 м, озерных террас. После отступления ледника уровень Пряжинского озера стал постепенно понижаться. Озерные отложения обнаружены выше современного уровня примерно на 1,5-2 м. Берега самого Пряжинского озера, по типологии Ю. Б. Литинского (1960), относятся к следующим типам:

- абразионно-аккумулятивные, измененные озером, с замыкающими и свободными аккумулятивными формами — по всему северному и северо-восточному побережью озера;
- аккумулятивные бухтовые с пляжем — по восточному побережью;
- аккумулятивные выровненные с примкнувшей террасой — по восточному и юго-восточному побережью;

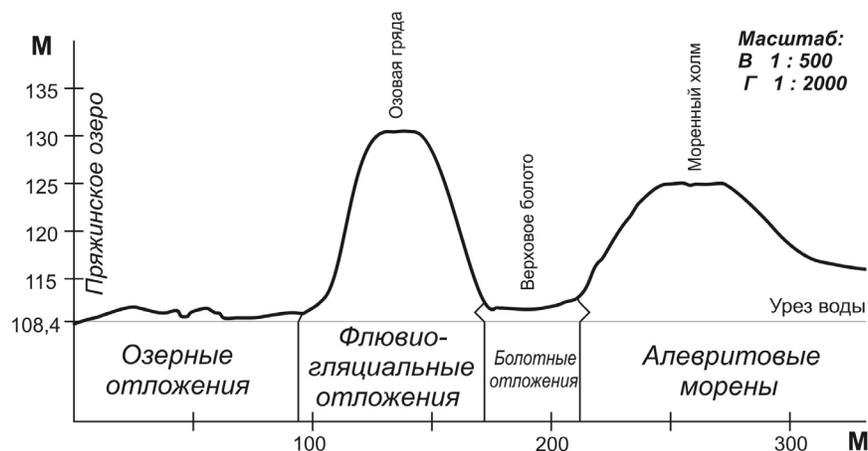


Рис. 3. Поперечный профиль (Б) озовой гряды восточного побережья озера Пряжинское

- потамогенные дельтовые — в месте впадения в озеро ручья Дегенс;
- фитогенные, зонного зарастания — по южному побережью озера, местами заболачиваемому;
- сплавинного зарастания — встречаются небольшими участками с приглубым берегом и достаточно мощной торфяной толщей по восточному побережью;
- антропогенные повышенного вторичного стока и антропогенные бытового вторичного стока — северное и западное побережье, занятое населенным пунктом (пгт Пряжа).

Территория исследования имеет небольшое количество болот. Они имеют незначительную площадь и все относятся к олиготрофным или мезотрофным. При исследовании торфяной толщи заболоченных территорий побережья озера (бывшие заливы) было установлено, что она составляет 1,9 м, что соответствует примерно 2000 лет накопления болотных осадков.

Для большей части территории водосборного бассейна характерна высокая степень антропогенной нагрузки на рельеф. Здесь расположено несколько песчано-гравийных карьеров, подрезаны склоны возвышенностей и сделаны насыпи при строительстве грунтовых дорог и дорог с асфальтовым покрытием.

Повсеместно, по всей восточной части водосборного бассейна Пряжинского озера, встречаются остатки фортификационных сооружений Второй мировой войны, которые представлены окопами и блиндажами. Рельеф, подвергшийся подобным воздействиям, получил название беллигеративный. В настоящее время, по прошествии более 60 лет, эти микроформы рельефа час-

ПРИЛОЖЕНИЕ
Геоморфологическая карта восточного побережья озера Пряжинское



Условные обозначения

Гляциальные и перигляциальные объекты (цвет синий):



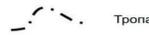
Гидрологические объекты (цвет голубой):



Береговые объекты (зеленый):



Антропогенные образования (черный):



Другие формы:



Озерные отложения



Флювиогляциальные отложения



Болотные отложения

тично «заплыли» грунтом и покрылись маломощной лесной подстилкой. Однако полного восстановления естественной поверхности пока не произошло.

На пологих склонах и ровных участках восточного побережья Пряжинского озера встречаются многочисленные каменные кучи (ровницы) высотой до 0,5 м и диаметром до 2-3 м. Их происхождение связано с сельскохозяйственной деятельностью людей: создание сенокосов и пашен. Камни убирались с полей во время сельхозработ. По данным дендрохронологического анализа, сельскохозяйственные работы были прекращены здесь в 1920-1930 гг.

На северо-восточном побережье озера Пряжинское из-под озовой гряды вытекают подземные воды. В этом месте в 2005 г. был построен водозабор для обеспечения поселка Пряжа питьевой водой. Своеобразный рельеф восточной части водосборного бассейна Пряжинского озера, сложенный мощной толщей рыхлых четвертичных отложений, оказывает благоприятное воздействие на фильтрацию подземных вод, питающих водоем.

Поселок Пряжа, располагающийся амфитеатром по западному побережью, наоборот, оказывает отрицательное влияние на чистоту воды озера ввиду сильного загрязнения сточными водами, сбрасываемыми в озеро. Сток загрязненных вод происходит как с поверхностными водами (плоскостной сток), так и с подземными. Этому стоку способствует рельеф и, вероятно, наклонное залегание водоносных пластов. На берегах в поселке находятся деревянные и бетонные пирсы, бани и другие хозяйственные постройки. В южной части поселка находится звероферма, сточные воды которой непосредственно попадают в озеро. Кроме того, в Пряже основной жилищный фонд представлен неблагоустроенным жильем, с неразвитой или полным отсутствием системы канализации. Вода в колодцах мало пригодна для питья. А вода из озера используется лишь на бытовые нужды. Озеро Пряжинское сильно эвтрофировано, цветение воды происходит ежегодно.

Заключение

В результате проведенных исследований рельефа водосборного бассейна озера Пряжинское можно сделать вывод, что качество воды зависит от двух основных факторов: благодаря мощному подземному стоку, питающему озеро происходит пополнение его массы чистой, хорошо фильтрованной водой; а из-за сильного антропогенного загрязнения, с другой стороны, нарастает его эвтрофикация.

Отрицательное воздействие на качество подземных вод может оказать антропогенный фактор вне зоны поселка. Например, подрезка склонов при прокладке дорог, создание противопожарных канав, карьеров для добычи песка и гравия и т. п. Немалую опасность представляет песчаный карьер, находящийся к северо-востоку от озера на расстоянии 0,5-1,5 км. Продолжение его эксплуатации может повлиять на направление подземного стока и качество воды.

СИНОПТИЧЕСКАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ТЕЧЕНИЙ В ОНЕЖСКОМ ОЗЕРЕ

Р.Э. Здоровеннов, О. В. Зимон

Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН

Введение

Пространственно-временная изменчивость термодинамических полей в глубоких озерах, формирующаяся под влиянием различных процессов, развивается в широких пределах. Она охватывает пространственные масштабы от нескольких метров до десятков и сотен км (величина размеров озер), временные – от секунд до года (Rao, 1977). Мелкомасштабные движения обусловлены вертикальными флуктуациями плотности, процессами опрокидывания поверхностных и коротких внутренних волн, турбулентностью. Максимальные размеры и продолжительность существования в крупных озерах имеют сезонная циркуляция вод, сезонный термоклин, внутренние волны Кельвина, топографические волны, штормовые нагоны, сейши. Несколько меньшие пространственно-временные масштабы имеют термобар, прибрежные апвеллинги, волны Пуанкаре, штормы (Бояринов, Петров, 1991). В крупных озерах наряду с волновыми движениями различных масштабов наблюдаются также вихри с пространственными масштабами, соизмеримыми с размерами озер, моно- и диполи или грибовидные образования, меандры фронтов, струйные течения, шлейфы вод различного происхождения (Филатов, 1991). В глубоких озерах летом формируется сезонный термоклин, отделяющий верхний квазиоднородный слой (ВКС) от нижележащих вод гипolimниона. Заглубление и динамику ВКС определяют ветроволновое и конвективное перемешивание, сейшевые движения, обрушение внутренних волн.

Онежское озеро – один из крупнейших пресноводных водоемов мира. Форма Онежского озера отличается крайне сложным строением, характеризуется вытянутостью в меридиональном направлении и значительной изрезанностью береговой линии в северной и северо-западных частях (рис. 1). Площадь его зеркала – 9692.6 км², объем вод – 291.2 км³. Наибольшая длина озера – 290, ширина – 82 км. Средняя глубина – 30, наибольшая – 120 м, преобладают глубины от 20 до 60 м (57% площади озера) (Экосистема., 1990). Климатические условия района Онежского озера определяются преобладанием в течение всего года западного переноса воздушных масс, малым количеством поступающей солнечной радиации и рельефом местности. Климатический режим региона характеризуется как переходный от морского к континентальному с продолжительной мягкой зимой, коротким прохладным летом и неустойчивой погодой во все сезоны года. Над озером доминируют ветры от южного до западного направлений. В июне-июле среднемесячная скорость ветра минимальна и составляет 4-5 м·с⁻¹, в августе-сентябре она увеличивается до 6-7, в октябре-декабре – до 7-9 м·с⁻¹ (Онежское., 1999; Экосистема., 1990). Преобладающими течениями в Онежском озере являются ветровые (дрейфовые и градиентные), плотностные, стоковые, длинноволновые, обусловленные сейшами и внутренними волнами. Постоянной циркуляции вод в озере не наблюдается,

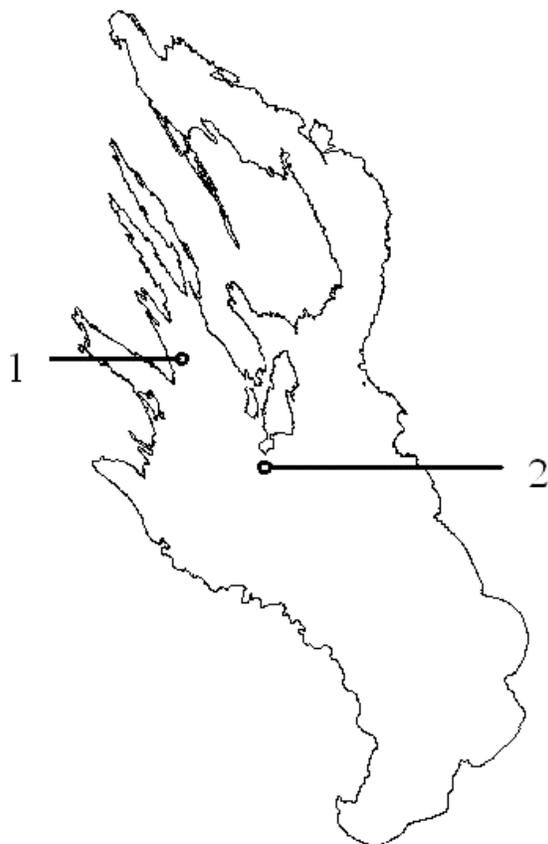


Рис. 1. Онежское озеро

1 – пункт измерения течений, температуры воды,
2 – гидрометеорологическая станция Маячный.

различные схемы циркуляции определяются характерными ветровыми полями, в целом, особенно в нижних слоях, отмечается преобладающее циклоническое вращение вод (Экосистема., 1990).

Материалы и методы

В основе исследований синоптической изменчивости течений в Онежском озере лежат данные, полученные сотрудниками Отдела водных проблем Карельского филиала АН СССР в ходе экспедиции в заливе Большое Онего в период с 27.05 по 12.10.77, когда были проведены измерения течений и температуры воды на разных горизонтах (рис. 1).

Для измерения течений и температуры использовался прибор «RCM-4» (Aanderaa, Норвегия), установленный на горизонте 25 м (дискретность измерений – 10 мин.). Глубина в месте постановки прибора составляла 29.5 м. Данные по скоростям и направлениям ветра были получены на ГМС Маячный в период 15.05-31.10.77 (дискретность измерений – 3 ч.).

Температура воды на горизонте 25 м с конца мая до середины августа повысилась с 2.5 до 7.0°C, затем к началу сентября понизилась до 5.0°C (рис. 2). В период с 12.07 по 24.08.77 на горизонте 25 м наблюдалась изменчивость температуры в пределах 5.0-12.0°C с периодом 5-8 сут., что могло быть проявлением внутренних волн. В период 04-13.09.77 наблюдалось постепенное повышение температуры на горизонте наблюдения до 11.0°C, что могло быть связано с обрушением внутренних волн и ветровым перемешиванием водной толщи. За весь период измерений температура на горизонте 25 м изменялась в пределах 2.5-12.0, среднее значение 6.6°C. Скорости течений за весь период измерений изменялись в пределах 1.3-13.5, среднее значение – 2.4 см·с⁻¹. Скорости ветра за период измерений изменялись от 0 до 21, среднее значение – 6 м·с⁻¹ (рис. 3).

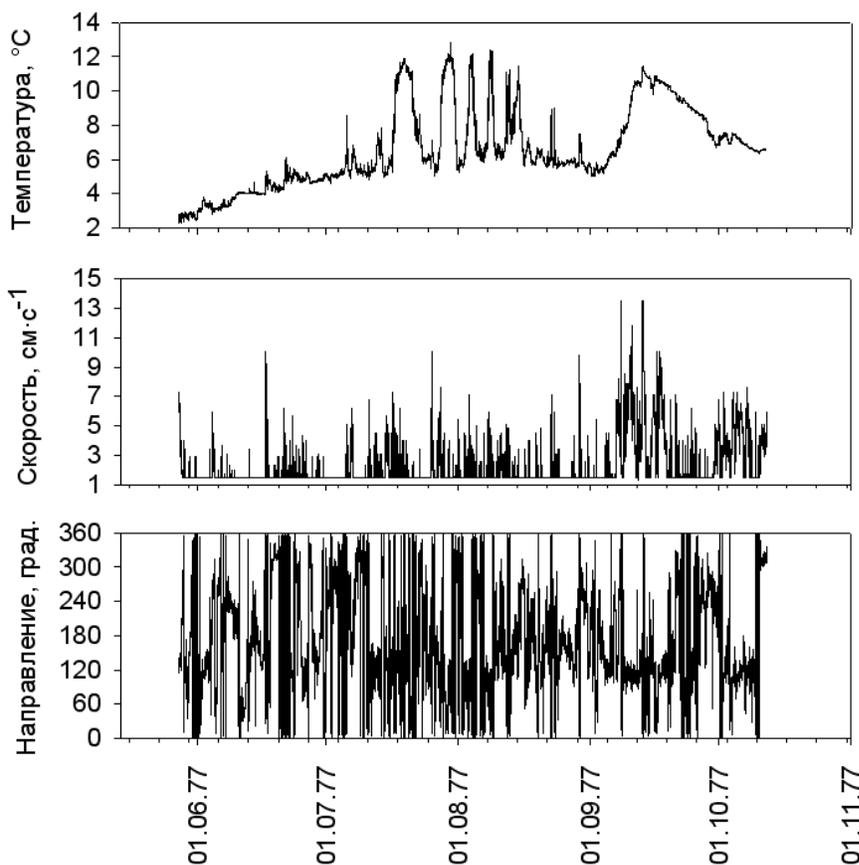


Рис. 2. Временная изменчивость температуры, скоростей и направлений течений, зафиксированная в заливе Большое Онего в период с 27.05 по 12.10.77 (дискретность измерений – 10 мин.).

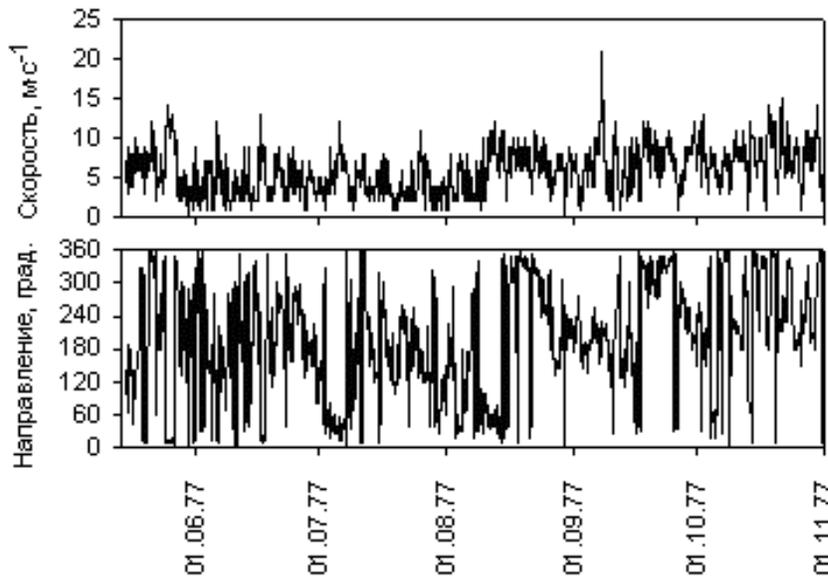


Рис. 3. Временная изменчивость скоростей и направлений ветра, зафиксированная на ГМС Маячный в период 15.05-31.10.77 (дискретность измерений – 3 ч)

Результаты и обсуждение

Анализ результатов натурных измерений течений показал наличие высокочастотной изменчивости их скоростей и направлений с периодами минуты-часы. Для оценки влияния синоптических процессов на изменчивость течений и выявления периодичностей, присутствующих в колебаниях температуры, течений и ветра, данные были подвергнуты спектральному анализу на основе алгоритма быстрого преобразования Фурье и кросс-спектральному анализу. Скорости и направления течений и ветра были разложены на составляющие на параллель (U) и меридиан (V), полученные ряды выведены на стационарный режим.

Проведенный спектральный анализ выявил наличие статистически значимых колебаний с периодами: в рядах температуры – 12-16 и 5-6, компоненты течений U – 9-13, 5-6 и 2, V – 10, 5-7 и 3, компоненты ветра U – 8-10, 5-6 и 3, V – 11 и 7 сут., что неплохо согласуется с данными, полученными другими исследователями (Экосистема..., 1990; Петрозаводское..., 1984). Кросс-спектральный анализ рядов течений и ветра показал наличие статистически значимых колебаний с периодами: по компоненте U – 17, 10, 7, 6, 3, по компоненте V – 25, 14, 9, 6, 3, 2 сут. (рис. 4). Значения функции когерентности изменчивости компонент ветра и течений на частотах синоптических периодов составили 0.6-0.8 (рис. 5).

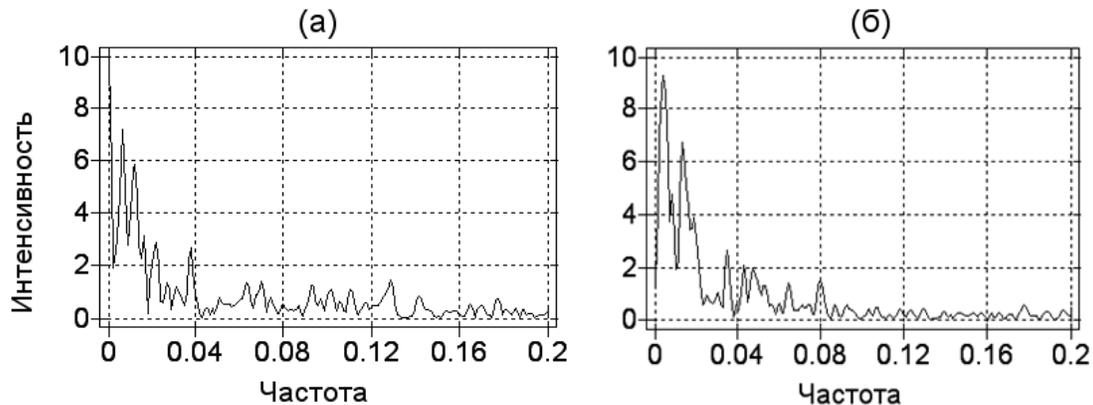


Рис. 4. Кросс-спектр компонент ветра и течений U (а) и V (б)

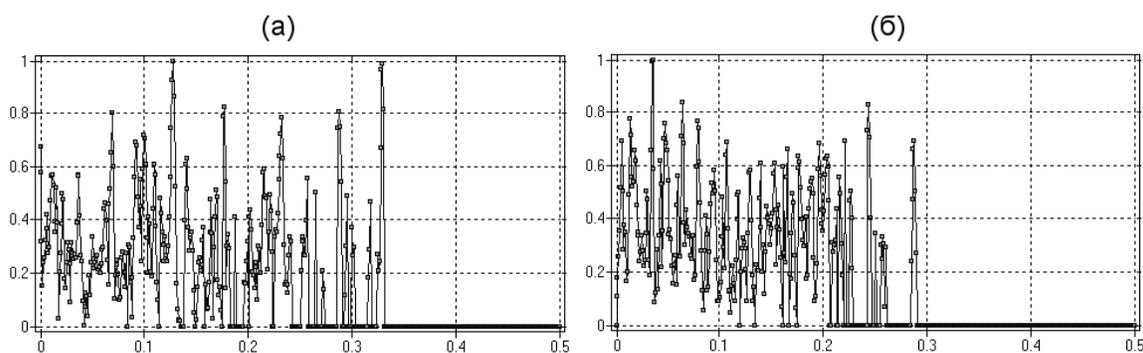


Рис. 5. Функция когерентности изменчивости компонент ветра и течений U (а) и V (б)

Заключение

Таким образом, проведенный спектральный и взаимоспектральный анализ рядов позволяет говорить о том, что основной вклад в флуктуации скоростей течений вносят низкочастотные колебания, обусловленные синоптической изменчивостью поля ветра над озером. В дальнейших исследованиях будет проанализирована взаимосвязь изменчивости скоростей течений и температуры воды на горизонтах 5, 10, 15 м и поля ветра над озером в период измерений.

Литература

- Бояринов П.М., Петров М.П. Процессы формирования термического режима глубоких пресноводных водоемов. Л., 1991. 176 с.
 Онежское озеро. Экологические проблемы. Петрозаводск, 1999. 293 с.
 Петрозаводское Онего и его лимнические особенности. Петрозаводск, 1984. 191 с.
 Филатов Н.Н. Гидродинамика озер. СПб., 1991. 200 с.
 Экосистема Онежского озера и тенденции ее изменения. Л., 1990. 264 с.
 Rao D.V. Great lakes environmental research laboratory // U. S. Dep. Commer. Nat. Ocean. And Atmos. Admin. Nat. Mar. Fish. Serv. Spec. Sci. Rept.-Fisch. 1977. 23 p.

ОСОБЕННОСТИ ТЕРМИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ МЕЛКОВОДНОГО ОЗЕРА В ПЕРИОД ЛЕДОСТАВА

Г.Э. Здравеннова, Д.А. Никельс

*Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН
Санкт-Петербургский государственный университет*

Введение

Изучение сезонной изменчивости гидрофизических характеристик, определяющих качество воды в озерах необходимо для прогноза и оценки состояния их экосистем. Одним из основных параметров при этом является температура водной толщи мелководного озера, определяющая многие химико-биологические процессы. Температурный режим покрытого льдом озера играет значительную роль в возникновении и поддержании циркуляции и перемешивания внутри водной толщи, перераспределения различных химических элементов и оказывает, таким образом, существенное влияние на функционирование озерных экосистем в зимний период. Цель работы – выявить основные закономерности межгодовой и внутрисезонной изменчивости термической структуры мелководного озера в период ледостава на основе анализа данных многолетних натуральных наблюдений для последующего использования в прогностической модели его термического режима.

Материалы и методы

В качестве объекта исследования было выбрано оз. Вендюрское (площадь зеркала 10.4 км², объем вод ~5.5·10⁷ м³, средняя глубина 5.3, максимальная – 13.4 м), расположенное в южной части Карелии (широта 62°10'-62°20'N, долгота 33°10'-33°20'E). Оно принадлежит к бассейну водной системы р. Суны, впадающей в Онежское озеро. Котловина озера ледникового происхождения длиной ~7.0, шириной ~1.5-2.0 км, вытянута с запада на восток. Речной сток в озеро невелик. Коэффициент условного водообмена озера равен 0.3. Донные отложения представляют собой песок на мелководье и коричневые и темно-коричневые илы в глубоководной части озера. Толщина слоя илов достигает 0.4-1.0 м (Литинская, Поляков, 1975).

В работе использовались натурные данные, полученные в ходе ежегодных гидрофизических исследований Института водных проблем Севера КарНЦ РАН на оз. Вендюрском, которые проводятся начиная с 1994 г. до настоящего времени. Полевые исследования включают постановку термокос и измерения на разрезах (рис. 1). Для измерений температуры используются приборы «TR-1» (на термокосах), «TCD»-зонд, «RCM-4» норвежской фирмы "Aanderaa Instruments". Сведения о приборах с указанием измеряемых параметров, диапазона измерений, точности, разрешающей способности приведены в работах (Malm et al., 1996, 1997).

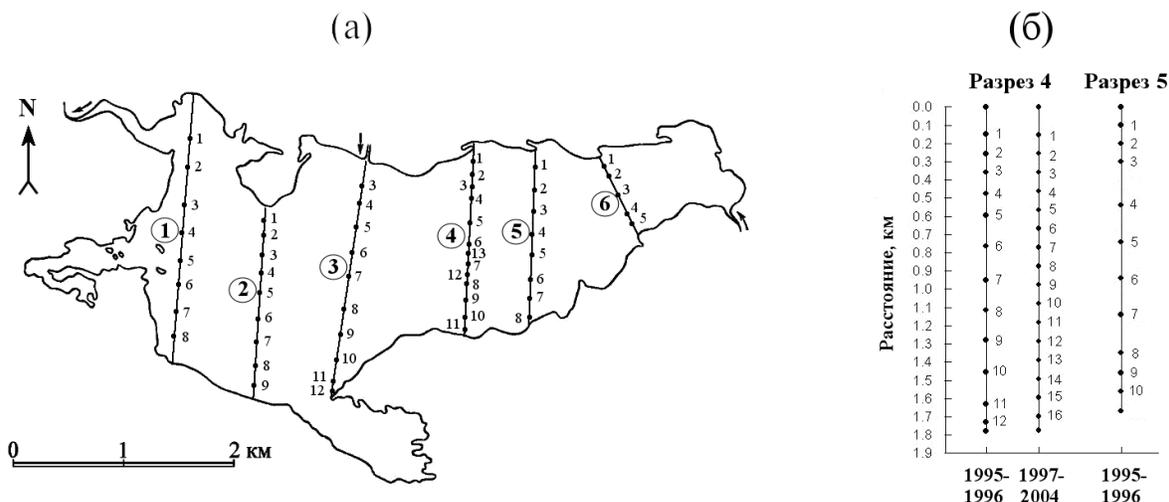


Рис. 1. Положение пространственных разрезов (номера в кружках) и станций на оз. Вендюрском:

а – в 1994 г., б – положение станций на 4-м разрезе в 1995-2004 гг., на 5-м разрезе в 1995-1996 гг. (расстояние от северного берега, км)

Результаты и обсуждение

Анализ данных термокос и вертикальных измерений температуры на разрезах в 1994-2005 гг. позволил сделать следующие заключения по характеру межгодовой и сезонной изменчивости термической структуры водной толщи оз. Вендюрского в течение зимы.

Период ледостава на озере продолжается 170-190 дней, однако в отдельные годы он существенно короче: в 1996-1997 гг. ледостав продолжался 154 дня. Период зимнего подледного прогрева озера, обусловленного теплообменом его водной массы с донными отложениями, продолжается ~135-155 дней. Весенний подледный прогрев озера, вызванный проникновением солнечной радиации под лед, нагреванием подледного слоя воды и развитием процесса свободной конвекции начинается обычно в конце марта-начале апреля и продолжается ~30-35 дней, однако в отдельные годы он сокращается до 20 или продолжается более 40 дней.

Зимой водная толща оз. Вендюрского характеризуется непрерывным увеличением значений температуры от нижней поверхности льда до дна. В водной толще озера существует тонкий слой

воды, температура и глубина залегания которого на протяжении зимы остаются практически неизменными (вплоть до начала весеннего подледного прогрева). Температура и глубина залегания этого слоя изменяются от года к году в пределах 0.4-1.6 °С (рис. 2, а) и 0.9-1.9 м (рис. 2, б), соответственно. Выше этого слоя происходит постепенное понижение температуры в течение зимы, ниже – повышение.

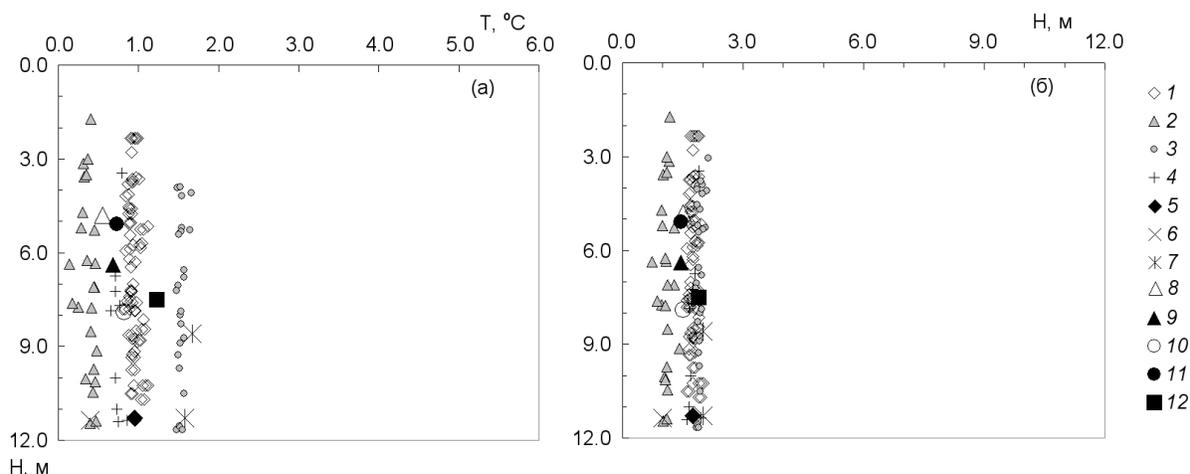


Рис. 2. Температура, °С (а) и глубина залегания, м (б) слоя с постоянной температурой по данным измерений в разные годы

1-4 – измерения на разрезах в 1994-1995, 1995-1996, 1998-1999, 2001-2002 гг., 5-12 – измерения на термокосах в 1994-1995, 1995-1996, 1998-1999, 1996-1997, 1997-1998, 2002-2003, 2003-2004, 2004-2005 гг. соответственно

Существование такого слоя можно объяснить следующим. Перед ледоставом озеро охлаждается в состоянии гомотермии. Тепло из донных отложений переходит в воду, а из воды в атмосферу, таким образом, водная масса озера и донные отложения теряют тепло, накопленное за период открытой воды. В разные годы в зависимости от длительности и погодных условий предледоставного периода озеро замерзает при средней температуре водной массы от 0.8 до 2.3 °С. Сразу после появления льда на озере теплопотери из водной массы в атмосферу существенно сокращаются, а переход тепла из донных отложений в воду продолжается, т. к. температура придонных слоев водной толщи в начальный период ледостава ниже температуры верхнего слоя донных отложений. При этом на мелководьях скорость повышения температуры водной толщи существенно ниже, чем на средних глубинах и в глубоководной части озера. К концу зимы температура придонного слоя воды в глубоководной части озера повышается до 4.5-5.5, в области средних глубин – до 3.0-4.0, на мелководьях – до 2.0-3.0 °С. С первых же дней ледостава водная толща озера из состояния гомотермии переходит в состояние стратификации. На нижней границе льда поддерживается температура замерзания на протяжении всего периода ледостава. По мере увеличения толщины льда и опускания границы, на которой поддерживается нулевая температура, происходит понижение температуры тонкого слоя подледных вод. Можно предположить возможность существования в водной толще озера на некоторой глубине подо льдом слоя, на температуре которого до некоторого момента времени не будут сказываться ни охлаждение сверху, ни нагревание снизу. В связи с тем что год от года интенсивность теплообмена водной массы озера с донными отложениями несколько отличается, что определяется условиями предледоставного периода, глубина залегания такого слоя в разные годы также будет несколько отличаться. Межгодовое отличие температуры этого слоя связано с тем, что ледостав на озере в разные годы начинается при различной температуре водной массы.

Используя данные термокос и измерений температуры на разрезах, проведенных в разные периоды ледостава 1994-2005 гг., были выведены регрессионные зависимости между температурой

замерзания озера и температурой вышеназванного слоя (рис. 3, а) и температурой и глубиной залегания этого слоя (рис. 3, б).

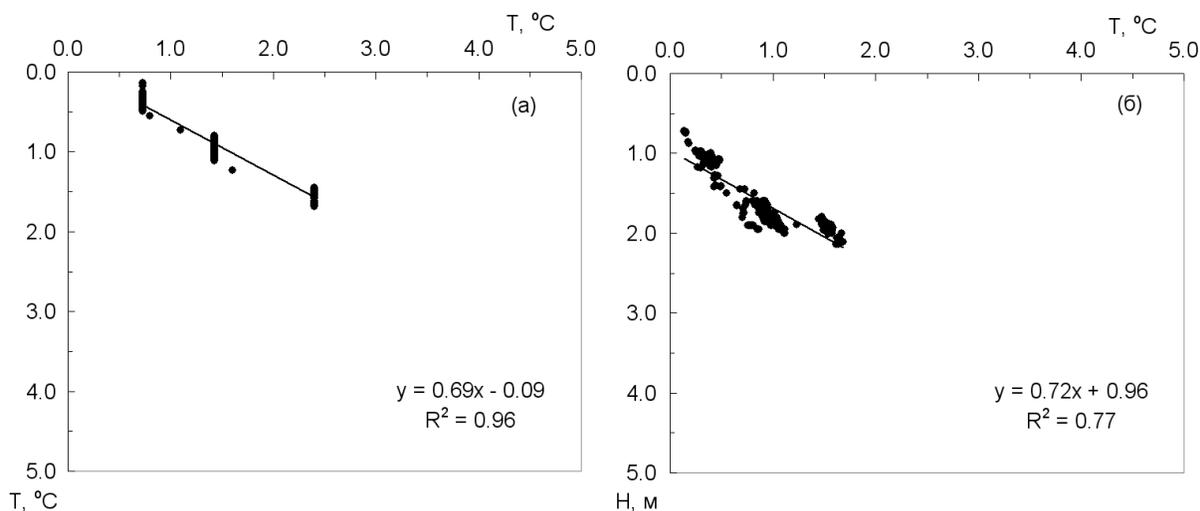


Рис. 3. Регрессионные зависимости между:

(а) – температурой, при которой озеро замерзло (по оси абсцисс), и температурой слоя с не изменяющейся в течение зимы температурой (по оси ординат), (б) – между температурой и глубиной залегания этого слоя (по данным измерений в разные годы).

Эти зависимости позволяют по имеющимся данным о температуре замерзания озера рассчитывать температуру и глубину залегания слоя с не изменяющейся в течение зимы температурой

Заключение

Таким образом, при анализе зимнего термического режима мелководного озера целесообразным представляется рассматривать его водную толщу, состоящую из двух слоев – верхнего (от нижней границы льда до глубины 1.5-2.0 м) и нижнего (от 1.5-2.0 м до дна). Температура верхнего слоя в течение зимнего сезона вплоть до начала весеннего подледного прогрева понижается, нижнего – повышается. Используя установленные регрессионные зависимости, по данным о температуре замерзания озера можно рассчитать температуру и глубину залегания слоя с не изменяющейся в течение зимы (до начала весеннего подледного прогрева) температурой. Полученные данные в дальнейшем будут использованы при подборе аппроксимирующей функции, описывающей временную изменчивость температуры водной толщи оз. Вендюрского в период ледостава. Такая функция может использоваться для предвычисления температуры водной толщи в период ледостава других мелководных озер, относящихся к тому же типу, что и оз. Вендюрское, при отсутствии на них регулярных наблюдений.

За предоставленные данные, участие в анализе результатов и ценные советы авторы глубоко признательны сотрудникам лаборатории гидрофизики Института водных проблем Севера КарНЦ РАН: к.т.н. А.Ю. Терзевеику, к.г.н. П.М. Бояринову, М.П. Петрову, к.г.н. Н.И. Пальшину, А.В. Митрохову, к.г.н. Р.Э. Здорвеннову.

Литература

1. Литинская К.Д., Поляков Ю.К. Озера Вендюрской группы – Урос, Риндозеро, Вендюрское // Водные ресурсы Карелии и их использование. Петрозаводск, 1975. С. 57–66.
2. Malm J., Terzhevik A., Bengtsson L., Boyarinov P., Glinsky A., Palshin N., Petrov M. A field study of Thermo- and Hydrodynamics in three Small Karelian Lakes during winter 1994/1995. Lund, 1996. № 3197. 220 p.
3. Malm J., Terzhevik A., Bengtsson L., Boyarinov P., Glinsky A., Palshin N., Petrov M. Temperature and Hydrodynamics in Lake Vendurskoe during Winter 1995/1996. Lund, 1997. № 3213. 210 p.

О НАБЛЮДЕНИИ ИНТРУЗИИ ОТНОСИТЕЛЬНО ТЕПЛОЙ ВОДЫ В УСТЬЕ ЧУПИНСКОЙ ГУБЫ БЕЛОГО МОРЯ В МАРТЕ-АПРЕЛЕ 2004 ГОДА

А.В. Толстиков

Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН

Введение

Чупинская губа расположена на Карельском берегу Кандалакшского залива Белого моря, протягиваясь практически субширотно с запада на восток и находясь в 20 км к югу от Северного полярного круга. Площадь зеркала Чупинской губы – 57 км², средняя глубина – 20 м, а у мыса Картеш – 65 м (Бабков, 1998). Благодаря достаточно широкому устью и относительно большим глубинам водообмен с Кандалакшской губой свободный, поэтому гидрологический режим в этих соседних губах носит аналогичный характер. Вертикальная структура вод двухслойная. Характерной особенностью гидрологического режима Чупинской губы Белого моря является наличие выраженной стратификации вод, и граница между двумя водными массами варьирует в пределах 35-55 м. Прямая температурная стратификация наблюдается большую часть года в безледный период, осенью сменяясь изотермией при развитии конвекции и зимой – обратной стратификацией при выхолаживании поверхностной водной массы.

Все Белое море (и Чупинская губа в частности) является примером довольно неоднородного распределения солености по поверхности из-за локализации и относительной мощности основных источников опреснения – рек. Кроме этого, ощутимое влияние на распределение солености оказывает перенос вод постоянными течениями, перемешивание слоев мощными приливными течениями и в несколько меньшей степени – опреснение и осолонение за счет таяния и образования льда.

Материалы и методы

Исследование режима температуры и солености водной толщи Чупинской губы (рис. 1), скорости и направления течений по разрезу: ст. 7 (ББС «Картеш») – ст. 17 (о. Кереть), а также колебаний уровня велось с 29 марта по 9 апреля 2004 г. При помощи CTD-зонда «Quanta» (производитель «Hydrolab», США) определялись гидрологические характеристики: температура и соленость (± 0.2 , 0.01 соответственно, точность и разрешение прибора). Результаты полученных данных показали, что для устьевой части Чупинской губы в это время года характерно зимнее распределение гидрологических параметров. Наименьшая температура воды на поверхности колебалась от -0.28 до -1.55°C в зависимости от расположения станции и внутренних гидрофизических процессов, таких, например, как мощность приливотливных течений, перемешивающих слои воды. Поверхностный слой имеет и наименьшую соленость – от 11.1 до 25.0‰, в силу распростране-

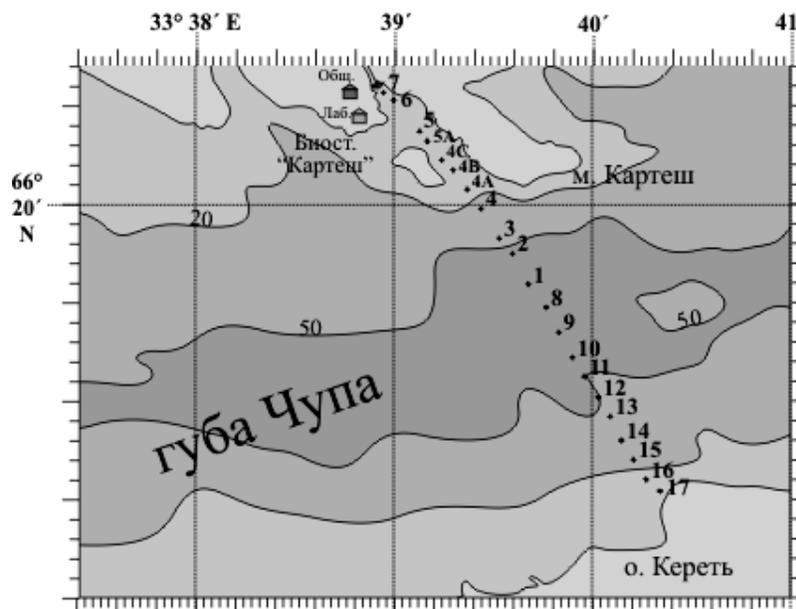


Рис. 1. Схема расположения станций гидрологических исследований в устье Чупинской губы

ния подо льдом пресного стока, по данным А.И. Бабкова (Бабков, 1998). Скорости течений определялись при помощи измерителя ИСТ-1, включающего в себя вертушку ВГ-1 с рабочим диапазоном 0.06-5.00 м/с.

Результаты и обсуждение

В период наших измерений температура воды Чупинской губы от поверхности до горизонта 18-20 м закономерно понижалась, затем, меняя знак на противоположный, глубже постепенно повышалась. На 35-45 м отмечена зона термоклина. Непосредственно у дна температура и соленость были максимальными и составляли соответственно -0.4°C и 28‰. Однако наблюдаемое распределение температуры не полностью соответствовало классическому, характерному для данного сезона (Дерюгин, 1928; Тимонов, 1947; Белое море, 1991). Так, на глубине 4-8 м в период развития приливной волны отмечался относительно теплый слой воды с температурой на $0.2-0.8^{\circ}\text{C}$ более высокой по сравнению с верхними и нижними слоями (рис. 2). Интрузия относительно теплой воды отмечена и на станциях с 12 по 15 (рис. 3).

Наблюдаемые изменения в слое 4-8 м проявлялись только по температурному показателю и совсем не регистрировались по солености (рис. 2). Как такового галоклина не выделено. В целом соленость от поверхности до дна плавно повышалась от 26.8‰ сразу подо льдом до 28.0‰ у дна. На рис. 4 показан разрез через устье Чупинской губы.

По нашим данным, во время прилива в точке D1 направление течения составляло $265-270^{\circ}$ при скорости около 10-15 см/с в слое 1-5 м глубины, достигая максимальных значений на 10 м (24-26 см/с). На глубинах 20-35-40 м скорость понижалась до 20 см/с. В отливную фазу направление течения менялось на противоположное и составляло $85-95^{\circ}$ при скоростях несколько более слабых (примерно на 5-8 см/с) по всем горизонтам. Глубже 40 м скорости постепенно понижались до 6 см/с и менее.

Объяснением явления интрузии относительно теплой воды может стать предположение об имевшей место адвекции тепла от более прогретой весенним солнцем полыньи, замеченной 8 апреля в устье Чупинской губы с мыса Каргеш и удаленной от станции D1 приблизительно на 3 км. Эта относительно теплая вода, вероятно, с приливной волной распространяется подо льдом от полыньи в сторону вершины губы. При развитии максимальной скорости приливного течения «теплый» слой постепенно начинает заглубляться; затем, полностью перемешиваясь с соседними нижележащими слоями, он размывается. Однако, к сожалению, подтвердить это инструментально не удалось.

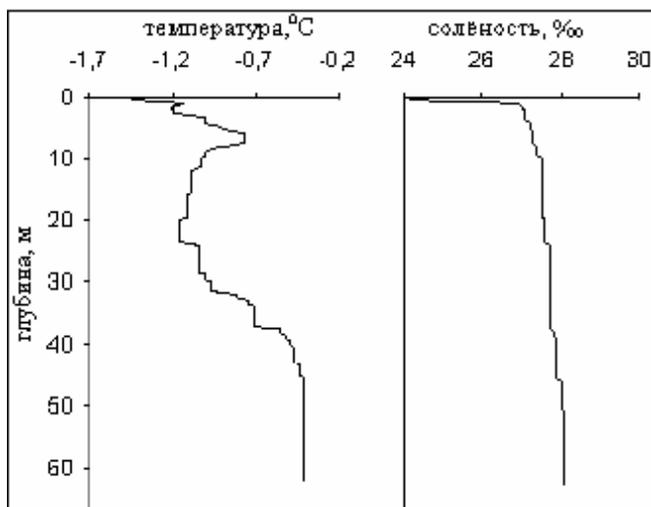


Рис. 2. Распределение температуры и солености в период развития приливной волны (ст. 1, 27 марта, 15:55)

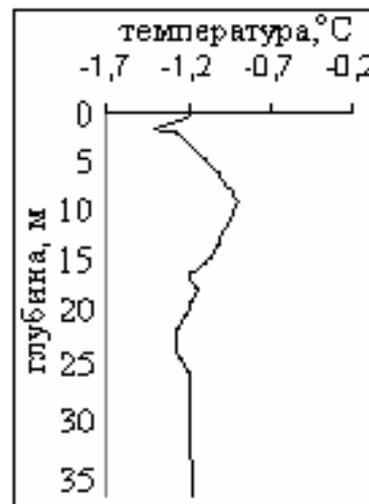


Рис. 3. Распределение температуры в период развития приливной волны (ст. 14, 2 апреля, 16:56)

Сравнение графиков температуры водной толщи 27 марта и 7 апреля на станции D1 в середине приливной фазы показало, что за 10 дней наблюдений произошло небольшое повышение температуры воды по всем горизонтам при сохранении общей тенденции ее изменения (рис. 5).

Заключение

Для проверки гипотезы распространения тепла от полыньи на расстояние 3 км необходимы дополнительные исследования в районе мыса Картеш, а именно сравнительная регистрация температуры и солёности водной толщи ст. D1 (декадной) и в полынье при помощи автоматических буйковых станций (АБС), регистрирующих гидрологические параметры в фазу прилива и отлива (от поверхности моря до горизонта 20 м через 0.5 м). Для точного определения фаз приливо-отливного цикла необходимо вести запись приливных колебаний уровня моря.

Полученные закономерности распределения температуры и солёности воды в это время года в устье Чупинской губы подтверждаются данными литературных источников (Белое море, 1995; Бабков, 1998), за исключением наблюдавшейся интрузии относительно теплой воды, по нашим сведениям ранее в Белом море не регистрировавшейся.

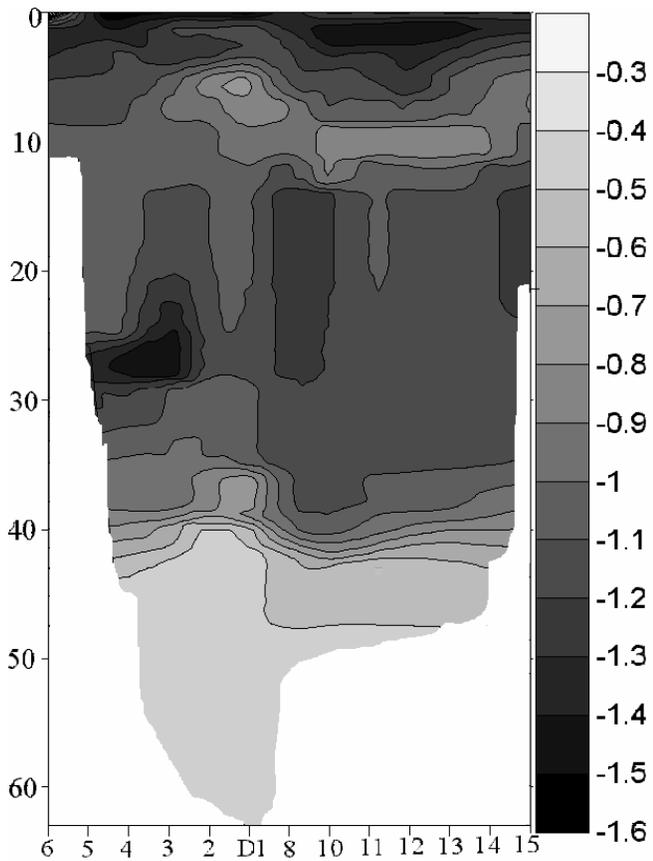


Рис. 4. Разрез ст. 6 – ст. 15

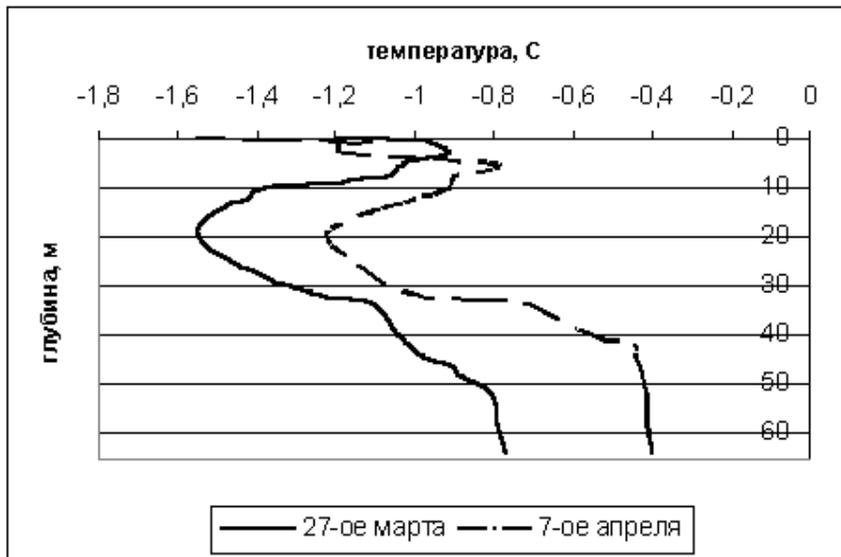


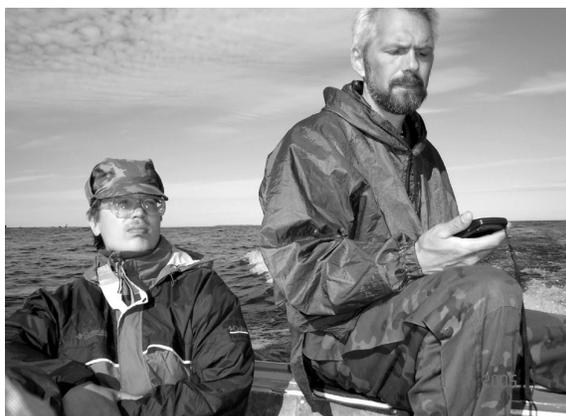
Рис. 5. Сравнительные графики хода температуры воды на станции D1

Литература

- Бабков А.И. Гидрология Белого моря. СПб., 1998. 94 с.
Белое море. Справочник «Проект «Моря СССР». Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Т. II. Вып. I. Гидрометеорологические условия. Л., 1991. 240 с.
Белое море. Биологические ресурсы и проблемы их рационального использования. СПб., 1995. 250 с.
Дерюгин К.М. Фауна Белого моря. Л.: Изд., 1928. 510 с.
Тимонов В.В. Схема общей циркуляции вод бассейна Белого моря и происхождение его глубинных вод // Труды гос. океанограф. ин-тута. 1947. Вып. 1. С. 118-131.

Часть 3

ГИДРОХИМИЯ



ДОННЫЕ ОТЛОЖЕНИЯ ОЗЕРА ПРЯЖИНСКОЕ

Н.А. Белкина, И. Ю. Потапова

Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН

Введение

Донные отложения оз. Пряжинское впервые исследовались отделом гидрологии и водного хозяйства КФАН СССР в 1953 году. По результатам этих исследований была составлена карта распределения донных отложений (рис.1). Химический состав донных отложений (одна проба) исследовался в 1993 г. (Калмыков, 1998). В 2005 году на двух станциях (центральный район – ст. I и восточное побережье – ст. II, рис.1) было отобрано 6 проб с целью изучения химического состава осадков.

Материалы и методы

Отбор проб донных отложений осуществлялся поршневой трубкой. В осадках определялись следующие физические и химические характеристики: pH, Eh, естественная влажность, пористость, содержание органического вещества (потери при прокаливании, $C_{орг.}$, растительные пигменты), суточное потребление O_2 , биогенные элементы, металлы (69 элементов), нефтепродукты. Методы отбора проб и химического анализа донных отложений подробно описаны в публикации ТАСИС проекта 40/97 (Belkina, 1999).

Результаты и обсуждение

Донные отложения оз. Пряжинское, формирующиеся за счет терригенных эоловых наносов и автохтонных продуктов, представлены главным образом илами (75% площади дна). Пески и валунно-галечные отложения занимают 25 % площади дна, в районе восточного берега встречаются рудные образования в виде гранул.

Описание колонок донных отложений, залегающих на максимальной глубине в центре озера и в прибрежной части, представлено в таблице 1.

Исследованные иловые донные отложения характеризуются высокой естественной влажностью (от 94 до 81%) и пористостью (0.94 – 0.85), закономерно уменьшающихся с глубиной залегания осадка. Естественная влажность песка (слой 19-25 см), обнаруженного на ст. I, составила 25%, пористость – 0.27.

Донные отложения имеют восстановительный характер (Eh~50 мВ). Толщина окисленного слоя в колонке осадка не превышала 5 мм. Значение pH~6.7, меньше, чем pH надилловой воды (7.04). Содержание органических веществ монотонно убывает с ростом глубины залегания осадка (рис. 2). В иловых пробах значение потери при прокаливании колеблется от 30 до 40, в песках < 2% (здесь и далее содержание компонентов рассчитывалось на воздушно-сухой вес осадка) (табл. 2). Высокое значение атомного отношения C:N (~25) указывает на то, что основным поставщиком ОВ является наземная и высшая водная растительность. Значительные концентрации растительных пигментов в верхнем слое донных отложений (до 585 мкг/г) определяют высокие скорости потребления кислорода илом этих осадков (1.44 и 2.25 мгO/г, ст. I и II соответственно). Концентрации биогенных элементов высокие (до 1% N и 0.5% P). Характерным для оз. Пряжинское является накопление фосфора в донных отложениях (рис. 3), максимум лабильных форм фосфора обнаружен в средних слоях, особенно на ст. II – 91%, что, по-видимому, связано с более высоким содержанием здесь ОВ (32%). Концентрация азота в целом убывает вниз по колонке (рис. 4). Донные отложения оз. Пряжинское отличаются очень высокими концентрациями нефтепродуктов (0,28%). Содержание тяжелых металлов, как правило, ниже кларковых значений, исключая Fe и Mn (табл. 3).

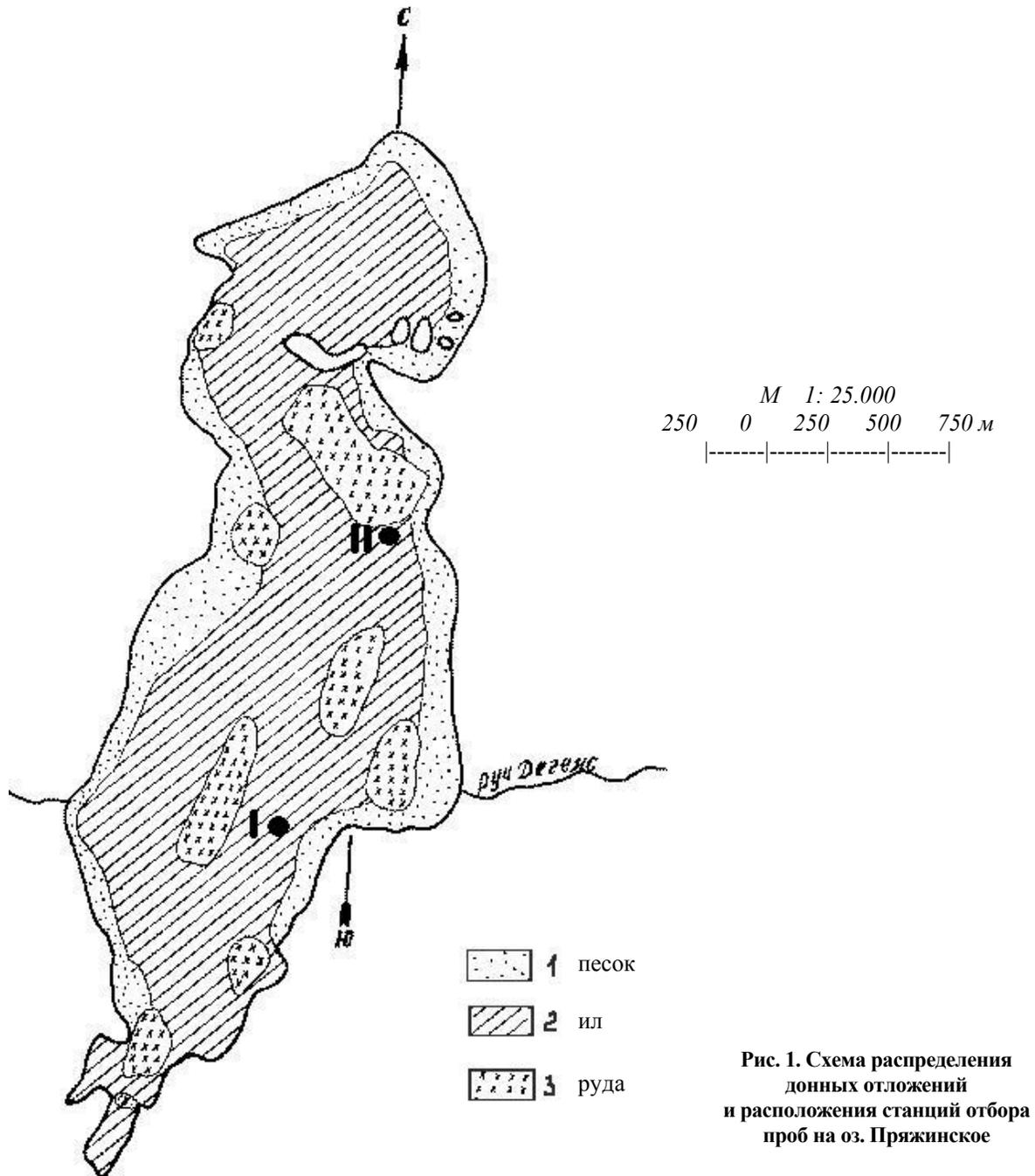


Таблица 1

Описание донных отложений оз. Пряжинское

Глубина залегания	Описание донных отложений
8 м	0 - 0,5 см – коричневый ил, зеленые водоросли на поверхности; 0,5 - 17 см - темный рыхлый крупноалевритовый ил; 19 - 25 см – коричневый песок;
4 м	0 - 0,5 см коричневый ил, зеленые водоросли на поверхности; 0,5 – 14 см - черный рыхлый крупноалевритовый ил; 14 – 35 см – темно-коричневый ил

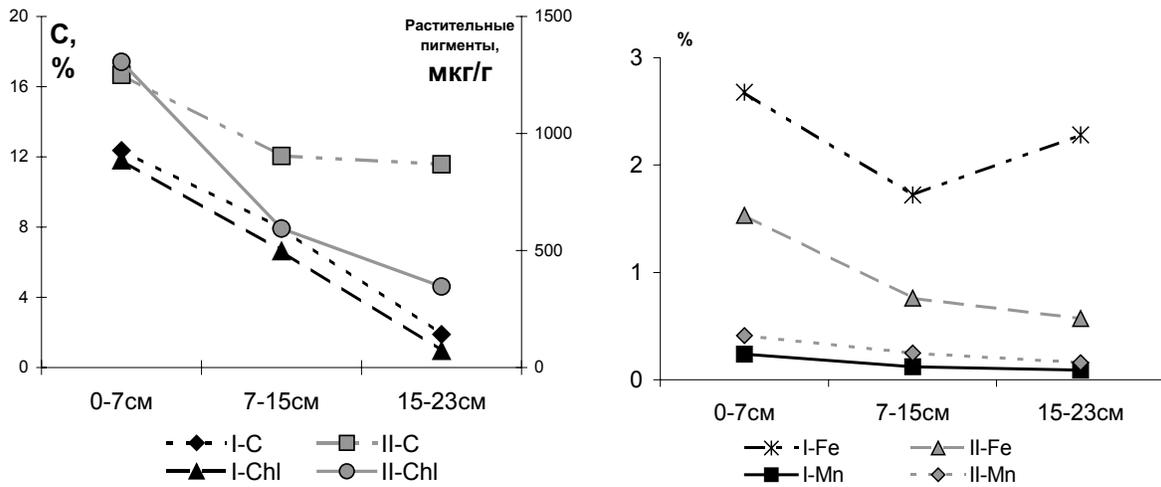


Рис. 2. Распределение $C_{орг.}$, суммы растительных пигментов, Fe, Mn в колонке донных отложений оз. Пряжинское на ст. I и II

Таблица 2

Содержание растительных пигментов в донных отложениях оз. Пряжинское, мкг/г

№ ст.	Слой, см	Chl a	Chl b	Chl c	Феофитин
I	0-7	342	42	15	487
	7-15	171	28	30	269
	15-23	24	5	3	40
II	0-7	449	65	71	721
	7-15	202	39	20	333
	15-23	112	23	13	198

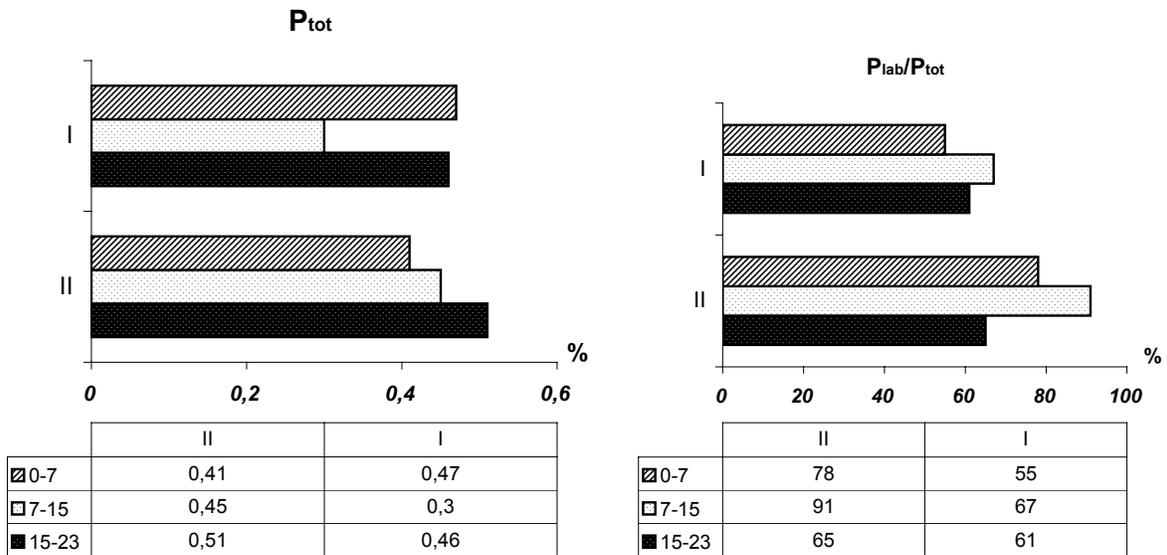


Рис. 3. Распределение фосфора общего (P_{tot}) и доли лабильного фосфора от фосфора общего (P_{lab}/P_{tot}) в донных отложениях оз. Пряжинское по глубине колонки на станциях I и II

Таблица 3

Содержание микроэлементов в донных отложениях ст. I оз. Пряжинское, мкг/г

Li	Be	B	Na	Mg	Al	Si	K	Ca	Sc	Ti
5,8	0,8	1,9	6779,4	1085,7	14860,1	176,9	6439,2	4607,1	1,7	413,3
V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As
20,1	15,8	821,6	24375,5	7,7	7,9	8,1	101,0	3,1	0,4	5,1
Se	Br	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Ru	Rh	Pd
0,2	2,3	24,1	97,8	3,7	15,6	1,2	0,6	<0,02	0,0	0,1
Ag	Cd	Sn	Sb	Te	I	Cs	Ba	La	Ce	Pr
0,2	0,8	2,9	0,4	0,0	4,6	0,6	460,5	12,3	25,1	2,9
Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
11,2	1,8	0,5	1,6	0,2	1,2	0,2	0,7	0,1	0,6	0,1
Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb
0,8	0,1	0,3	0,0	<0,02	<0,01	<0,02	0,0	0,1	0,3	35,1
Bi	Th	U								
0,2	3,1	1,0								

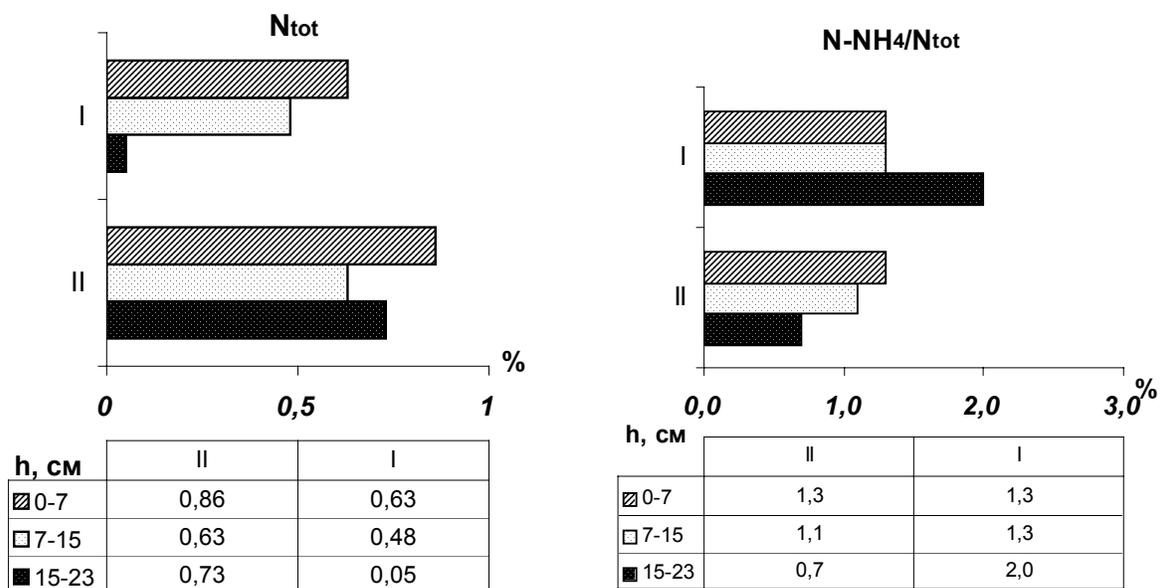


Рис. 4. Распределение азота общего (N_{tot}) и доли аммиачного азота в азоте общем (NH_4/N_{tot}) в донных отложениях оз. Пряжинское по глубине колонки на станциях I и II

Заключение

В донных отложениях оз. Пряжинское, формирующихся за счет терригенных эоловых наносов и автохтонных продуктов, происходит накопление органических веществ, фосфора и азота. Содержание железа и марганца превышает кларковые значения на порядок. Высокая концентрация нефтяных углеводородов в осадках может быть следствием терригенного сноса с территории п. Пряжа.

Литература

- Калмыков М.В. Химический состав донных отложений водоемов среднего участка реки Шуи // Современное состояние водных объектов Карелии, Петрозаводск, 1998. Гл.5, С. 146-147.
- Belkina N.A. Chemical monitoring of sediments // Analytical and sampling methods for environmental monitoring in Lake Ladoga and other large lakes in Russia. Joensuu, 1999. 13. P.18-21.

УСТОЙЧИВОСТЬ ОЗЕРА ПРЯЖИНСКОЕ К ЗАКИСЛЕНИЮ

Н.А. Дворак, И.Ю. Потапова, П.А. Лозовик

*Карельский государственный педагогический университет
Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН*

Введение

Одним из факторов антропогенного воздействия на водные экосистемы Севера является их закисление в результате выпадения сильных кислот с атмосферными осадками. В соответствии с разработанной П.А. Лозовиком гидрогеохимической моделью [Лозовик, 2006] устойчивость водных объектов к закислению определяется гидрологическими и геохимическими факторами. Первый показывает, какое количество сильных кислот может поступить в водный объект в зависимости от их концентрации в зимних атмосферных осадках ($C_{\text{сильн. к-т}}$) и доли закисляющих вод весеннего половодья и осадков, выпадающих на поверхность озера (ρ):

$$b = C_{\text{сильн. к-т}} * \rho. \quad (1)$$

Непосредственно ρ связано с удельным водосбором озера ($\Delta F_{\text{уд.}}$):

$$\rho = 0,0124 * \Delta F_{\text{уд.}}^{1,34} + 2 \Delta F_{\text{уд.}}^{-1}, \quad (2)$$

где первое слагаемое отражает вклад вод весеннего половодья в закисление водного объекта, а второе – осадков, выпадающих на поверхность озера. Из указанных формул следует, чем больше концентрация сильных кислот в атмосферных осадках, тем выше их поступление в водный объект; чем значительнее удельный водосбор озера, тем больше роль весеннего половодья; чем меньше $\Delta F_{\text{уд.}}$, тем наиболее значимо в закислении водного объекта выпадение осадков на поверхность озера.

С геохимических позиций устойчивость водного объекта к закислению определяется буферной емкостью воды, которая зависит от компонентов кислотноосновного равновесия. Фактически буферная емкость показывает, как будет изменяться pH воды при добавлении сильных кислот. В данном случае имеет значение, среди каких пород расположены озеро и его водосборный бассейн. Наибольшему закислению подвергаются озера, находящиеся среди гранитных скал, песчаных отложений, болот и характеризующиеся наименьшей буферной емкостью воды.

В качестве критической (допустимой) величины поступления сильных кислот в водный объект ($b_{\text{крит}}$) принято произведение $\Delta \text{pH}_{\text{крит.}} * \beta = b_{\text{крит}}$, а $\Delta \text{pH}_{\text{крит.}} = 0,3$ ед. Последняя соответствует межсезонной изменчивости pH, существующей в водных объектах Севера и обусловленной разной растворимостью CO_2 при изменении температуры.

Материалы и методы исследования

Согласно данным по многолетнему водному балансу озера Пряжинское, полученного Ю.В. Голомах, Ю.А. Сало [2006], количество осадков, выпадающих на поверхность озера, составляет 2,4 млн. $\text{м}^3 * \text{год}^{-1}$, весенний сток (апрель – май) – 5,2 млн. $\text{м}^3 * \text{год}^{-1}$, а годовой – 17,7 млн. $\text{м}^3 * \text{год}^{-1}$. Следовательно, доля закисляющих вод для этого озера будет равняться: $\rho = \frac{2,4 + 5,2}{17,7} = 0,43$.

Расчетное значение по формуле (2) равно 0,53. Оба коэффициента близки между собой, но для дальнейших расчетов будем использовать первый коэффициент, полученный по натуральным данным.

В качестве концентрации сильных кислот в атмосферных осадках примем значение 0,03 ммоль-экв/л, установленное для зимних осадков Южной Карелии [Лозовик, Потапова, 2006], поскольку непосредственного отбора снеговых проб на озере Пряжинское не проводилось. Следует отметить, что указанное значение является наибольшим по сравнению с другими районами Карелии, что обусловлено влиянием трансграничного переноса воздушных масс Западной Европы на осадки в Южной Карелии.

Буферная емкость воды оз. Пряжинское определялась экспериментальным методом по потенциометрическим кривым титрования проб воды сильной кислотой [Лозовик, Потапова, 2006] с использованием линейного уравнения

$$\frac{[H^+]}{m} = \frac{k}{C_{общ}} + \frac{[H^+]}{C_{общ}}, \quad (3)$$

где $[H^+]$, m – равновесная концентрация ионов водорода и слабых кислот соответственно после добавления сильной кислоты, $C_{общ}$ – общая концентрация слабых кислот и их анионов в исходном растворе, k – константа диссоциации слабой кислоты. Тангенс угла наклона дает величину

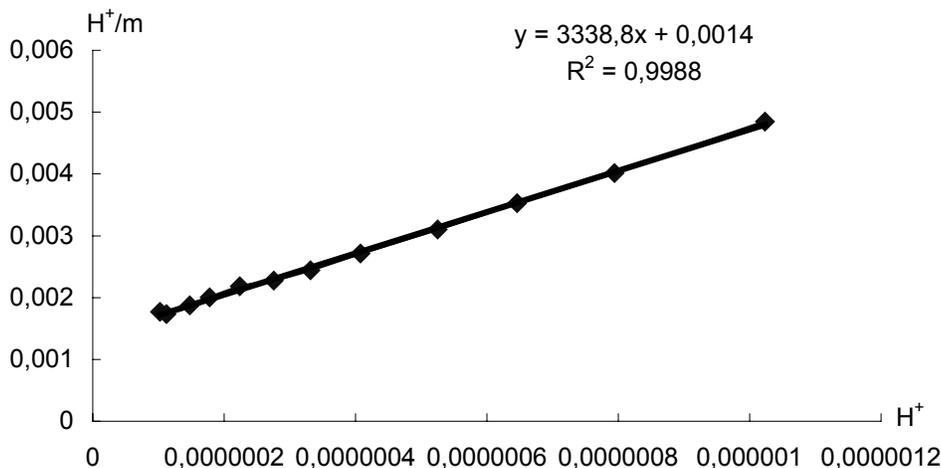
$\frac{1}{C_{общ}}$, а точка пересечения с осью ординат – свободный член $\left(\frac{k}{C_{общ}}\right)$, из которых легко найти $C_{общ}$ и k . Далее, используя классическое уравнение Ван-Слайка [Бейтс, 1986]

$$\beta = 2.3 \frac{C_{общ} \cdot 10^{pk-pH}}{(1 + 10^{pk-pH})^2},$$

без труда можно вычислить буферную емкость воды. Все потенциометрические измерения были выполнены на рНметре, иономере И-120.1, а титрование проб воды сильной кислотой проводили с использованием автоматического титратора Dosimat 715. Определение щелочности воды осуществляли методом двухточечного титрования до рН 4.5, 4.2 [РД 33-5.3.07-96], а суммы слабых кислот титрованием раствором соды до рН 8.3.

Результаты и обсуждение

На основании обработки потенциометрических кривых титрования и соответствующих расчетов (см. рис., табл. 1) установлено, что среднее значение буферной емкости воды озера Пряжинское составляет 0,10 ммоль-экв/л и изменяется в пределах 0,085– 0,109 ммоль-экв/л. Наибольшая величина β отмечена в воде руч. Дегенс в связи с высоким значением $C_{общ}$. Сумма кислотности и щелочности воды близка к общей концентрации слабых кислот и их анионов в исходном растворе, pk – к аналогичному показателю для угольной кислоты. Последнее указывает на то, что кислотноосновное равновесие в воде оз. Пряжинское обусловлено карбонатной системой ($HCO_3^- - CO_2$). В конечном итоге мы имеем все параметры для оценки степени закисления оз. Пряжинское (табл.2).



Зависимость H^+/m от H^+ для воды оз. Пряжинское

Таблица 1

Показатели кислотноосновного равновесия воды оз. Пряжинское

Дата отбора	№ станции	рН	Acid	Alk	C _{общ}	β	рк
			ммоль-экв/л				
11.10.05	2 (поверхность)	6,99	0,058	0,241	0,300	0,109	6,38
	2 (дно)	6,94	0,050	0,246	0,309	0,101	6,25
	руч. Дегенс	6,41	0,278	0,222	0,490	0,276	6,53
	исток из озера	6,97	0,040	0,232	0,290	0,085	6,22

Таблица 2

Буферная емкость воды и поступление сильных кислот в оз. Пряжинское при различной кислотной нагрузке

ρ	рН осадков	C _{сильн.к-т}	β	b	b _{крит}	ΔрН	ΔHCO ₃ ⁻ , мг/л
		ммоль-экв/л					
0,43	4,5	0,03	0,10	0,013	0,030	0,11	0,80
0,43	4,0	0,08	0,10	0,036	0,030	0,30	2,20

В результате поступления сильных кислот в оз. Пряжинское как с атмосферными осадками, выпадающими на поверхность озера в течение года, так и за счет талых снеговых вод в период весеннего половодья, изменение рН воды озера составит около 0,1 ед., а щелочности – 0,8 мг HCO₃⁻/л. Полученные показатели являются достаточно низкими (почти в 2,3 раза меньше, чем критические), поэтому закисление вод озера Пряжинское небольшое и маловероятно, что оно имеет какие-либо экологические последствия. Связано это с тем, что озеро Пряжинское достаточно устойчиво к закислению как с гидрологических, так и с геохимических позиций. Достижение критического уровня закисления вод будет наблюдаться при снижении величины рН атмосферных осадков в районе озера Пряжинское до 4,0. Это произойдет в том случае, если существенно будет увеличена эмиссия диоксида серы и окислов азота в странах Европы и в России. В связи с тем что многими странами, в том числе и Россией, принята Международная Конвенция по снижению выбросов в атмосферу SO₂ и окислов азота и она выполняется, опасаться закисления вод озера Пряжинское нет оснований.

Заключение

Таким образом, проведенный анализ закисления оз. Пряжинское по гидрогеохимической модели показал, что при современном уровне выпадения сильных кислот данный объект достаточно устойчив к закислению. Изменение показателей кислотноосновного равновесия в озере незначительно, и оно намного ниже критического. В дальнейшем представляет определенный интерес сравнивать оценку закисления озера с использованием модели А. Хенриксена [1992], которая принципиально отличается от гидрогеохимической.

Литература

- Бейтс Р. Определение рН. Теория и практика. Л., 1968. 398 с.
- Голомах Ю.В., Сало Ю.А. Структура многолетнего водного баланса озера Пряжинское // Петрозаводск, 2006. Настоящий сб., с. 45.
- Лозовик П. А. Устойчивость водных объектов к закислению в зависимости от их удельного водосбора на примере озер и рек бассейна р. Шуи (Онежской) // Водные ресурсы. 2006. Т. 33. № 2.
- Лозовик П. А., Потапова И. Ю. Поступление химических веществ с атмосферными осадками на территории Карелии // Водные ресурсы. 2006. Т. 33. № 1. С. 111–118.
- РД 33-5.3.07-96. Качество вод. Количественный химический анализ вод. Методика выполнения измерений массовой концентрации гидрокарбонатов в природных водах титриметрическим методом. М., 1996. 15 с.
- Henriksen A., Kamari L., Posch M., Wilander A. Critical loads of acidity: Nordic surface waters // AMBIO. 1992. Vol. 21. P. 356-363.

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ВОДЫ ОЗЕРА ПРЯЖИНСКОЕ**М.С. Кононова, А.В. Рыжаков***Карельский государственный педагогический университет
Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН***Введение**

Первые сведения о составе и качестве вод оз. Пряжинское были получены Отделом водных проблем Карельского филиала АН СССР в 1953 г. Исследования проводились по сокращенной программе. В 1987 г. проведены сезонные наблюдения, по материалам которых дается детальная характеристика вод озера (Современное..., 1988). В 2005 году гидрохимические наблюдения на оз. Пряжинское проводили дважды – в сентябре и октябре. Отбор проб осуществляли на четырех озерных станциях (на двух горизонтах – поверхностном и придонном), истоке из озера и главном притоке – ручье Дегенс (рис. 1). По материалам исследований сформирована база гидрохимических данных.



Рис. 1. Расположение станций отбора (цифры – номера станций)

Материалы и методы

Контроль за химическим составом воды включал определение основных физико-химических параметров. Работа проводилась в аккредитованной лаборатории гидрохимии и гидрогеологии ИВПС КарНЦ РАН по утвержденным Госстандартом России методикам.

Для оценки качества воды озера рассчитывали индексы загрязнения (ИЗВ), используя следующие показатели: растворенный кислород, БПК₅, фосфор общий, кадмий, железо общее и марганец. Для железа и марганца принимали в расчет региональные ПДК по методу (Лозовик, Платонов., 2005). Для ручья Дегенс вместо кадмия использовали концентрацию аммонийного азота.

Результаты и обсуждение

Озеро Пряжинское расположено в бассейне р. Свят (частный водосбор р.Шуи). В озеро впадает ручей Дегенс и два ручья без названия. Водосбор озера холмистый, покрытый смешанными лесами с преобладанием сосны. Заболоченность его – 11 %, лесистость – 71%, озерность – 7%. Площадь отмелиорированных земель составляет 200 га, длина мелиоративных канав 8 км.

В соответствии с показателем условного водообмена (1,2 год⁻¹) оз. Пряжинское можно отнести к группе озер среднего водообмена с полной сменой объема воды в течение 10 месяцев; площадь водосбора равна 50,2 км² (Ресурсы., 1972).

Котловина Пряжинского озера – ледникового генезиса. Высота его зеркала над уровнем моря 108 м, наибольшая глубина – 7,5 м. К особенностям гидрографии озера надо отнести наличие одного крупного притока – ручья Дегенс – и двух истоков на западе в оз. Шаньгима и на юге в р. Свят (Фрейндлинг, 1960).

На берегу оз. Пряжинское расположен поселок Пряжа. Мелкие предприятия и склады сосредоточены по всему поселку. Коммунально-бытовые стоки поселка после очистки сбрасываются за пределы водосбора озера (в руч. Шаньгинский). На качество воды озера могут оказывать негативное влияние расположенные на его берегу жилые неблагоустроенные дома, огороды, а также хозяйственное и рекреационное использование озера населением.

Оз. Пряжинское – источник водоснабжения п. Пряжа. Водообеспечение жителей и предприятий осуществляется из озера двумя водозаборами: коммунальным и ведомственным. Коммунальный водопровод эксплуатируется с 1973 г. Вода из берегового колодца поступает на водоочистную установку, а затем в резервуар чистой воды с последующей подачей потребителям.

Преобладающим катионом является кальций – 3,44-3,69 мг/л. Среди анионов наиболее высокие концентрации имеет гидрокарбонатный ион – 14,43 мг/л. Таким образом, вода оз. Пряжинское – слабоминерализована, гидрокарбонатного класса, группы кальция. Распределение главных ионов по акватории и горизонтам равномерное.

Концентрация растворенного кислорода составляет 10,1 - 10,2 мг/л (88-93% насыщения) в сентябре и 11,5 - 11,7 мг/л (93-95% насыщения) – в октябре. Содержание СО₂ равно 1,1 – 1,7 мг/л.

Значение рН по акватории озера в сентябре менялось от 7,10 до 7,42, а в октябре – от 6,83 до 7,18. Таким образом, по величине рН и щелочности оз. Пряжинское относится к классу среднещелочностных циркумнейтральных водоемов.

Содержание органических веществ, судя по косвенным показателям, в воде озера стабильное. Цветность воды в сентябре – от 85 до 95 град., а в октябре – от 75 до 80 град. Перманганатная окисляемость воды в озере в сентябре менялась от 15,4 до 18,0 мгО₂/л. В октябре перманганатная окисляемость ниже – до 14,1 мгО₂/л. Значение БПК₅ составило в среднем 1,5 в сентябре и 1,4 мгО₂/л в октябре. В поверхностных горизонтах озерных станций определено содержание хлорофилла «а»: 11,4 - 12,9 мкг/л, что соответствует его концентрации в истоке из озера.

Концентрация общего фосфора колебалась в течение сентября в озере от 48,2 до 80,2 мкг/л, в октябре – от 50,9 до 89,8 мкг/л. При этом наибольшее содержание Р_{общ} обнаруживается в истоке из озера (ст. 6, район п.Пряжа). Можно сделать вывод о том, что оз. Пряжинское по содержанию общего фосфора относится к евтрофным водным объектам. Концентрация органического азота в сентябре составила от 0,40 до 0,63 мгN/л, а в октябре концентрация увеличивается

от 0,41 до 0,84 мгN/л. Содержание аммонийного азота колебалось в озере от 5 до 12 мкгN/л. В сентябре содержание нитратного азота в водах озера не обнаружено. Осенью фотосинтетическая деятельность водных растений уменьшается, и в воде начинают накапливаться нитраты. В октябре содержание нитратов в водах озера колебалось от 0,01 до 0,05 мг/л. Нитриты в озере не обнаружены.

Содержание общего железа менялось от 0,55 до 0,78 мг/л, марганца – от 0,05 до 0,09 мг/л. Распределение кремния по акватории озера равномерное и составляет в среднем около 0,30 мг/л.

В октябре в поверхностных горизонтах было определено содержание тяжелых металлов – свинца и кадмия. Наибольшая концентрация наблюдалась в районе поселка (ст.6) – 0,4 и 0,04 мкг/л соответственно.

Расчитанный индекс ИЗВ для оз.Пряжинское составил величину 0,77, что соответствует «чистому» классу вод.

Основным притоком озера является ручей Дегенс. Ручей соответствует полигумусным, слабощелочностным слабокислым, гипертрофным водным объектам. Среди катионов преобладает кальций – 3,48 мг/л. В анионном составе преобладают гидрокарбонаты – 7,27 мг/л.

Вода ручья постоянно имеет дефицит кислорода до 40 %. Содержание углекислого газа CO₂ в ней значительно выше, чем в озере, в среднем 11,7 мг/л. В течение осени вода имеет относительно низкие значения рН (от 6,06 до 6,64).

Содержание органических веществ в притоке выше, чем в озере. Это в основном гуминовые вещества болотного происхождения (цветность 240 град., перманганатная окисляемость от 35,5 до 45,2 мгО/л).

Вода руч. Дегенс богата биогенными элементами. Концентрация общего фосфора в ручье составляет 234 мкг/л, минерального – 158 мкг/л, азота органического – 43 мкгN/л, аммонийного – 82 мкгN/л, нитратного – 17 мкгN/л. Нитриты практически отсутствовали.

В комплексе с гуминовыми веществами в воде ручья удерживаются большие концентрации железа – 2,7 мг/л, и кремния – 5,1 мг/л. Их содержание примерно в 5-6 раз выше, чем в озере. Индекс ИЗВ для воды руч. Дегенс составил 3,00. Это соответствует «загрязненному» классу вод.

Таким образом, ручей Дегенс несет воду с высоким содержанием биогенных и органических веществ, в составе которых преобладают окрашенные трудноокисляемые гуминовые соединения, образующие комплексы с железом, марганцем и кремнием. Вода, попадающая в озеро, имеет низкую минерализацию, кислую реакцию, значительный дефицит кислорода и высокую концентрацию углекислого газа. Однако влияние этих вод ограничено в связи с малыми объемами их поступления.

В целом за счет внутриводоемных процессов, склонового стока и разгрузки части подземных вод непосредственно в водоем вода, вытекающая из озера, по своему химическому составу близка к озерной и значительно отличается от воды руч. Дегенс и атмосферных осадков. За счет минерализации части органических соединений, а также седиментации гидроокиси железа и гуминовых веществ уменьшается сток железа и органических веществ из озера. Увеличение ионного стока и общего железа из озера может быть связано как с подземным питанием, так и с влиянием склонового стока с территории поселка.

Заключение

В целом вода оз.Пряжинское характеризуется достаточно стабильным гидрохимическим режимом, который мало изменился по сравнению с исследованиями 1987 г. Химический состав воды в районе водозабора п.Пряжа незначительно отличается от состава озерных станций. Однако усиление хозяйственной деятельности на его водосборе, наблюдающееся в последние годы, привело к некоторому увеличению содержания биогенных элементов и лабильных органических веществ, которое и ранее было достаточно высоким. Влияние гумифицированного притока – руч. Дегенс – весьма ограничено в связи с малыми объемами поступающих вод. Следовательно, основной проблемой для оз.Пряжинское в настоящее время является его загрязнение и эвтрофирование за счет стока с водосборной территории.

Литература

- Лозовик П.А., Платонов А.В. Определение региональных предельно допустимых концентраций загрязняющих веществ на примере Карельского гидрографического региона // *Геоэкология*. 2005. № 6. С. 527-532.
- Ресурсы поверхностных вод СССР. Т.2. Карелия и Северо-Западная часть, 1972 г.
- Современное состояние поверхностных источников водоснабжения городов и населенных пунктов республики в связи с их охраной от загрязнения и истощения (оз.Пряжинское). Научн. отчет ОВП Карельского филиала АН СССР. Петрозаводск, 1988. 30 с.
- Фрейндлинг В.А. Гидрологическая характеристика некоторых малых озер Южной Карелии // *Тр. Карельского филиала АН СССР. Петрозаводск*, 1960. Вып. 27. С. 60-90.

РАЗВИТИЕ ГИДРОХИМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ В КАРЕЛИИ

П. А. Лозовик, А.В. Сабылина, Н.Н. Мартынова, А.В. Рыжаков

Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН

«Гидрохимия – наука, изучающая химический состав природных вод и его изменения во времени и пространстве в причинной взаимосвязи с химическими, физическими и биологическими процессами, протекающими как в воде, так и в окружающей среде» [Зенин, Белоусова, 1988]. В системе наук о Земле гидрохимия является частью более обширной науки о химии земной коры – геохимии, а также частью комплекса дисциплин о гидросфере – гидрологии. В зависимости от объекта исследования ее подразделяют на химию поверхностных, подземных, морских вод, атмосферных осадков, ледников и других объектов гидросферы.

Систематические исследования поверхностных вод Карелии были начаты в 50-х годах с момента создания лаборатории гидрохимии в Карельском филиале АН СССР (1951 г.). Первые работы проводились в целях рационального использования водных ресурсов в народном хозяйстве и для получения общих сведений о химическом составе воды. В частности, были проведены сезонные исследования озерно-речных систем Северо-Восточного и Северного Приладожья, бассейнов рек Шуи, Суны, Поморского, Карельского и Лямецкого побережий, а также ряда рек северо-восточного побережья Белого моря [Харкевич, 1956, 1964; Максимова, 1959]. Это позволило установить особенности поверхностных вод Карелии, а в дальнейшем появился даже термин «Карельский тип вод». К химическим особенностям поверхностных вод Карелии относятся очень низкая минерализация воды, высокое содержание органических веществ, железа, марганца при незначительном количестве биогенных элементов и фторидов, а в более 10% объектов отмечается кислая реакция среды ($pH \leq 5.0$). Во многих объектах наблюдается постоянный дефицит кислорода и CO_2 по сравнению с равновесным распределением газов в воде в соответствии с ее температурой и законом Генри. В целом поверхностные воды Карелии являются ярким представителем вод гумидной зоны [Харкевич, 1991; Лозовик и др., 1991; Мартынова, 2003].

Развитие промышленности в Карелии, прежде всего целлюлозно-бумажной, привело к существенному загрязнению ряда водных объектов. В этой связи в 60-е годы лабораторией гидрохимии одной из первых в стране были начаты исследования загрязнения водоемов под действием промышленных и хозяйственно-бытовых сточных вод. В дальнейшем эти работы были распространены на такой вид хозяйственной деятельности, как мелиорация земель. Детально были исследованы водоемы, загрязненные сточными водами целлюлозно-бумажных комбинатов (Сегежского, Кондопожского, Архангельского, Соломбальского, Котласского), Питкярантского ЦБЗ, Суоярвской картонной фабрики и других промышленных предприятий городов и населенных пунктов [Харкевич, 1970, 1978; Маслова, 1969, 1970]. Определено и подсчитано количество и состав выносимых сточными водами минеральных и органических веществ, в том числе отдельных загрязняющих (летучие фенолы, смолистые вещества, лигносульфонаты, меркаптаны и др.), оценено их влияние на гидрохимический режим водоемов, выделены зоны загрязнения [Пирожкова, 1985]. В 1981–1986 гг. детально изучался вынос веществ в водоемы и водотоки со сточными водами сельхозудий, живот-

новодческих комплексов и мелиорированных земель [Курапцева, 1985]. Показано, что наиболее пагубно это влияние сказывается на малые водотоки, зачастую являющиеся местом нерестилища ценных пород рыб. Для больших рек влияние мелиорации на качество их вод проявлялось локально, главным образом в период весеннего половодья. На примере оз. Исопюярви и других малых водоемов, в бассейне которых проведена лесная мелиорация, установлено, что в водоемах-приемниках дренажных вод происходит наиболее существенное увеличение содержания железа (в 2–5 раз), органических веществ (до 2-х раз), при этом также повышается величина рН, минерализация воды и трофность водоема [Поверхностные воды..., 1991].

В 70-е годы лаборатория всецело занималась вопросами территориального перераспределения стока. В частности, изучался состав и качество воды Онежского озера, Ковдозера, Пяозера, Топозера, Выгозерского водохранилища, Сегозера и Ондозера, рек Кеми, Н. Выг и притоков Белого моря и рассматривалась возможность переброски части стока северных рек Карелии в Волгу по трассе ББВП через Онежское озеро [Современный режим..., 1989]. В результате выполненных прогнозных оценок была показана нецелесообразность использования Онежского озера для трассы переброски. В дальнейшем разработка этой проблемы в стране была прекращена по постановлению Правительства СССР.

Из крупных региональных работ следует выделить исследования вод района Костомукши до и после введения в строй Костомукшского ГОКа, Выгозерского водохранилища в различные периоды функционирования Сегежского ЦБК и Онежского озера, заонежской группы озер в связи с планируемой разработкой уран-ванадиевого месторождения.

Очень важный комплекс работ был проведен в районе Костомукши, который охватывает 3 периода: до строительства города и комбината (1970–1976 гг.), наращивание мощности комбината и функционирование города (1982–1993 гг.), аварийные сбросы воды из хвостохранилища Костомукшского ГОКа (1994–2004 гг.). Первые исследования позволили оценить качество и состояние поверхностных вод и донных отложений озер района Костомукши до разработки железорудного месторождения. Эти материалы были обобщены в монографии «Природные воды района Костомукшского железорудного месторождения» [1985]. Во второй период установлены изменения в химическом составе воды, которые произошли в системе реки Контолки под влиянием сброса хозяйственных сточных вод города и в оз. Костомукшском, преобразованном в хвостохранилище, а также и в системе р. Кенти под влиянием фильтрационных вод хвостохранилища и обводных каналов [Морозов, 1998; Феоктистов, 1992]. Кроме того, были разработаны регламент очистки воды хвостохранилища от взвешенных веществ, железа и нефтепродуктов и режим попусков из него воды [Феоктистов, Сало, 1990].

С 1994 г. ежегодно осуществляются регулируемые попуски воды из хвостохранилища до достижения величины ПДК по калию в контрольном створе. Исследованиями, проведенными в этот период, установлено изменение химического состава воды системы р. Кенти, которое прежде всего выражается в увеличении минерализации, содержания калия, лития, нитратов и органического азота. Особенно существенно оно в верхних озерах системы Окуневом и Поппалиярви и значимы для нижних – Койвас и Кенто. Для оз. Ср.Куйто последствия сбросов на качество его воды сказываются мало [Лозовик и др., 2001].

Значительный объем гидрохимических исследований выполнен на Выгозерском водохранилище и р. Н.Выг в 1969–1975 гг. – до ввода в действие станции биологической очистки (СБО) сточных вод Сегежского ЦБК, в 1976–1982-м – ввод в строй очистных сооружений и вывод СБО на проектные показатели, в 1983–1991-м – работа СБО в проектном режиме, а с 1992 г. – резкое сокращение производства на комбинате. Благодаря этим работам удалось выявить распространение сточных вод в Выгозере [Харкевич, 1978] и р. Н. Выг, оценить эффективность их очистки, определить уровень допустимой антропогенной нагрузки на водоем и реакцию экосистемы на антропогенное воздействие для различных периодов функционирования комбината [Изменение режима..., 1989].

Начиная с 1975 г. в рамках комплексных тем института лаборатория приступила к исследованию Онежского озера. В результате выполненных в 1975–1990 гг. работ получены сведения по гидрохимическому режиму озера и отдельных его заливов и губ, роли речного стока, атмосферных

осадков, сточных вод и внутриводоемных процессов в формировании химического состава их воды. Материалы этих наблюдений обобщены в монографии «Экосистема Онежского озера в условиях антропогенного воздействия» [Пирожкова, 1990].

Последующий период (1992–2004 гг.) характеризуется более детальным исследованием антропогенного влияния на экосистему озера, выявлению связи между уровнем антропогенной нагрузки и состоянием его заливов и губ. Установлено, что наибольшее влияние на озеро оказывают точечные источники загрязнения (Петрозаводский, Кондопожский и Медвежьегорский промышленные центры), а также сток р. Шуи, испытывающей значительное воздействие рассеянной нагрузки. Это приводит к антропогенному эвтрофированию в целом озера и загрязнению Кондопожской губы и Большой губы Повенецкого залива. При этом на центральную часть озера оказывают существенное воздействие сточные воды г. Петрозаводска и речных вод Шуи, тогда как сточные воды Кондопоги и Медвежьегорска больше локализованы в заливах [Сабылина, 1999].

Начиная с 1992 г. и по настоящее время лаборатория принимает активное участие в реализации программы государственного мониторинга поверхностных водных объектов и проводит наблюдения на водоемах, подверженных наибольшему антропогенному воздействию. В этой связи наиболее детально исследованы Онежское озеро, северная часть Ладожского озера и ее притоки, северное Выгозеро и р. Н. Выг, водоемы района Костомукши, оз. Ср. Куйто, озера Суоярви, Исопюхярви, Крошнозеро, Пряжинское, Святозеро, Сямозеро, притоки Белого моря, Кончезерская, Нижнесунская и Заонежская группа озер. По материалам мониторинговых наблюдений дана оценка качества воды, трофического состояния и степени загрязнения водных объектов с использованием фоновых региональных показателей и критерия ПДК для рыбохозяйственных водоемов. Предложены рекомендации по охране водных объектов от загрязнения [Современное состояние..., 1998; Экологические проблемы..., 2005].

В деятельности лаборатории уделяется постоянное внимание вопросам формирования химического состава воды, а в последние годы – нормированию антропогенной нагрузки на водные объекты. В этом направлении выявлена роль атмосферных осадков, водосборной территории и внутриводоемных процессов в формировании химического состава воды, а также предложены методы оценки критических нагрузок при закислении вод, минеральном, органическом и токсическом загрязнении вод и их эвтрофировании с учетом региональной специфики вод [Органическое вещество ..., 1985; Лозовик, Платонов, 2005; Лозовик, Потапова, 2006; Лозовик и др., 2005; Рыжаков и др., 2002].

Немаловажным аспектом в деятельности лаборатории является совершенствование методов аналитического контроля качества воды и методов полевых исследований. За более чем 50-летний период произошла смена до 3 поколений методов. Лаборатория имеет аккредитацию Госстандарта России и ежегодно принимает участие в международном проекте «ICP-Waters» по сравнению результатов анализа [Intercomparison..., 1999–2003]. В настоящее время лаборатория располагает современными аналитическими приборами (атомно-абсорбционными спектрометрами, спектрофотометрами, ионным хроматографом, рНметрами, аналитическими весами, ионселективными электродами и др.), компьютерной техникой, специалистами высокой квалификации, что позволяет проводить научные исследования на должном уровне.

Говоря об исследованиях поверхностных вод Карелии, нельзя не вспомнить многих сотрудников, которые принимали в них активное участие. Прежде всего в становлении и развитии лаборатории огромную роль сыграла Н.С. Харкевич, заслуженный деятель науки Карелии. По праву можно отнести к классикам отечественной гидрохимии Н.П. Маслову, Г.П. Пирожкову, внесших достойный вклад в развитие гидрохимии в Карелии. Надеемся, что эстафета гидрохимических исследований будет подхвачена молодым поколением гидрохимиков.

Литература

- Зенин А.А., Белоусова Н.В. Гидрохимический словарь. Л., 1988. С. 54.
Курапцева С.В. Качество поверхностных вод // Водное хозяйство Карельского Приладожья. Петрозаводск, 1985. С. 22–35.
Изменение режима Северного Выгозера и р. Н. Выг под действием сточных вод Сегежского ЦБК и допустимый объем их сброса. Петрозаводск, 1986. 36 с.

- Лозовик П.А., Сабылина А.В., Коваленко В.Н. и др. Гидрохимическая характеристика малых озер Карелии // Антропогенные изменения экосистем малых озер. СПб., 1991. С. 34–37.
- Лозовик П.А., Маркканен С.-Л., Морозов А.К. и др. Поверхностные воды Калевальского района и территории Костомукши в условиях антропогенного воздействия. Петрозаводск, 2001. 168 с.
- Лозовик П.А., Платонов А.В. Определение региональных предельно допустимых концентраций загрязняющих веществ на примере Карельского гидрографического района // Геоэкология. 2005. № 6. С. 527–532.
- Лозовик П.А., Басов М. И., Литвиненко А.В. Оценка поступления химических веществ с водосборов рек на территории Карелии // Водные ресурсы. 2005. Т. 32, № 5. С. 584–588.
- Лозовик П. А., Потапова И. Ю. Поступление химических веществ с атмосферными осадками на территории Карелии // Водные ресурсы. 2006. Т. 33, № 1. С. 111–118.
- Максимова М.П. Органический углерод и окисляемость в водах Белого моря // Изв. Карельского и Кольского филиалов АН СССР. Петрозаводск, 1959. С. 71–74.
- Маслова Н.П. Характеристика сточных вод Кондопожского целлюлозно-бумажного комбината и их влияние на химический состав воды Кондопожского залива Онежского озера // Вопросы гидрологии, озераведения и водного хозяйства Карелии. Петрозаводск, 1969. С. 112–147.
- Маслова Н.П. Влияние сточных вод картонной фабрики на химический состав воды озера Суоярви // Водные ресурсы Карелии и пути их использования. Петрозаводск, 1970. С. 60–86.
- Мартынова Н.Н., Лозовик П.А. Большие и малые озера Пудожского района // Водная среда Карелии: исследование, использование и охрана. Петрозаводск, 2003. С. 9–16. .
- Морозов А.К. Водоёмы района Костомукши. Химический состав воды // Современное состояние водных объектов Республики Карелия. По результатам мониторинга 1992-1997 гг. Петрозаводск, 1998. С. 129–133.
- Органическое вещество и биогенные элементы в водах Карелии. Петрозаводск, 1985. 214 с.
- Пирожкова Г.П. Источники формирования химического состава воды Кондопожской губы Онежского озера // Лимнология Кондопожской губы Онежского озера. Петрозаводск, 1985. С. 47–63.
- Пирожкова Г.П. Гидрохимический режим озера и его изменение под влиянием антропогенного воздействия // Экосистема Онежского озера и тенденции ее изменения. Л, 1990. С. 95–146.
- Пирожкова Г.П. Химический состав приточных вод бассейна Онежского озера // Притоки Онежского озера. Петрозаводск, 1990. С. 4–37.
- Поверхностные воды озерно-речной системы Шуи в условиях антропогенного воздействия (отв. редакторы П.А. Лозовик, В.А. Фрейндлинг). Петрозаводск, 1991. 211 с.
- Рыжаков А.В., Лозовик П.А. Влияние степени гумусности и кислотности озер Карелии на содержание основных форм азотистых соединений // Экоаналитический контроль природных объектов Карелии. Петрозаводск, 2002. С. 121–126.
- Рыжаков А.В., Лозовик П.А., Куринная А.А. Биохимическая трансформация некоторых азотсодержащих органических соединений в природной воде // Экологическая химия. 2002. Т. 11. Вып. 4. С. 217–240.
- Сабылина А.В. Современный гидрохимический режим озера // Онежское озеро. Экологические проблемы. Петрозаводск, 1999. С. 58–108.
- Современный режим природных вод бассейна р. Кеми / Под ред. В.А. Фрейндлинга. Петрозаводск, 1989. 225 с.
- Современное состояние водных объектов республики Карелия. По результатам мониторинга в 1992–1997 гг. Петрозаводск, 1998. 188 с.
- Феоктистов В.М., Тимакова Т.М., Калугин А.И. Влияние Костомукшского ГОКа на водную систему Кенти-Кенто // Водные ресурсы Карелии и экология. Петрозаводск, 1992. С. 63–78.
- Феоктистов В.М., Сало Ю.А. Режим эксплуатации хвостохранилища Костомукшского ГОКа: Практик. реком. Петрозаводск, 1990. 42 с.
- Харкевич Н.С. Гидрохимическая характеристика Миккельского озера и Крошнозера // Тр. Карельского филиала АН СССР. Петрозаводск, 1956. Вып. 2. С. 56–88.
- Харкевич Н. С. Сток растворенных веществ рек северного и северо-восточного побережий Ладожского озера // Материалы по гидрологии (лимнологии) Карелии. Петрозаводск, 1964. Вып. 36. С. 3–98.
- Харкевич Н.С. Влияние сточных вод Сегежского целлюлозно-бумажного комбината на химический состав и качество воды р. Сегежи и Выгозера // Вопросы гидрологии озераведения и водного хозяйства Карелии. Петрозаводск, 1969. С. 30–59.
- Харкевич Н.С. Естественный гидрохимический режим озера Суоярви и направленность его изменения под влиянием сточных вод // Водные ресурсы Карелии и пути их использования. Петрозаводск, 1970. С. 28–60.

Харкевич Н.С. Характеристика химического состава и качества воды Выгозерского водохранилища // Водные ресурсы Карелии и их использование. Петрозаводск, 1978. С. 107–150.

Харкевич Н.С. Гидрохимия Кончезерской группы озер – уникальных водных объектов Карелии. Петрозаводск, 1991. 126 с.

Экологические проблемы освоения месторождения Средняя Падма. Петрозаводск, 2005. 110 с.

Intercomparison 9913: pH, χ_{25} , HCO₃, NO₃+NO₂, Cl, SO₄, Ca, Mg, Na, K, total aluminium, aluminium-reactive and nonlabile, TOC and COD-Mn // ICP-Waters report 51/1999. Niva, 1999. 65 p.

Intercomparison 0014: pH, Cond, HCO₃, NO₃+NO₂, Cl, SO₄, Ca, Mg, Na, K, total aluminium, aluminium-reactive and nonlabile, TOC, COD-Mn, Fe, Mn, Cd, Pb, Cu, Ni and Zn // ICP-Waters report 55/2000. Niva, 2000. 80 p.

Intercomparison 0115: pH, χ_{25} , HCO₃, NO₃+NO₂, Cl, SO₄, Ca, Mg, Na, K, total aluminium, aluminium-reactive and nonlabile, TOC, COD-Mn, Fe, Mn, Cd, Pb, Cu, Ni and Zn // ICP-Waters report 64/2001. Niva, 2001. 81 p.

Intercomparison 0317: pH, χ_{25} , HCO₃, NO₃+NO₂, Cl, SO₄, Ca, Mg, Na, K, Fe, Mn, Cd, Pb, Cu, Ni and Zn // ICP-Waters report 68/2002. Niva, 2002. 69 p.

Intercomparison 0216: pH, χ_{25} , HCO₃, NO₃+NO₂, Cl, SO₄, Ca, Mg, Na, K, Fe, Mn, Cd, Pb, Cu, Ni and Zn // ICP-Waters report 74/2003. Niva, 2003. 69 p.

ХИМИЧЕСКИЙ БАЛАНС ОЗЕРА ПРЯЖИНСКОЕ

А.В. Петрова, П.А. Лозовик

*Карельский государственный педагогический университет
Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН*

Введение

Формирование химического состава любого водоема происходит в результате внешнего поступления вещества в озеро с атмосферными осадками, поверхностным и подземным стоками, а также в результате внутриводоемных процессов (продукции, деструкции, седиментации и диффузии из донных отложений) и антропогенного влияния. Для оценки вклада различных источников в состав воды озера наиболее часто используют методы химического баланса, т.е. рассчитывают количество вещества, поступающего от каждого внешнего источника, и сравнивают его с выносом из озера. Получаемая невязка баланса свидетельствует о роли внутриводоемных процессов в трансформации вещества в озере.

Для оценки химического баланса озера требуются сведения по его водному балансу, по содержанию веществ в притоках, подземных водах, атмосферных осадках и в истоке из озера. Непосредственно для оз. Пряжинское использовались данные многолетнего водного баланса, полученные Ю.В. Голомах, Ю.А. Сало [2006]. Для расчета приходной части баланса с поверхностным притоком учитывались в основном показатели 1987 г., а с подземным стоком – 2005 г. наблюдений. Летне-осенний сезон 2005 г. характеризовался очень низкой водностью и многие водотоки, в том числе и основной приток озера – руч. Дегенес, перешли на подземное питание, как следствие этого химические показатели в ручье существенно отличались от ранее наблюдаемых, тогда как в самом озере их изменение не было столь контрастным. Поступление веществ с атмосферными осадками, выпадающими на поверхность озера, было рассчитано по составу осадков Южной Карелии с использованием литературных сведений [Лозовик, Потапова, 2006]. Указанные выше обстоятельства не позволяют получить точные сведения по химическому балансу оз. Пряжинское, но в то же время его элементы дают возможность судить о поступлении веществ в озеро от различных источников и выявить внутриводоемную трансформацию лабильных соединений.

Материалы и методы

Как уже отмечалось, для расчета химического баланса оз. Пряжинское использовались данные многолетнего водного баланса [Голомах, Сало, 2006] (табл. 1).

Таблица 1

Элементы водного баланса оз. Пряжинское, млн. м³/год

Приход		Расход	
Осадки	2.42	Испарение	1.60
Подземный приток	3.10	Водопотребление	0.20
Поверхностный приток	13.3	Поверхностный сток	15.9
Всего	18.8	Всего	17.7

Приходная часть водного баланса равняется 18,8, а расходная – 17,7 млн. м³ в год, невязка – 1,1 млн. м³. В приходной части химического баланса рассматриваются все элементы водного баланса, а в расходной – только поверхностный сток и водопотребление, что в сумме составляет 16,1 млн. м³/год. Потеря веществ при испарении воды незначительна и ее не принимали во внимание.

Для расчета средневзвешенной концентрации веществ в поверхностном притоке учитывалось внутригодовое распределение стока, которое было получено по водотоку-аналогу (рекам Маньга и Святрека) и любезно предоставлено Ю.А. Сало (табл. 2).

Таблица 2

Сезонное распределение притока с водосбора в оз. Пряжинское

Сезон	Месяцы	Q, млн. м ³	ρ
Весна	IV – VI	6.73	0.50
Лето	VII – VIII	1.40	0.11
Осень	IX – XI	3.17	0.24
Зима	XII – III	2.00	0.15
Год	I – XII	13.3	1.00

В связи с тем что озеро оказывает регулирующее действие на сток, внутригодовое распределение последнего несколько отличается от такового для притока в озеро. Поэтому для расчета средневзвешенной концентрации веществ в истоке из озера использовались данные по сезонному распределению водного стока из озера (табл. 3).

Таблица 3

Внутригодовое распределение стока из оз. Пряжинское (данные Ю.А. Сало)

Сезон	Месяцы	Q, млн. м ³	ρ
Весна	IV – VI	5.43	0.34
Лето	VII – VIII	2.48	0.15
Осень	IX – XI	5.10	0.32
Зима	XII – III	3.12	0.19
Год	I – XII	17.7	1.00

Оценка химического баланса оз. Пряжинское осуществлялась по основным группам веществ: минеральным ($\Sigma_{и}$), органическим (ОВ), Fe_{общ}, Si, P_{общ}, N_{орг}, NO₃⁻.

Как было уже отмечено ранее, по большинству компонентов учитывались данные наблюдений 1987 г., а по азотистым веществам – 2005 г. (табл. 4). Последние были получены на более современной аналитической основе, чем в 1987 г.

Таблица 4

Химический состав воды руч. Дегенс и истока из оз. Пряжинское

Сезон	$\Sigma_{и}$	ОВ	Fe _{общ}	Si	P _{общ} , мкг/л	N _{орг}	NO ₃ ⁻
	мг/л					мгN/л	
руч. Дегенес							
Весна	8.8	42.0	0.56	2.0	32	–	–
Лето	12.2	49.6	0.91	2.5	30	–	–
Осень	16.1	40.0	1.44	4.2	38	0.53	0.11
Зима	23.1	29.2	1.01	3.9	37	–	–
Средневзвешенная годовая	13.1	40.4	0.88	2.9	34	–	–
Исток из озера							
Весна	22.8	22.6	0.63	1.1	46	–	–
Лето	27.1	22.8	0.63	0.4	55	–	–
Осень	24.7	19.6	0.58	1.4	63	0.47	0.01
Зима	26.7	22.4	0.19	0.6	32	–	–
Средневзвешенная годовая	24.8	21.6	0.53	1.0	50	–	–

По подземным водам использовались результаты анализа проб, отобранных в 2005 г. Л.Н. Пителиной, Г.С. Бородулиной и В.В. Трениным [2006], а по атмосферным осадкам литературные сведения [Лозовик, Потапова, 2006] (табл. 5).

Таблица 5

Химический состав подземных вод (средневзвешенные значения) и атмосферных осадков

Объект	$\Sigma_{и}$	ОВ	Fe _{общ}	Si	P _{общ} , мкг/л	N _{орг}	NO ₃ ⁻
	мг/л					мгN/л	
Подземные воды	127	8.0	0.40	8.3	257	–	1.13
Осадки	2.1	2.0	0.05	0.02	8	0.06	0.34

Таким образом, на основании имеющихся литературных, фондовых материалов и проведенных наблюдений в 2005 г. удалось получить сведения по химическому составу воды основных источников его формирования в оз. Пряжинское, которые были использованы для расчета химического баланса озера.

Результаты и обсуждение

Химический баланс озера включает две составные части: приходную, рассчитываемую по притоку в озеро, и расходную, определяемую по истоку из озера. По разности прихода и расхода получают аккумуляцию и невязку баланса. Первая связана с увеличением или уменьшением запаса вещества в озере при изменении его объема за расчетный период, а вторая – с внутриводоемной трансформацией лабильных соединений. В принципе аккумуляция может быть вычислена как произведение $\Delta V_{оз}$ на среднюю концентрацию вещества в озере. В нашем случае это выполнить невозможно, поскольку мы не располагаем соответствующими гидрологическими параметрами. Если учесть «особенности» химических данных, то можно говорить только об ориентировочном химическом балансе оз. Пряжинское. Результаты расчетов химического баланса озера представлены в табл. 6. В приходной части баланса минеральных веществ, фосфора общего и нитратов почти в два раза больший вклад дают подземные воды, несмотря на маленький их объем по сравнению с поверхностным стоком. Причина заключается в том, что в подземных водах в районе п. Пряжа значительно выше $\Sigma_{и}$, содержание P_{общ} и NO₃⁻, чем в руч. Дегенс. В отношении ОВ, Fe_{общ}, N_{орг} и Si имеем обратную картину, их поступление в озеро с поверхностным стоком намного выше, чем с подземным. В данном случае сыграло роль как соотношение их стоков, так и содержание этих веществ в водах соответствующего генезиса (см. табл. 4, 5). Вклад атмосферных осадков в химический баланс незначителен для всех групп веществ. Единственное, что можно отметить, это поступление в озеро с осадками азотистых веществ, которое по нитратам составляет половину от поверхностного притока.

Таблица 6

Элементы химического баланса оз. Пряжинское, т

Элемент баланса	$\Sigma_{\text{и}}$	ОВ	Fe _{общ}	Si	P _{общ}	N _{орг}	NO ₃ ⁻
Приход							
Осадки	5	5	0.1	0.05	0.02	0.15	0.82
Поверхностный приток	174	537	12	39	0.45	7.0	1.5
Подземный приток	388	24	1.2	25	0.79	–	3.4
Всего	567	566	13.3	64	1.24	7.2	5.7
Расход							
Сток из озера	399	348	8.5	16	1.81	7.6	0.2
Аккумуляция + невязка							
	163	189	4.5	48	0.43	-0.4	5.5

В расходной части баланса наиболее существенна доля минеральных и органических веществ, которые в сумме дают около 750 т их стока из озера. Почти на порядок меньше по сравнению с вышеуказанными компонентами отмечается сток остальных веществ и практически «нулевой» – нитратов.

По всем элементам за исключением N_{орг} получена существенная разница в приходной и расходной части баланса, которая достигает 30–95%. Это связано с высокой погрешностью расчета баланса, учитывая неполноту исходной информации. Невозможность количественной оценки аккумуляции не позволяет вычислить невязку баланса по лабильным веществам и выяснить их внутриводоемную трансформацию. В то же время, если предположить незначительную величину аккумуляции связанную с изменением объема озера, можно выделить общие закономерности, которые весьма логичны. Так, за счет внутриводоемных процессов (седиментации, биохимического окисления) происходит уменьшение содержания ОВ, Fe_{общ} и P_{общ} в воде озера и его удерживающая способность по этим веществам составляет около 33%. В то же время для нитратов и кремния она значительно больше (75–95%), а для N_{орг} – фактически нулевая. Причина заключается в том, что оз. Пряжинское – евтрофный водоем и в нем активно протекают продукционно-деструкционные процессы. В результате происходит полное потребление нитратов и перевод их в органические формы. Процессы биохимического окисления ОВ и захоронение части его в донных отложениях приводят к сбалансированности содержания N_{орг} в воде озера. Кремний активно потребляется диатомовыми водорослями, который достаточно устойчив в их створках, поэтому и наблюдается значительная невязка баланса по этому элементу. Для фосфора характерна высокая оборачиваемость, в связи с чем не происходит столь контрастное изменение его концентрации в озере по сравнению с кремнием и нитратами.

Заключение

Таким образом, проведенные расчеты химического баланса озера Пряжинского показали, что для этого озера существенна доля поступления минеральных веществ, P_{общ} и нитратов и отчасти кремния за счет разгрузки в него подземных вод. Подземная составляющая в приходной части баланса $\Sigma_{\text{и}}$, P_{общ} и NO₃⁻ почти в 2 раза выше поверхностной. В то же время для органических веществ, Fe_{общ} и N_{орг} наблюдается обратная картина – их поступление с поверхностными водами значительно превосходит их приток с подземными.

Удерживающая способность озера по отношению ОВ, Fe_{общ} и P_{общ} составляет около 33%, а по Si оно достигает 75%, по NO₃⁻ – 95%, а по N_{орг} – практически нулевая, что связано с особенностями потребления и трансформации этих веществ в озерных экосистемах.

Литература

- Лозовик П. А., Потапова И. Ю. Поступление химических веществ с атмосферными осадками на территории Карелии // Водные ресурсы. 2006. Т. 33, № 1. С. 111–118.
- Пителина Л.Н., Бородулина Г.С., Тренин В.В. Оценка химического подземного стока в озеро Пряжинское. Петрозаводск, 2006. Настоящий сб., 2006, с. 86.
- Голомах Ю.В., Сало Ю.А. Структура многолетнего водного баланса озера Пряжинское. Петрозаводск, 2006. Настоящий сб., с. 45.

ОЦЕНКА ХИМИЧЕСКОГО ПОДЗЕМНОГО СТОКА В ОЗЕРО ПРЯЖИНСКОЕ

Л.Н. Пителина, Г.С. Бородулина, В.В. Тренин

*Карельский Государственный педагогический университет
Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН*

Введение

Изучение подземного стока в озера является частью комплексной гидролого-гидрогеологической проблемы изучения подземного водообмена между сушей и водоемом. Данная работа посвящена исследованию подземных вод, поступающих в озера, то есть той части подземных вод, которая формируется на суше и разгружается непосредственно в озера, минуя речную сеть.

Цель работы заключается в выявлении роли подземных вод в формировании химического состава озера Пряжинское. Для достижения поставленной цели оценивался подземный сток в водоем и количество поступающих с ним солей. Важной задачей явилось определение доли загрязненного подземного стока, формирующегося на территории поселка Пряжа.

Геолого-гидрогеологические условия

Водосбор Пряжинского озера сложен четвертичными образованиями, залегающими на гранитах и гранитогнейсах архея. Полная мощность четвертичных отложений установлена только в п. Пряжа, где составляет 42,5 м. Разрез состоит из нескольких моренных и по меньшей мере двух межморенных горизонтов. Поверхностные образования лужской стадии представлены в основном осадками ледникового происхождения - мореной пылеватого-песчаного, супесчаного и суглинистого состава с гравием, галькой и валунами. Флювиогляциальные отложения развиты в северной части и на юго-западном берегу оз. Пряжинское. Небольшие участки восточнее озера заняты озерно-ледниковыми глинисто-песчаными отложениями.

Через п. Пряжа протягиваются краевые ледниковые образования лужского ледника, причем в северной части водосбора они представлены системой маргинальных озв и камоподобных холмов. Главная озовая гряда возвышается на 163-167 м (в абсолютных отметках) и продолжается на юго-западном берегу озера. Большая восточная часть территории относится к сильнопересеченному холмисто-грядовому ледниковому рельефу с довольно часто встречающимися озерами и заболоченными понижениями. С запада оз. Пряжинское подперто грядой с уплощенным гребнем, с пережимами, через один из которых вытекает ручей. В строении гряды участвуют сортированные пески – от тонких до средней крупности, перекрытые слоем супесчано-суглинистой морены.

Рассматриваемая территория входит в состав Балтийского бассейна трещинных вод, где основной водоносный горизонт, имеющий повсеместное распространение, залегает в верхней трещиноватой зоне кристаллических пород. Кроме того, практически по всей территории имеют развитие поровые грунтовые воды рыхлых отложений четвертичного покрова. Приток подземных вод в озеро формируется в ледниковых и водно-ледниковых отложениях четвертичного возраста. Подземные воды, как правило, безнапорные, лишь на подошве озовой гряды у озера наблюдается небольшой местный напор (+0.2 м). Питание подземных вод осуществляется полностью за счет атмосферных осадков. Родниковый сток характерен для северо-восточной части озера, где наблюдаются пластовая разгрузка подземных вод. Единичные сосредоточенные родники с дебитом 0.1-0.5 л/сек. встречены на юго-восточном и северо-западном побережье.

Материалы и методы

Разгрузка подземных вод в водоемы является наименее изученным элементом водного и солевого баланса, так как приток подземных вод является единственным компонентом водного баланса, не поддающимся прямым измерениям.

В основе изучения и количественной оценки подземного стока в озера лежат методы, основанные на количественном анализе условий формирования подземного стока в пределах

водосборной и прежде всего в прибрежной части суши (Зекцер, 2001). Одним из методов, широко используемым при оценке подземного стока в разнообразных гидрогеологических ситуациях, является гидродинамический метод. Суть его заключается в следующем. На основе анализа геолого-структурных и гидрогеологических условий прибрежной части территории выделяются водоносные горизонты (комплексы), сток с которых направлен непосредственно в озеро, минуя речную сеть. Ширина береговых зон, с которых происходит разгрузка подземных вод в котловину озера Пряжинское, составляет в среднем 1 км, и только в районе развития озовой гряды достигает 3 км. Подземный сток, направленный в реки и ручьи, притекающие в изучаемый водоем, количественно учтен в объеме среднемноголетнего речного стока, а качественно – в показателях химического состава притоков.

Расчет подземного расхода ведется для каждого выделенного комплекса со сходными гидрогеологическими условиями с использованием имеющихся гидрогеологических параметров (водопроницаемость водоносных комплексов и гидравлические градиенты потоков подземных вод). Как известно, расход подземного потока определяется с помощью основной зависимости Дарси:

$$Q_e = Kh_{cp}VI, \quad (1)$$

где K - средний коэффициент фильтрации пласта;

h_{cp} - средняя мощность потока;

V - ширина фронта потока;

I - средний напорный градиент потока между расчетными сечениями.

Необходимые гидрогеологические параметры были получены при анализе опубликованных и архивных данных о геологическом строении и гидрогеологических условиях района, а также в результате разведочно-оценочных работ, проведенных ИВПС в 2001-2003 гг. в районе Пряжинского озера для водоснабжения поселка подземной водой (Богачев и др., 2004). В ходе этих работ были проведены разведочное бурение и опытно-фильтрационные работы, позволившие детально охарактеризовать гидрогеологические условия северо-восточной части побережья озера, сложенного водно-ледниковыми отложениями.

Ширина фронта потока для водоносных комплексов снята с карты масштаба 1:10000.

Под подземным химическим стоком понимается сумма солей, переносимых в растворенном состоянии подземными водами от областей питания к местам дренирования. Химический подземный сток определяется как сумма произведений общей минерализации подземных вод отдельных водоносных комплексов на объем воды, формирующей подземный сток этих горизонтов и комплексов. Поэтому для оценки ионного подземного стока в озера использованы результаты расчета расхода подземного потока и данные химического опробования водоносных комплексов по скважинам, родникам и колодцам. Для оценки доли загрязненного подземного стока в общем объеме выделялся сток с прибрежной территории, занятой поселком.

Химический состав подземных вод охарактеризован по данным полевых исследований, проведенных в октябре 2005 г. на водосборе озера, в период 2001-2004 гг. преимущественно на западном побережье озера, а также по результатам бурения скважин на воду «Промбурводом». В процессе полевых исследований 2005 г. в прибрежной зоне Пряжинского озера выявлены и опробованы 9 источников подземных вод (2 родника, 1 мочажина, 3 колодца, 2 скважины, 1 ручей). В пробе определялись физические свойства воды, кислотноосновные и окислительно-восстановительные показатели, анализировался макро- и микрокомпонентный и газовый состав. Химиико-аналитические исследования включали определения следующих показателей: электропроводности, цветности, Eh, pH, O₂, CO₂, Rn, перманганатной окисляемости, Fe, HCO₃, NO₃, NO₂, NH₄, N органического, P общего, Na, K, Ca, Mg, Cl, SO₄, SiO₂. Аналитические работы проводились согласно нормированным методикам в стационарной аккредитованной лаборатории гидрохимии и гидрогеологии ИВПС КарНЦ. Привлечены результаты предыдущих исследований ИВПС по 30 разведочным гидрогеологическим скважинам, 2 родникам, и результаты химического анализа трех фондовых скважин, пробуренных в 60-х годах на территории п. Пряжа.

Результаты и обсуждение

В результате анализа геолого-гидрогеологических условий района озера по периметру озера выделены три основных водоносных комплекса со сходными гидрогеологическими свойствами. В первых двух комплексах разгрузка рассчитана для зон с естественным и антропогенно измененным режимом (табл. 1).

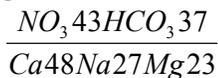
Таблица 1

Подземный сток в Пряжинское озеро

Горизонт (комплекс)	Подземный сток, м ³ /сут
<i>Моренный</i>	
а) естественный	690
б) загрязненный	532
<i>Камовый</i>	
а) естественный	712
б) загрязненный	1080
<i>Озовый</i>	5400
<i>Общий</i>	8410

На распределение величин подземного стока значительное влияние оказывает развитие хорошо проницаемых водно-ледниковых отложений, особенно флювиогляциальных. Как следует из таблицы 1, водоносные комплексы озовых отложений дренируют 64% всего подземного стока. Водообильность флювиогляциальных отложений наиболее высока и достаточна для организации водоснабжения п. Пряжа. На участке развития озовых отложений оценено и подготовлено к опытно-промышленной эксплуатации месторождение подземных вод в количестве заявленной потребности 2000 м³/сут (Богачев и др., 2004). Сток с загрязненной территории составляет 18% от общего подземного стока. В общем многолетнем водном балансе озера Пряжинское подземный сток составляет около 16%.

Химический состав подземных вод каждого комплекса имеет свои особенности (табл.2). Наиболее детально изучен состав вод, формирующихся во флювиогляциальных отложениях. Здесь воды с минерализацией от 0.04 до 0.11 г/л (в среднем 0.9 г/л) имеют гидрокарбонатный кальциево-магниевый состав. Усредненные показатели химического состава воды для камовых образований (не опробованных на изучаемой территории) получены в результате статистической обработки результатов анализов (n=103) подземных вод аналогичных отложений региона. Минерализация вод этого комплекса в естественных условиях также невелика (в среднем 0.08 г/л), химический состав преимущественно гидрокарбонатно-сульфатный (Бородулина и др., 2003). На территории поселка в воде родника из камовых песков отмечается высокое содержание нитратов - 21 мг/л, что при низкой минерализации воды приводит к формированию необычного химического типа:



Более минерализованные (0.18-0.23 г/л) подземные воды формируются в морене. Родником и скважиной вскрыты воды с низким содержанием кислорода и с повышенными концентрациями железа. На территории поселка подземные воды морены отличаются еще более высокой минерализацией (до 0.5 г/л), что связано с хозяйственно-бытовым загрязнением. Основными показателями загрязнения подземных вод являются нитраты и калий, концентрации которых в колодцах достигают 66 и 25 мг/л соответственно. В естественных условиях их содержание не превышает первых единиц мг/л. Кроме того, в воде колодцев отмечается значительное количество хлоридов (до 60 мг/л), натрия (до 45 мг/л), сульфатов (до 46 мг/л), что также свидетельствует о наличии хозяйственно-бытового загрязнения. Величина перманганатной окисляемости в этих водах достигает 9-17 мгО/л, в одном из колодцев определен азот органический в количестве 0.54 мг/л. Концентрации микрокомпонентов в подземных водах естественных ландшафтов не превышают фоновые региональные показатели, в то время как в водах на территории поселка отмечаются повышенные концентрации (мкг/л) никеля (4,5), меди (11,4), цинка (375).

Таблица 2

Средние показатели химического состава подземных вод в прибрежных зонах озера (I – естественные условия, II – антропогенные условия)

Показатель, компонент	Водоносный комплекс				
	Моренный		Камовый		Озовый
	I	II	I	II	I
pH	7,1	6,6	6,1	5,9	6,4
Na, мг/л	10	35	4	7	4
K, мг/л	2,7	17,6	1	1	1
Ca, мг/л	17	40	9	8	7
Mg, мг/л	6	10	4	2	3
HCO ₃ , мг/л	130	147	28	13	40
Cl, мг/л	2	39	1,8	13	1,5
SO ₄ , мг/л	3	30	18	3	9
SiO ₂ , мг/л	24	22	14	14	16
Fe общ., мг/л	1	1	0,2	0,3	0,3
NO ₃ , мг/л	0,2	30	0,1	20	0,8
NO ₂ , мг/л	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01
NH ₄ , мг/л	1	0,5	0,01	0,01	0,01
P общ., мгР/л	0,3	1	0,06	1	0,06
Минерализация, г/л	0,2	0,4	0,1	0,1	0,1

Соотношение стока и привноса солей с подземными и поверхностными водами в озеро приведено в таблице 3. Результаты расчета свидетельствуют, что, несмотря на незначительную долю подземного стока в общем водном балансе (около 16%), роль подземного химического стока имеет определяющее значение: количество солей, поступающих в озеро с подземными водами, более чем вдвое превышает химический поверхностный сток.

Таблица 3

Поступление биогенных элементов с речным и подземным стоком (т/год)

Сток, млн. м ³ /год	Минерализация	NO ₃ ⁻	P общий	Si
Поверхностный	13,3*	174**	6,5**	39**
Подземный	3,1	388	15	0,8

Примечание: данные* (Голомах и Сало, 2006), ** (Петрова и Лозовик, 2006).

Сравнение количества биогенных элементов, поступающих с поверхностным и подземным стоком в озеро, показало, что подземными водами выносятся в 1,5 раза меньшее количество кремния, но вдвое большее – нитратов и фосфора общего. При этом следует учесть, что подавляющая часть нитратов (90%) и фосфора (75%) поступает с подземными водами с загрязненных территорий.

Таким образом, несмотря на относительно небольшое количество подземных вод, поступающих в озеро, их влияние на солевой состав и качество озерной воды весьма значительно и сравнимо с воздействием, оказываемым поверхностными водами. Существенную роль в формировании химического состава озерной воды играет поступление элементов, в том числе биогенных, с загрязненным подземным стоком.

Литература

Богачев М.А. и др. Отчет «Поиски и оценка запасов подземных вод для водоснабжения п. Пряжа» (Подсчет запасов по состоянию на 01.01.2004 г.). Петрозаводск, 2004. 119 с. Фонды ИВПС КНЦ РАН.

Бородулина Г.С., Богачев, М.А., Литвиненко А.В., Филатов Н.Н., Регеранд Т.И. Состояние поверхностных и подземных вод и их использование для питьевого водоснабжения // Гидроэкологические проблемы Карелии и использование водных ресурсов. Петрозаводск, 2003. С.153-165.

Голомах Ю.В., Сало Ю.А. Структура многолетнего водного баланса озера Пряжинское. Петрозаводск, 2006. Настоящий сб., с. 45.

Петрова А.В., Лозовик П.А. Химический баланс озера Пряжинское. Петрозаводск, 2006. Настоящий сб., с. 82.

Зекцер И.С. Подземные воды как компонент окружающей среды. М., 2001. 328 с.

ИЗУЧЕНИЕ КИНЕТИКИ ОКИСЛЕНИЯ ЖЕЛЕЗА И МАРГАНЦА В ПРИРОДНЫХ ВОДАХ

А. В. Платонов

Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН

Введение

Естественные концентрации железа и марганца в водах Карелии весьма высоки и приближают эти элементы к макрокомпонентам природных вод. Растворимость соединений железа марганца в воде зависит в том числе от степени их окисления. Железо марганец низких степеней окисления хорошо растворимы. Их окисление сопровождается образованием взвешенных форм с постепенным осаждением и уменьшением общей концентрации металла в воде (Линник, Набиванец, 1986).

Для изучения устойчивости растворенных форм железа и марганца при различных условиях водной среды проводили лабораторные эксперименты. Целью моделирования было примерно воспроизвести условия «отстаивания» природных вод с исходно высоким содержанием железа и марганца (например, при впадении притоков в озеро).

Материалы и методы

Изучение кинетики осаждения железа и марганца в воде проводили на модельных растворах, приготовленных на основе воды из 9 природных водоемов и водотоков Суоярвского, Пряжинского, Прионежского и Медвежьегорского районов Республики Карелия (табл. 1). Выбор водных объектов для эксперимента преследовал цель изучить поведение железа и марганца в воде различных гидрохимических классов. Данные водные объекты охватывают широкий диапазон по цветности (от олигогумусных до полигумусных) и по рН (от слабощелочных до слабокислых).

Таблица 1

Характеристика образцов природной воды до внесения солей металлов

Название объекта	рН	H ₂ CO ₃ ⁻ мг /л	Mn общ, мг/л	Fe общ, мг/л	ПО мгО/л	Цветность. град
оз Сямозеро	6.64	9.16	0.01	0.14	8.17	53.1
протока Вуонтеленьярви	4.99	0.00	0.04	1.17	32.70	402
р. Суоёки	5.96	2.89	0.03	1.35	20.13	242
оз. Лижменское	6.15	2.53	0.02	0.89	4.66	22.47
исток из оз. Кончезеро	7.48	47.3	0.01	0.86	3.63	16.4
р. Шуя	6.57	12.29	0.03	1.21	44.50	343
р. Черная	6.86	32.3	0.04	1.23	20.37	206

Вода из указанных водоемов была помещена в полиэтиленовые сосуды. Далее в каждый сосуд были внесены соли марганца (MnSO₄) и железа (FeSO₄) из расчета 1 мг металла на 1 л воды. Фактически, как показали измерения, в пробы было внесено по 0.85 мг марганца (II) и 1.12 мг/л железа (II) на л воды.

Полученные растворы инкубировали в термостате при температуре 20°C. Отбор проб воды из сосудов (объемом 50 мл) производился с определенными интервалами (на 1-й, 3-й, 6-й, 12-й, 16-й, 22-й, 29-й и 41-й дни). Отобранную воду фильтровали через мембранные фильтры с размером пор 0.45 мкм и определяли в фильтрате концентрацию растворенного марганца или железа.

Уменьшение концентрации растворенного металла рассматривали как меру его осаждения и использовали для построения кинетических кривых.

Результаты и обсуждение

Процесс осаждения растворенного марганца включал фазы медленного («лаг-фаза») и быстрого изменения его концентрации. Для определения порядка реакции и кинетических характеристик были построены зависимости $\ln(C_0/C)$ от времени (в сутках), причем в качестве C₀ брали (эмпирически) концентрацию марганца, после которой наблюдалось ее резкое снижение, то есть изучали вторую

фазу процесса. Графики зависимости в выбранной области описываются линейной зависимостью (рис. 1), что подтверждается результатами дисперсионного анализа. Таким образом, «быстрая» стадия осаждения марганца протекала в соответствии с кинетическим уравнением 1-го порядка.

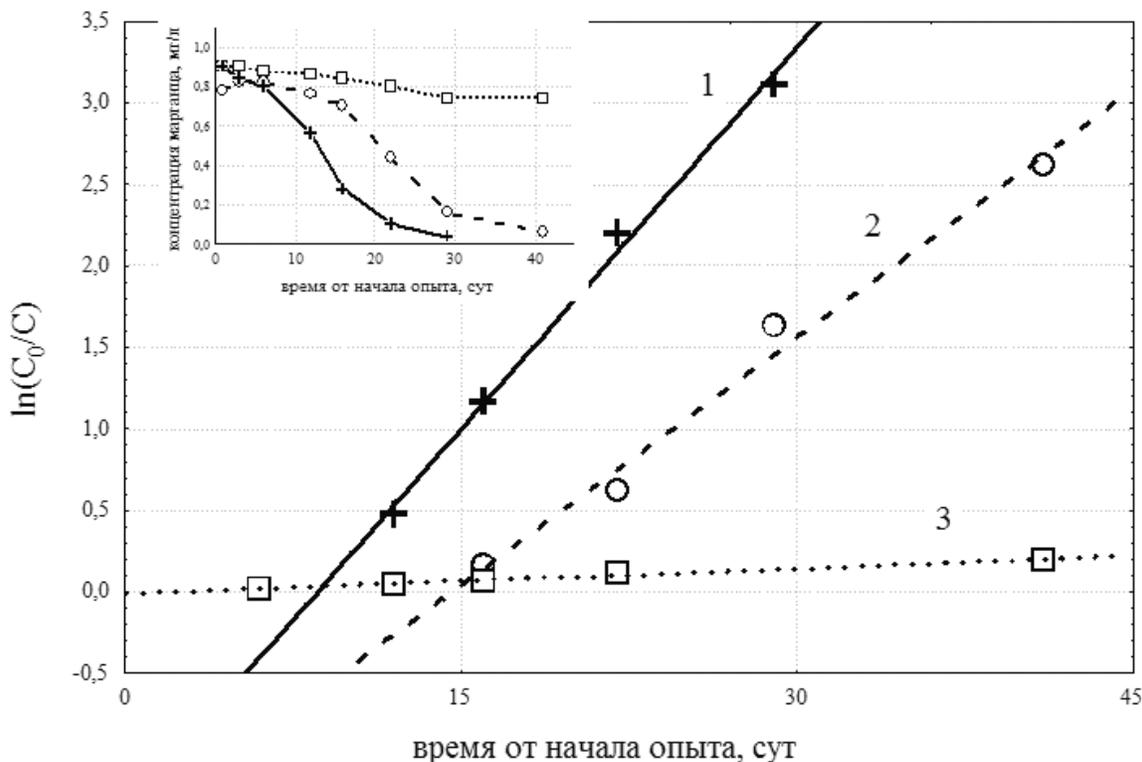


Рис. 1. Осаждение марганца в трех модельных растворах на основе природной воды с различной цветностью (1 – 340 градусов, 2 – 240 градусов, 3 – 16 градусов Pt-Co шкалы)

Были определены константы скорости осаждения марганца в данном опыте (табл. 2). Они составили от 0.001 сут^{-1} до 0.220 сут^{-1} . Таким образом, окисление марганца в природной воде происходит весьма медленно.

Из полученных констант скоростей было вычислено время полупревращения $t_{1/2}$ растворенного марганца для данных проб (см. табл. 1). Как известно, $4t_{1/2}$ соответствует времени почти полного (94%) превращения вещества. Вычисленное нами время полного осаждения марганца для тех проб, для которых полное осаждение наблюдалось, совпадает с практически полученным (с учетом лаг-фазы).

Так как скорость осаждения марганца в различных пробах различна, стоит вопрос о выяснении факторов, влияющих на нее. Прежде всего для выявления соответствующей зависимости необходима мера скорости осаждения марганца. Вычисленные нами константы скорости не вполне подходят для этого, так как учитывают только пологую часть кинетической кривой и не учитывают область «плато». Поступили следующим образом: через кинетические кривые методом наименьших квадратов провели прямые и вычислили тангенс угла наклона этих прямых к оси абсцисс (табл. 2). Это так называемый способ тангенсов, особенно применимый к реакциям с индукционным периодом (Основы аналитической химии, 1999). Корреляционный анализ не связывает наклон однозначно с каким-либо показателем химического состава. Наиболее высокие коэффициенты корреляции тангенса наклона с цветностью и со щелочностью воды.

Следовательно, можно предположить, что в наибольшей степени влияют на скорость осаждения марганца цветность и щелочность воды (в данном случае выражаемая через концентрацию гидрокарбонатов). Наибольшая скорость выпадения марганца наблюдалась в водах с наибольшей цветностью и щелочностью. Вероятный механизм явления – осаждение окрашенного органического веществ-

ва (гумусовых веществ) в процессе опыта и адсорбция MnO_2 на поверхности оседающих частиц. Поверхность органической взвеси с адсорбированным MnO_2 может служить катализатором дальнейшего окисления. Влияние щелочности состоит в ускорении как оседания органического вещества, так и окисления марганца. Как известно, последнее протекает быстрее при повышении pH среды.

Таблица 2

Характеристики скорости осаждения марганца

Водоем	$K, \text{сут}^{-1}$	$t_{1/2}, \text{сут.}$	Лag-период, сут.	tg наклона
оз. Сямозеро	0.190	4	16	0.022
Протока Вуонтеленьярви	0.040	17	1	0.010
р. Суоёки	0.100	7	12	0.021
оз. Лижменское	0.010	69	6	0.008
оз. Кончезеро	0.005	139	1	0.005
р. Шуя	0.160	6	3	0.057
р. Черная	0.220	3	0	0.034

После завершения опыта по осаждению марганца (то есть после полного осаждения растворенной формы) нами был исследован марганец в осадке и взвеси. Для этого в трех пробах с наибольшей цветностью воды было проведено йодометрическое определение марганца высоких степеней окисления и показано, что весь марганец, находившийся в опытных растворах, количественно перешел в высокие степени окисления (вероятно, +4).

По аналогичной методике исследовали устойчивость растворенного железа. Осаждение железа в природных водах протекало иначе, чем марганца (рис. 2). В первый же день опыта концентрация растворенного железа резко снизилась в 2-1.5 раза. Какой-либо лаг-фазы, как при осаждении марганца, не наблюдалось. В дальнейшем в течение опыта (опыт проводили 1 месяц) концентрация растворенного железа мало изменялась или в некоторых случаях даже несколько повысилась. Уровень концентрации, на котором произошла «стабилизация», значительно превышает исходную (природную) концентрацию растворенного железа в воде. Этот уровень различается в воде разного химического состава.

Параллельные абсциссе части кривых зависимости «концентрация растворенного железа – время» были аппроксимированы прямой линией. Пересечение этих аппроксимирующих прямых с осью ординат количественно характеризует концентрацию растворенного железа, способную сравнительно долго (по крайней мере, в течение опыта) существовать в воде данного состава. Эта концентрация коррелирует с цветностью воды (содержанием окрашенного органического вещества) и природным уровнем концентрации железа.

Небольшое возрастание концентрации растворенного железа в конце опыта в трех растворах (с наибольшей цветностью), по-видимому, связано с частичным восстановлением железа при некотором уменьшении концентрации растворенного кислорода (пошедшего на окисление органического вещества и железа).

Таким образом, поведение железа в модельных растворах отличается от поведения марганца. Концентрация железа в первые часы опыта снизилась до некоторого уровня, в несколько раз ниже исходной концентрации в опыте и далее удерживалась на этом уровне. Вероятно, этот уровень определяется способностью природных вод удерживать растворенное железо и зависит от концентрации природных комплексообразователей.

Порядок реакции осаждения растворенного железа в нашем опыте определить не удалось, так как первая фаза процесса протекала очень быстро и изменение концентрации растворенного железа во время этой фазы не было прослежено. Согласно литературным данным, в дистиллированной воде время «полуокисления» двухвалентного железа – около 4 мин. В использованной нами природной воде это время также оказалось очень коротким (по крайней мере, менее 1 сут.). Во второй фазе изменение концентрации растворенного железа практически отсутствовало. Наиболее вероятный механизм процесса следующий: быстрое окисление двухвалентного железа до нерастворимого трехвалентного и выпадение части последнего в осадок. Остальная часть трехвалентного железа

была связана органическими веществами в количестве, пропорциональном концентрации последних в природных водах. Возможно, важную роль имеет и количество незанятых связывающих центров на молекулах органических веществ. Для подтверждения именно такого механизма мы провели множественный регрессионный анализ. В качестве меры способности природной воды удерживать растворенное железо выбрали разницу между исходной концентрацией железа в воде и уровнем, на котором в опыте концентрация стабилизировалась. В качестве независимых переменных использовали цветность воды (то есть концентрацию окрашенных органических веществ) и исходную концентрацию железа как основного вещества, способного занимать связывающие центры на органических молекулах. Результаты анализа подтверждают выдвинутое предположение.

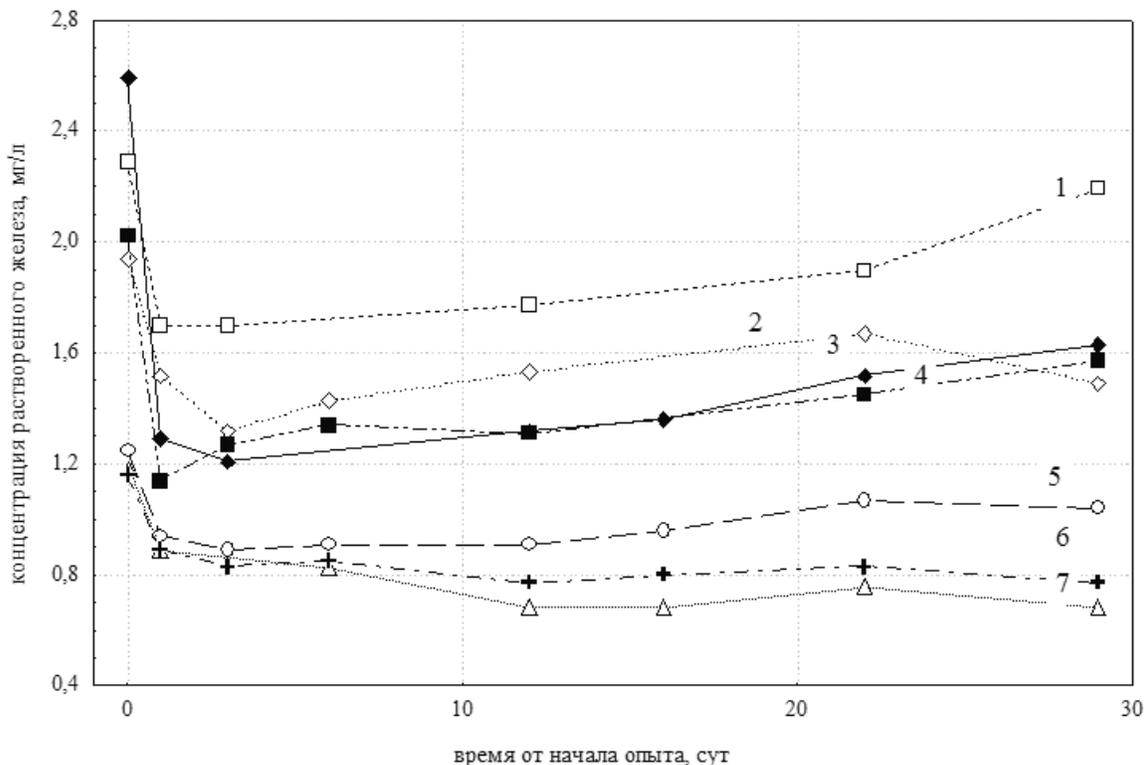


Рис. 2. Устойчивость растворенного железа в модельных растворах

Образцы воды: 1 – оз. Вуонтеленьярви, 2 – оз. Суоярви, 3 – р. Черная, 4 – р. Шуя, 5 – оз. Сямозеро, 6 – оз. Кончезеро, 7 – оз. Лижменское

Исходная концентрации железа и цветность воды действительно позволяют предсказать количество растворенного железа, которое может быть удержано в воде, причем эти показатели входят в регрессионное уравнение с противоположными по знаку коэффициентами.

Таким образом, концентрация растворенного железа, которая может удерживаться природной водой в растворенном виде, зависит прежде всего от концентрации гумусового органического вещества. Важным фактором является уже присутствующее в воде железо, количество которого, возможно, определяет незанятые центры связывания на органических молекулах.

Заключение

Таким образом, в ходе данного исследования определены кинетические характеристики окисления марганца и железа в природной воде в лабораторных условиях.

Осаждение марганца протекает в соответствии с кинетическим уравнением 1-го порядка. Константы скорости в водах разных типов составляют от 0.22 до 0.001 сут⁻¹. Основными факторами водной среды, ускоряющими данный процесс, по-видимому, являются цветность (концентрация гумусовых веществ) и щелочность воды. Для железа кинетические характеристики не были определены из-за особенностей процесса осаждения. После быстрого окисления большей части железа наблюдается стадия стабилизации концентрации на уровне, превосходящем природный.

Литература

Линник П. И., Набиванец Б. И. Формы миграции металлов в пресных поверхностных водах. Л., 1986. 270 с.

Основы аналитической химии. В 2-х кн. Методы химического анализа. Изд. второе, переработанное и дополненное. М., 1999.

ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ КАРЕЛИИ К ЗАКИСЛЕНИЮ ПО БУФЕРНОЙ ЕМКОСТИ И КИСЛОТОНЕЙТРАЛИЗУЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ

И.Ю. Потапова, П.А. Лозовик

Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН

Введение

Проблема закисления поверхностных вод является одной из глобальных проблем современности. В качестве критериев устойчивости водных объектов к закислению используются показатели: рН, щелочность, кислотонейтрализующая способность (ANC), соотношение молярных концентраций анионов $\text{HCO}_3^- / \text{SO}_4^{2-}$ [Моисеенко, 1997], а также буферная емкость (β).

Показатель кислотонейтрализующей способности, введенный Хенриксеном [1992], является наиболее распространенным критерием при оценке закисления вод. Он определяется как разность между основными катионами и анионами сильных кислот с коррекцией ионного состава на морскую составляющую. Фактически ANC отражает запас или дефицит гидрокарбонатов, а в случае с водами, обогащенными гумусовыми кислотами, – их сумму: $\text{ANC} = [\text{HCO}_3^-] + [\text{A}_{\text{орг}}^-] - [\text{H}^+] - [\text{Al}^{3+}]$.

Для поверхностных вод, в которых присутствуют гидрокарбонаты, уменьшение ANC за счет ионов водорода и алюминия будет незначительным, и фактически ANC есть не что иное, как сумма гидрокарбонатов и анионов органических кислот, входящих в состав солей, т.е. она может быть определена по ионному балансу воды [Моисеенко, 1997]: $\text{ANC} = [\text{HCO}_3^-] + [\text{A}_{\text{орг}}^-] = \Sigma[\text{Kat}] - \Sigma[\text{Ан.сильн.к.}]$, где $\Sigma[\text{Kat}]$ – сумма катионов, включая ионы водорода и аммония; $\Sigma[\text{Ан.сильн.к.}]$ – сумма анионов сильных кислот (SO_4^{2-} , Cl^- , NO_3^-).

Вторым критерием оценки устойчивости водных объектов является буферная емкость, которая показывает, как меняется рН воды с поступлением сильных кислот.

В природных водах гумидной зоны буферное действие оказывают две системы – карбонатная и гумусная. Буферное действие первой обусловлено наличием гидрокарбонатов и CO_2 , а второй – органических кислот, прежде всего гуминовых и фульвовых, и их солей. В качестве показателя буферной емкости используется дифференциальное отношение $\beta = \frac{db}{dpH}$, которое отражает изменение рН при добавлении некоторого количества сильной кислоты.

Для расчета буферной емкости было использовано уравнение Ван-Слайка [Бейтс, 1968], полученное для раствора слабой кислоты и ее соли: $\beta = \ln 10 \left\{ \frac{k \cdot C_{\text{общ}} \cdot [\text{H}^+]}{(k + [\text{H}^+])^2} + [\text{H}^+] + [\text{OH}^-] \right\}$, где $[\text{H}^+]$, $[\text{OH}^-]$ – концентрация ионов H^+ , OH^- в исходном буферном растворе (моль-экв/л); $C_{\text{общ}}$ – суммарная концентрация соли и слабой кислоты в растворе (моль-экв/л); k – константа диссоциации слабой кислоты. Для кислых вод необходимо учитывать второе слагаемое, для щелочных – третье. В пределах рН (6 – 8) буферная емкость определяется всецело первым слагаемым в уравнении Ван-Слайка и она может быть определена по формуле: $\beta = 2.3 \frac{C_{\text{общ}} \cdot 10^{\text{pk}-\text{pH}}}{(1 + 10^{\text{pk}-\text{pH}})^2}$.

Материалы и методы

Расчет показателя кислотонейтрализующей способности был осуществлен по ионному балансу воды ANC_1 , а также с учетом поправки на морскую составляющую по отношению ионов в морской воде ANC_2 и в морских аэрозолях ANC_3 . Считается, что хлориды в поверхностных водах имеют морское происхождение за счет атмосферных осадков (табл. 1). Расчет ANC был выполнен на примере водных объектов Калевальского района (табл. 2).

Таблица 1

Весовое отношение ионов в морской воде и морских аэрозолях к хлоридам [Корж, 1991]

	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+	K^+	SO_4^{2-}
Морская вода	0.021	0.067	0.555	0.020	0.140
Морские аэрозоли	0.070	0.119	0.590	0.087	0.284

Таблица 2

ANC по различным методам расчета для озер Калевальского района (по средним значениям ионного состава, n = 27)

Метод расчета	Единица измерения	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+	K^+	SO_4^{2-}	NO_3^-	Cl ⁻	ANC
По ионному балансу (ANC_1)	мг/л	1.8	0.75	1.1	0.27	1.4	0.07	0.68	153
	мкмоль-экв/л	89	62	48	7	29	5	19	
По соотношению ионов в морской воде (ANC_2)	мг/л	1.8	0.70	0.72	0.26	1.3	-	-	158
	мкмоль-экв/л	89	58	31	7	27	-	-	
По соотношению ионов в морских аэрозолях (ANC_3)	мг/л	1.75	0.67	0.70	0.21	1.21	-	-	153
	мкмоль-экв/л	88	55	30	5	25	-	-	

Для определения буферной емкости применялся метод потенциометрического титрования проб воды сильной кислотой. Обработка кривых титрования была осуществлена несколькими методами: по методике А.М. Никанорова, И.А. Лапина [1990], расчетом буферной емкости по зависимости рН – количество сильной кислоты и собственной методике.

А.М. Никаноровым и И.А. Лапиным рассмотрен потенциометрический метод, позволяющий определить буферную емкость и константу диссоциации (k) по зависимости $\frac{[\text{H}^+]}{[\text{H}_0^+] - [\text{H}^+]} = \frac{[\text{H}^+]}{C_6} + \frac{k}{C_6}$, где $[\text{H}_0^+]$ – концентрация ионов добавленной сильной кислоты; $[\text{H}^+]$ – равновесная концентрация ионов водорода после добавления сильной кислоты; C_6 – буферная емкость. Это уравнение получено для растворов, не содержащих свободные слабые кислоты. Для кислых гумусных вод эта зависимость не является линейной, в результате чего оказалось невозможным определить параметры уравнения.

Для оценки буферной емкости был разработан экспериментальный метод, в результате которого получено уравнение, представляющее собой линейную зависимость в координатах $\frac{[H^+]}{m}$ от

$$[H^+]: \frac{[H^+]}{m} = \frac{k}{C_{\text{общ}}} + \frac{[H^+]}{C_{\text{общ}}}, \text{ где } m - \text{ содержание слабых кислот (CO}_2 \text{ и гумусовых) } m = \text{Acid}_{\text{исх}} +$$

+ b – [H⁺]; b – количество добавленной сильной кислоты; [H⁺] – равновесная концентрация ионов водорода после добавления кислоты; C_{общ} – общая концентрация соли и кислоты; k – константа диссоциации. Тангенс угла наклона дает величину $\frac{1}{C_{\text{общ}}}$, а точка пересечения с осью ординат –

свободный член $\frac{k}{C_{\text{общ}}}$, из которых легко найти C_{общ} и k. Используя уравнение Ван-Слайка, можно вычислить буферную емкость воды.

Для исследования были выбраны некоторые водные объекты бассейна р. Шуи, отличающиеся между собой по величине щелочности, цветности, кислотности и рН воды (табл. 3).

Таблица 3

Исходные показатели кислотноосновного равновесия в природных образцах воды

Водный объект	рН	Алк, ммоль-экв/л	Цветность, град.	ANC	Acid
				ммоль-экв/л	
оз. Имадозеро	6,82	0,29	25	0,35	0,10
оз. Пряжинское	6,80	0,23	90	0,39	0,10
оз. Укшезеро	7,16	0,49	25	0,55	0,02
оз. Сямозеро	6,93	0,15	40	0,24	0,05
оз. Исо-Пюхярви	6,11	0,08	120	0,22	0,13
оз. Суоярви	6,08	0,05	130	0,20	0,11
р. Шуя	5,91	0,05	140	0,24	0,14
оз. Лижменское	6,14	0,04	35	0,10	0,09
оз. Салонъярви	5,57	0,02	160	0,15	0,09
оз. Вуонтеленъярви	4,55	< 0,01	180	0,14	0,31

Определение щелочности воды (Алк) осуществляли методом двухточечного титрования (до рН 4.5; 4.2) [Руководство..., 1977]. Потенциометрическое титрование проб сильной кислотой проводили 0.02N-ным раствором соляной кислоты. Определение рН проводили потенциометрически [Руководство..., 1977].

Результаты и обсуждение

Сравнивая расчетные значения ANC₁, ANC₂, ANC₃, можно отметить, что результаты получаются одинаковыми по ионному балансу и по соотношению ионов в морских аэрозолях, а по соотношению ионов в морской воде они немного выше. Это обусловлено тем, что соотношение ионов в морской воде и морских аэрозолях неодинаковое. И более правильным является расчет по составу аэрозолей, а не морской воды. В связи с низким содержанием хлоридов значительной разницы между ANC₂ и ANC₃ не получено. Но для водоемов, находящихся вблизи морских побережий, эта разница будет существенной. Так, для пробы, присланной из Норвегии (в рамках проекта «ICP – Waters»), значения ANC были следующими: ANC₁=151, ANC₂=129, ANC₃=127 мкмоль-экв/л, а содержание хлоридов составляло 3.58 мг/л.

Потенциометрические кривые титрования проб воды сильной кислотой показывают их определенные отличия для различных образцов воды (рис. 1). Так, для вод со щелочностью большей, чем кислотность (Алк > Acid), они линейны, для вод с Acid > Alk имеют выпуклый, а для кислых высокогумусных вод, у которых Acid >> Alk – вогнутый вид. Как следствие этого, буферная ем-

кость воды во вторых образцах на начальном этапе титрования пробы больше, чем в конце титрования. Для третьего типа вод имеем обратную картину, тогда как в первом – буферная емкость постоянна во всем диапазоне титрования пробы. В данном случае мы рассматриваем истинную буферную емкость как дифференциальное отношение $\frac{db}{dpH}$, определяемое графическим путем по танген-

су угла наклона касательной в каждой точке титрования. По этим кривым наглядно видно, что наибольшую буферную емкость имеют высокощелочные и кислые высокогумусные пробы, в сравнении с низкощелочными, что является достаточно очевидным. Графические зависимости

$\frac{[H^+]}{m}$ от $[H^+]$ для большинства образцов воды представляют собой прямые линии (коэффициенты корреляции $> 0,99$), по которым, используя метод наименьших квадратов, рассчитаны постоянные уравнения прямой (рис. 2). По последним значениям вычислены $C_{общ}$ и pK (табл. 4). Статистическая обработка кривых титрования позволяет установить $C_{соли}$, величину k , вычислить исходную концентрацию слабой кислоты и $C_{общ}$, на основании которых можно получить значения буферной емкости воды.

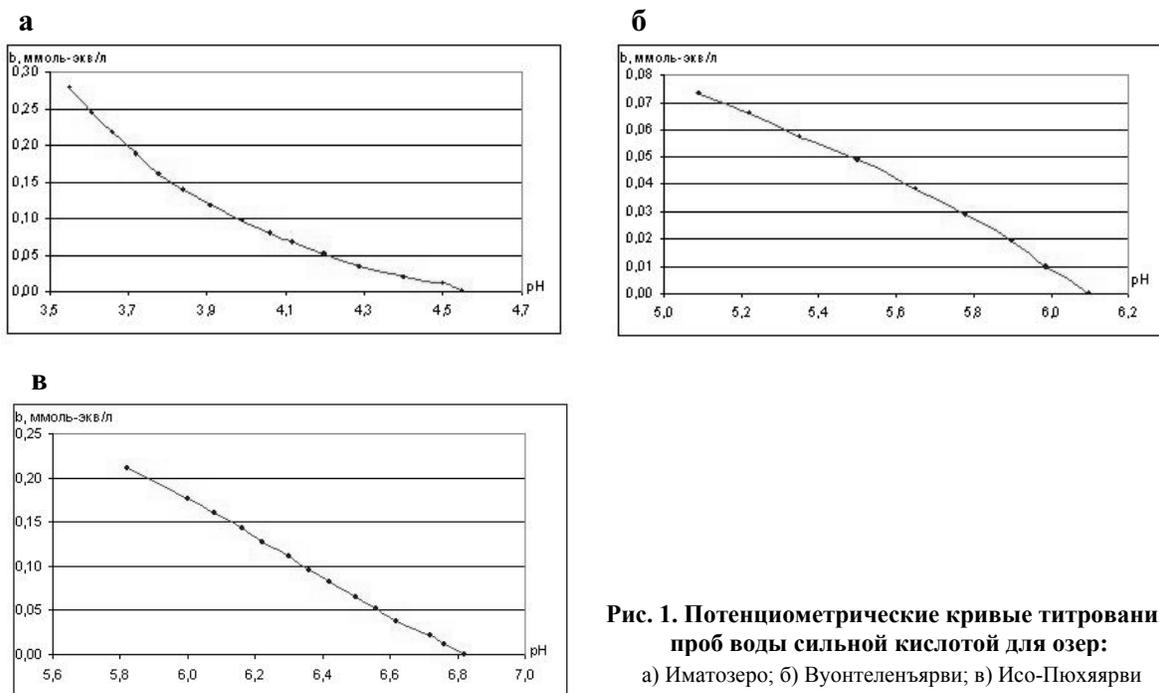


Рис. 1. Потенциметрические кривые титрования проб воды сильной кислотой для озер:
а) Имадозеро; б) Вуонтеленъярви; в) Исо-Пуохяярви

Таблица 4

Расчетные параметры для природных образцов воды

Водный объект	pK	$C_{общ}$	$C_{соли}$	$C_{к-ты}$	$\beta_{Ван-Слайк}$	$\beta_0_{экср}$	$\beta_1_{экср}$
		ммоль-экв/л					
оз. Имадозеро	6,34	0,401	0,302	0,099	0,17	0,22	0,21
оз. Пряжинское	6,40	0,304	0,212	0,092	0,14	0,13	0,16
оз. Укшезеро	6,44	0,570	0,479	0,091	0,18	0,22	0,28
оз. Сямозеро	6,15	0,214	0,157	0,053	0,10	0,12	0,12
оз. Исо-Пуохяярви	6,28	0,202	0,077	0,125	0,11	0,09	0,07
оз. Суоярви	6,30	0,168	0,056	0,112	0,09	0,06	0,06
р. Шуя	6,22	0,197	0,058	0,139	0,10	0,07	0,06
оз. Лижменское	6,52	0,131	0,041	0,090	0,06	0,05	0,04
оз. Салонъярви	5,90	0,118	0,032	0,086	0,07	0,08	0,11
оз. Вуонтеленъярви	5,54	0,307	0,033	0,274	0,12	0,12	0,28

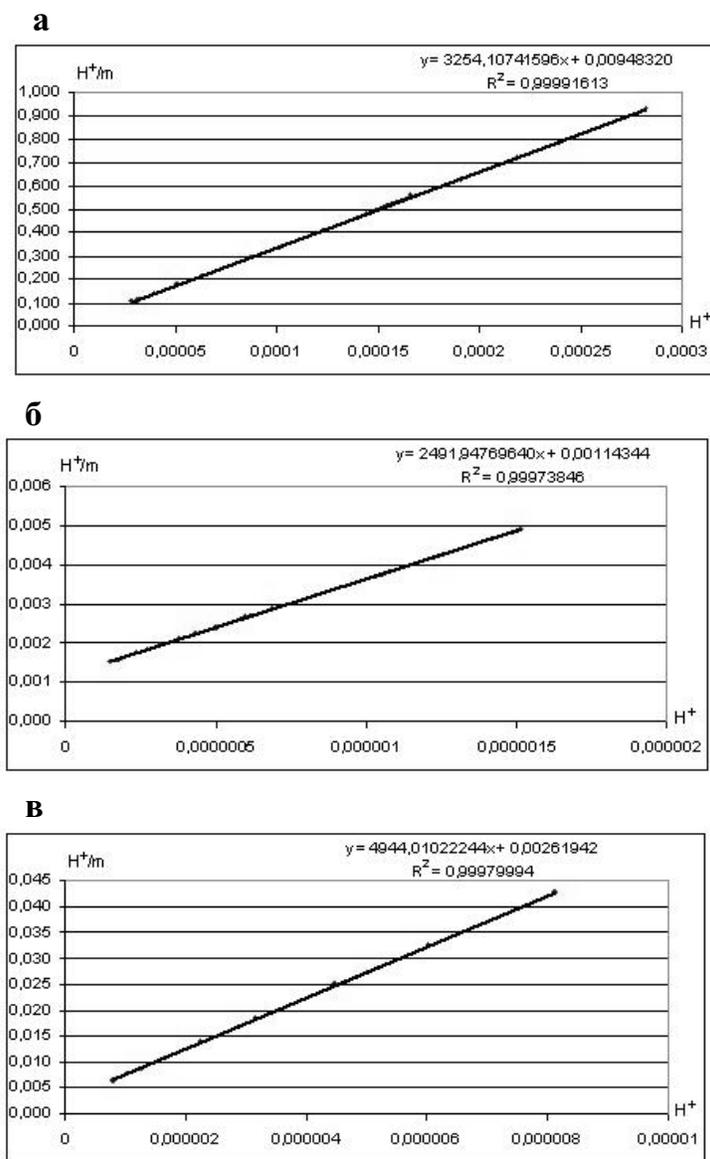


Рис. 2. Зависимость $\frac{[H^+]}{m}$ от $[H^+]$ для воды озер:

а) Иматозеро; б) Вуонтеленъярви; в) Исо-Пюхьярви

Для щелочностных вод фактически $S_{\text{общ}}$ равняется сумме щелочности и кислотности воды, а pK близко к pK угольной кислоты по первой ступени диссоциации. Концентрации соли соответствует щелочности воды, а содержание слабой кислоты – кислотности среды. Полученная закономерность для щелочностных вод согласуется с общим правилом: в первую очередь сильной кислотой титруются анионы более слабых кислот. В нашем случае таковыми являлись гидрокарбонаты, а не анионы гумусовых кислот. В таких растворах буферная емкость воды обусловлена карбонатной системой кислотноосновного равновесия. В случае кислых гумусных вод получаемая по расчету величина $S_{\text{общ}}$ близка к кислотности воды, а концентрация соли слабой кислоты больше, чем щелочность, но значительно меньше содержания анионов гумусовых кислот. Расчетная величина pK больше, чем pK гумусовых кислот, но меньше угольной. В данном случае природную воду можно пред-

ставить как буферную двухкомпонентную систему, содержащую соль и кислоту в растворе, причем кислота имеет промежуточное значение pK между угольной и гумусовыми кислотами. Таким образом, используя метод потенциометрического титрования, можно установить, какой буферной системе отвечает природная вода, имеющая аналогичные с буферным раствором кривые титрования сильной кислотой.

Расчетные значения буферной емкости для щелочностных вод с невысокой цветностью меньше щелочности и ANC. Для высокогумусных вод β превышает щелочность, но меньше показателя ANC. Буферная емкость природных вод растет как с увеличением щелочности, так и гумусности воды. Для кислых гумусных вод существен вклад в буферную емкость свободных ионов водорода. Сравнение расчетного значения β по Ван-Слайку, полученного на основе обработки потенциометрических кривых титрования, с $\beta_{\text{экср}}$, устанавливаемой по тангенсу угла наклона касательной к кривым титрования «b–pH» на начальном их этапе ($\beta_{0\text{экср}}$), показывает почти полное их соответствие.

Буферная емкость по Ван-Слайку для щелочностных вод озер Иматозеро, Пряжинское, Сямозеро и кислых гумусных вод озер Салонъярви, Вуонтеленъярви меньше, чем буферная емкость воды при изменении pH на единицу ($\beta_{1\text{экср}}$), тогда как для низкощелочностных вод имеем обратную картину. В последнем случае низкая концентрация гидрокарбонатов в растворе приводит к быстрому иссяканию щелочного резерва воды при добавлении сильной кислоты.

В кислых гумусных водах повышенная устойчивость к закислению обусловлена их кислым характером. Для этих вод наблюдается существенный вклад второго слагаемого уравнения Ван-Слайка в буферную емкость. В то же время показатель ANC такую закономерность не отражает и в прямом смысле он не может быть показателем кислотонейтрализующей способности воды. Истинную картину устойчивости вод к закислению показывает буферная емкость, а не формальный показатель ANC. Исходя из полученных данных по буферной емкости, можно отметить, что наибольшую устойчивость к закислению имеют водные объекты с повышенной щелочностью и кислые гумусные воды, в то время как низкощелочностные водные объекты характеризуются слабой устойчивостью к закислению.

Выводы

1. На основании теоретических и экспериментальных исследований установлено, что природную воду со сложным составом компонентов кислотноосновного равновесия можно представить двухкомпонентной буферной системой, содержащей соль и кислоту, которая имеет кривые титрования сильной кислотой, аналогичные с исходной водой.

2. Обработка данных по кривым титрования воды сильной кислотой позволяет вычислить концентрацию соли и кислоты в растворе, а также константу диссоциации слабой кислоты. По полученным параметрам возможно определение истинной буферной емкости воды по Ван-Слайку.

3. Установлено, что именно показатель буферной емкости отражает реальную устойчивость вод к закислению в отличие от широко используемого показателя кислотонейтрализующей способности воды.

Литература

- Бейтс Р. Определение pH. Теория и практика. Л., 1968. 398 с.
Моисеенко Т.И. Теоретические основы нормирования антропогенных нагрузок на водоемы субарктики. Апатиты, 1997. 261 с.
Никаноров А.М., Лапин И.А. Оценка буферной емкости пресноводных экосистем к антропогенному закислению // Доклады Академии наук. 1990. Т. 314, № 6. С. 1507-1510.
Руководство по химическому анализу поверхностных вод суши. Л., 1977. 542 с.
Корж В.Д. Геохимия элементного состава гидросферы. М., 1991, с. 243.
Henriksen A., Kamari L., Posch M., Wilander A. Critical loads of acidity: Nordic surface waters // AMBIO, 1992. Vol. 21. P. 356-363.

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ОБРАБОТКИ ГИДРОХИМИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ

М.Б. Зобков, П.А. Лозовик

Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН

Введение

В настоящее время в связи с загрязнением окружающей среды все большую актуальность приобретает вопрос оценки качества природной воды и возможности ее применения для конкретных видов водопользования, а также выявления антропогенного влияния на состояние водной среды. Однако в связи с тем что эта оценка проводится по нескольким десяткам химических параметров, данный анализ представляет собой достаточно трудоемкий и длительный процесс. Поэтому весьма актуальным является создание автоматизированной системы обработки гидрохимической информации, что и было целью данной работы.

Материалы и методы

Автоматизированная система обработки гидрохимической информации состоит из программы управления и базы данных в формате Paradox. Программа управления написана на объектно - ориентированном языке программирования высокого уровня Delphi, являющимся одним из наиболее распространенных средств разработки прикладных программ для операционной системы Windows. Выбор именно этого средства разработки компании Borland обусловлен его максимальным удобством для использования в операционной системе Windows, что позволяет быстро и надежно создавать новые и вносить изменения в уже существующие проекты. Он также предоставляет широкие возможности разработки систем управления базами данных, их проектировки и создания [5].

Необходимо отметить, что по Карельскому гидрографическому региону в лаборатории гидрохимии и гидрогеологии ИВПС КарНЦ РАН был накоплен огромный массив данных за многолетний период, часть из которых находилась на цифровых носителях в базах данных формата Paradox, на основе которых и разрабатывалась рассматриваемая здесь система. В процессе работы для достижения поставленной цели структура баз данных была несколько изменена и расширена, и в настоящий момент в нее включено несколько взаимосвязанных таблиц. Основная таблица, являющаяся источником данных, содержит всю информацию о пробах воды (название водоема, бассейна к которому он принадлежит, дата, место отбора, физико-химические и химические показатели воды). Каждая запись исходной таблицы содержит 56 различных полей. Результаты вычислений хранятся в четырех расчетных таблицах и объединены по соответствующим группам веществ – ионному составу, биогенным элементам, органическому веществу (ОВ) и загрязняющим компонентам. Эти таблицы содержат от 7 до 30 параметров каждая, что в общей сложности составляет 57 полей. Все они объединены в программе управления базой данных с помощью SQL-запросов по индивидуальному номеру записи, в результате чего в программе создается виртуальная таблица, содержащая как исходные, так и расчетные параметры. На рис.1 представлена принципиальная схема организации данных. Для проведения расчетов в программе используются две справочные таблицы. В первой содержится информация о молекулярном весе элементов и химических соединений и их подвижности для расчета теоретической электропроводности воды, а во второй – о загрязняющих веществах: российские и региональные значения ПДК, их краткое описание.

Такая нестандартная структура организации базы данных была выбрана в связи с большим количеством параметров расчета и достаточно длительным временем обработки каждой записи.

Автоматизированная система обработки гидрохимической информации позволяет выполнять классификацию водных объектов по щелочности, ионному составу (классификация Алекина), гумусности и уровню трофии. Программа также позволяет производить все необходимые для дальнейшего анализа проб расчеты по ионному составу, биогенным элементам, органическому веществу, включая его элементный состав, а также по загрязняющим веществам, микроэлементам и газовому составу воды.

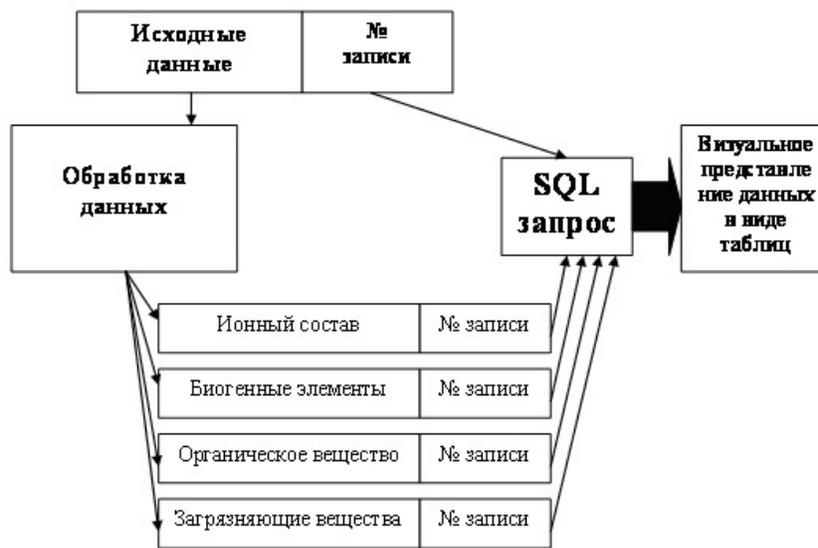


Рис. 1. Принципиальная схема организации данных

Результаты и обсуждение

В качестве исходных используются данные химического анализа проб воды, такие как концентрации главных ионов, растворенных газов, биогенных элементов, загрязняющих веществ, косвенные показатели содержания ОВ (цветность, перманганатная и бихроматная окисляемости) и другие физико-химические показатели. Результатами основных расчетов, выполняемых программой в автоматическом режиме, являются такие важные гидрохимические характеристики, как формула Курлова, классификация воды по преобладающим ионам (Алекина), класс щелочности, трюфности, гумусности, брутто-формула ОВ, индекс загрязненности вод (ИЗВ) и другие важные показатели.

Программа позволяет провести оценку загрязненности водного объекта на основе ИЗВ в соответствии с методическими рекомендациями по комплексной оценке качества поверхностных вод по гидрохимическим показателям Госкомгидромета [3]. Расчет ИЗВ может осуществляться на основе региональных ПДК, учитывающих геохимический фон элемента и его токсичность для гидробионтов по критерию ПДК для рыбохозяйственных водоемов [2]. Для этого экспертно проводится выбор приоритетных загрязняющих веществ, характерных для точечных источников загрязнения вблизи исследуемого водного объекта.

Следующей особенностью системы является возможность построения графиков зависимостей между числовыми параметрами проб, их аппроксимация линейной, экспоненциальной или логарифмической функцией, а также автоматизированный поиск возможных корреляционных зависимостей. Данная особенность может быть полезна при поиске взаимосвязей между параметрами, такими как динамика изменения концентраций каких-либо веществ в водоеме, поиск комплексов веществ имеющих сходный генезис и т.д. Например, на рис. 2 представлена временная динамика изменения концентрации ионов NO_3^- в водах хвостохранилища Костомукшского ГОКа в период с 1993 по 2002 гг. Рис. 3 представляет зависимость концентрации ионов Ca^{++} от щелочности воды, характерной для поверхностных вод Карелии, что обусловлено их выщелачиванием из карбонатных и силикатных пород.

Другим важным аспектом автоматизации обработки информации является усреднение данных единичных проб по объекту (по сезонам или годам) и сохранение этой информации в исходной базе, что позволяет выполнять по ним все вышеперечисленные типовые расчеты. Результаты вычислений объединены по соответствующим им группам и выводятся в виде отчетов, которые могут быть распечатаны или импортированы в формат rtf, что позволяет их просматривать в редакторе Microsoft Word, изменять или использовать в дальнейшей работе.

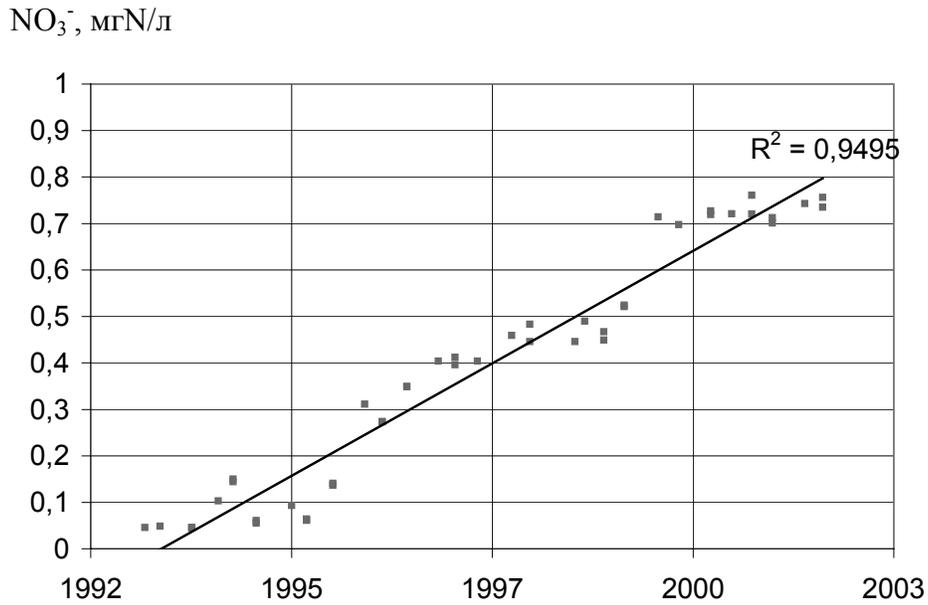


Рис. 2. Многолетняя динамика содержания NO₃ в водах хвостохранилища

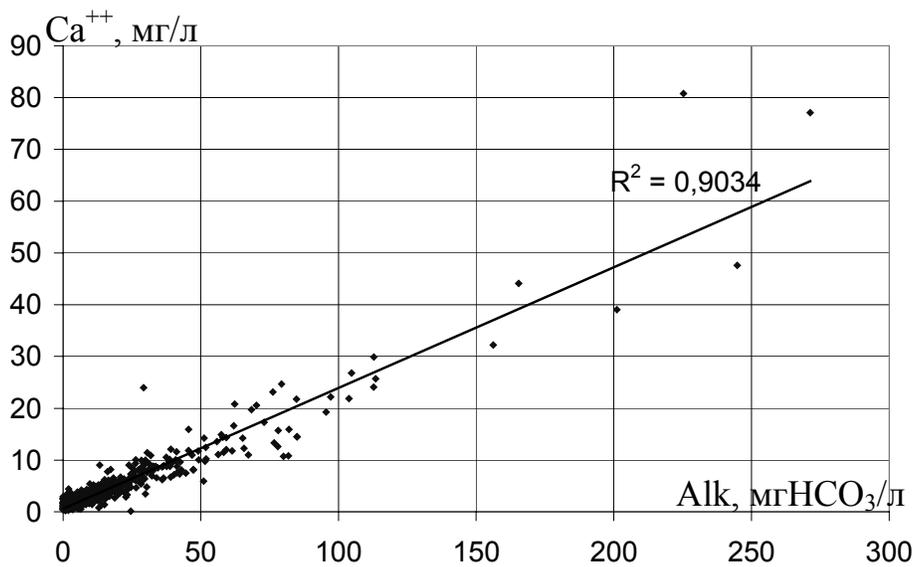


Рис. 3. Зависимость концентрации Ca⁺⁺ от щелочности для выборки данных по объектам Карелии

В программе реализована возможность экспорта любых исходных и расчетных данных в формат Microsoft Excel, что предоставляет дополнительные возможности по обработке и представлению имеющейся информации пакетом программ Microsoft Office или другими приложениями, распознающими данный формат. Данные могут быть также экспортированы в ГИС Map Info для построения тематических карт (рис.4) [1].

Система предоставляет возможность ввода новой информации вручную или посредством ее экспорта из Microsoft Excel. Находящуюся в базе данных исходную информацию можно распечатать по соответствующим группам параметров в виде отчетов. Эта возможность была апробирована и успешно применена при подготовке отчета по мониторингу за 2005 год [4].

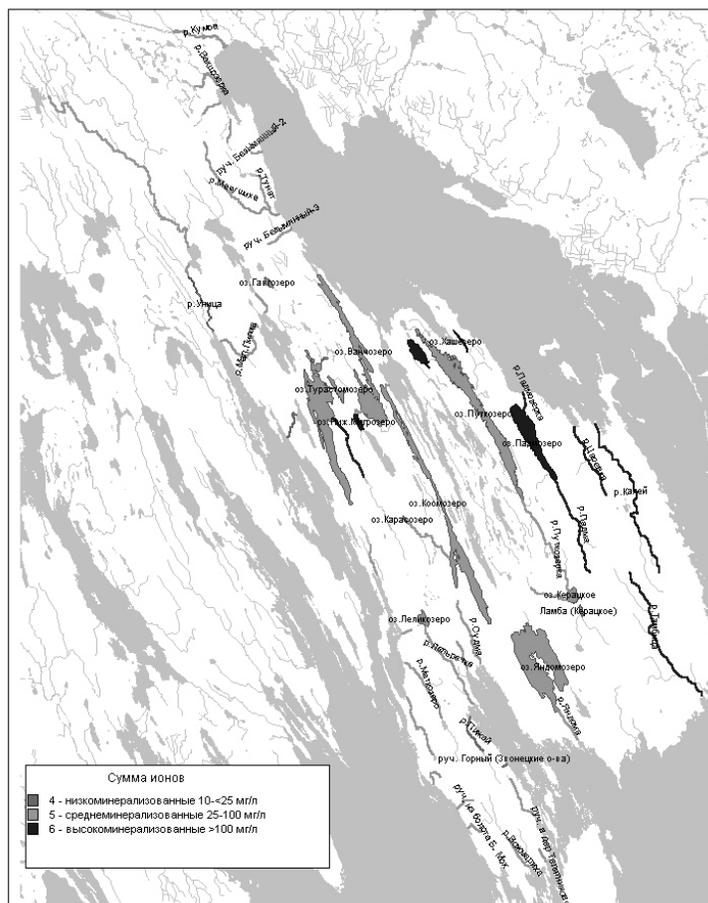


Рис. 4. Минерализация поверхностных вод Заонежья

Заключение

В настоящий момент система обработки гидрохимической информации не является законченным программным продуктом и находится в состоянии постоянной доработки. Основные изменения будут проведены в области оценки степени загрязнения водного объекта и некоторых методах вычислений. Несмотря на это система является работоспособной и позволяет значительно упростить и ускорить процесс обработки гидрохимической информации, и она успешно применяется для решений различных задач в лаборатории гидрохимии и гидрогеологии ИВПС КарНЦ РАН.

Литература

- Лозовик П.А., Басов М.И., Зобков М.Б. Поверхностные воды Заонежского полуострова. Химический состав воды // Экологические проблемы освоения месторождения Средняя Падма. Петрозаводск, 2005. С. 35-47.
- Лозовик П.А., Платонов А.В. Определение региональных предельно допустимых концентраций загрязняющих веществ на примере Карельского гидрографического района // Геоэкология. 2005. № 6. С. 527-532.
- Методические рекомендации по формализованной комплексной оценке качества поверхностных и морских вод по гидрохимическим показателям. М., 1988.
- Отчет «Ведение государственного мониторинга поверхностных водных объектов на территории Республики Карелия в 2005 г.» Петрозаводск, 2005. 55 с.
- Тейксейра, Стив, Пачеко, Ксавье. Delphi 5 руководство разработчика. Том 1. Основные методы и технологии программирования. Уч. пос. – М., 2000. 832 с.

Часть 4

ГИДРОБИОЛОГИЯ



ХАРАКТЕРИСТИКА ВИДОВОГО СОСТАВА РЫБ НЕКОТОРЫХ ВОДОЕМОВ КАРЕЛИИ В СРАВНИТЕЛЬНОМ АСПЕКТЕ

А.П. Георгиев, М.С. Потахин

Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН

Введение

Любые сообщества организмов или тем более экосистемы имеют внутреннюю структуру, которая может быть охарактеризована числом входящих в них видов организмов, их численностью, степенью их доминирования, различного вида взаимоотношениями, особенно трофическими, конкурентными, симбиотическими и т.п. Структура экосистем и сообществ организмов может меняться во времени и пространстве и под влиянием различных факторов среды, в том числе и антропогенных. Видовое разнообразие сообществ животных тем больше, чем обширнее диапазон доступных ресурсов. Количество видов связано с шириной ниш отдельных видов и степенью перекрывания ниш. Вместе с тем диапазон доступных ресурсов может быть использован большим числом видов в том случае, если виды более специализированы в отношении своих потребностей. Видовое же разнообразие в ихтиоценозах обуславливается в основном параметрами ландшафтов (Жаков, 1984). Когда структура сообщества животных характеризуется просто числом входящих видов и не принимаются во внимание количественные соотношения между ними, теряется информация о редкости одних видов и обычности других. Поэтому видовой состав лишь приближенно описывает структуру сообществ.

Материалы и методы

Нами была исследована ихтиофауна 30 разнотипных озер Карелии на основании собственных и литературных данных. Водоемы можно разделить на *северные* (севернее 65,5°с.ш.) — Пяозеро, Топозеро (водосбор р. Ковда); *южные* (южнее 63,0°с.ш.) — Вендюрское, Уросозеро, Риндозеро (р. Суна), Салонъярви, Суоярви, Шотозеро, Вагатозеро, Пертозеро, Кончезеро, Крошнозеро, Святозеро, Миккельское, Сямозеро (р. Шуя), Водлозеро (р. Водла), Вохтозеро, Ведлозеро (р. Видлица), Янисъярви (р. Янисйоки); *центральные* (между 63,0 и 65,5°с.ш.) — Куйто (Верхнее, Среднее и Нижнее), Каменное, Кимасозеро, Ньюозеро (р. Кемь), Выгозеро, Сегозеро, Ондозеро (Беломорско-Балтийский канал), Пулозеро, Сумозеро (р. Сума).

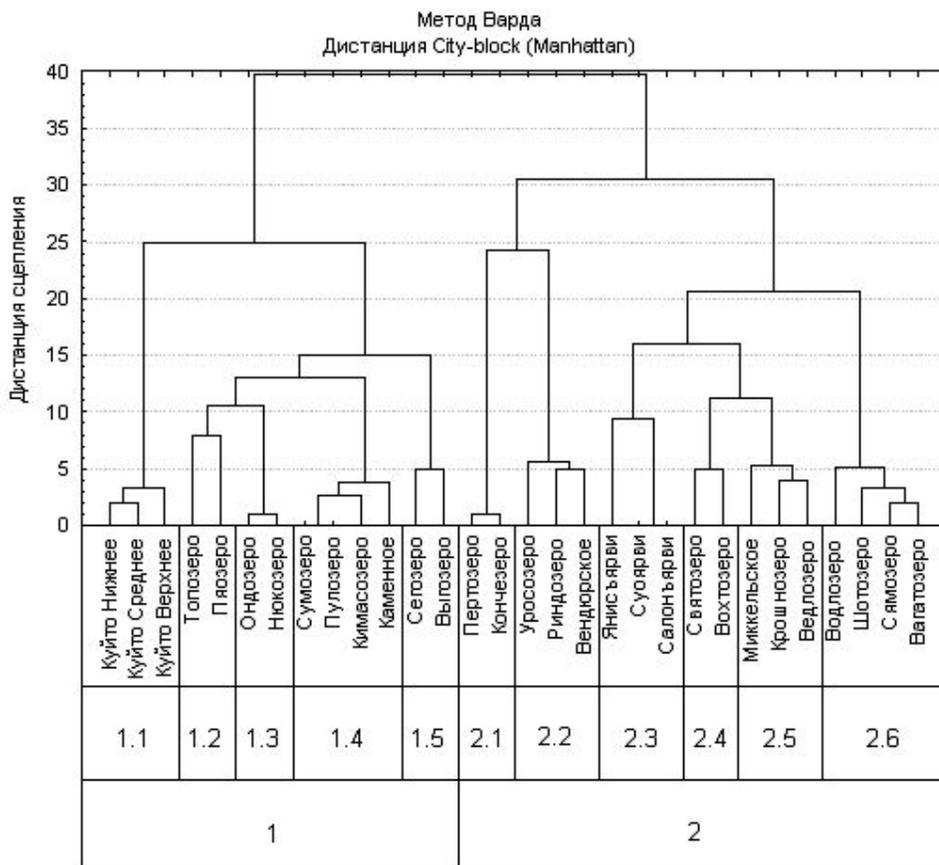
Ихтиофауна изучаемых озер представлена 30 видами рыб (относящихся к 13 семействам), ряд из которых, например, паляя, форель, сиги, ряпушка и др., могут иметь экологические формы. Названия семейств, родов и видов даны на основе аннотированного каталога круглоротых и рыб континентальных вод России (1998). В список видов включены также интродуцированные рыбы (к примеру, пелядь). Фаунистические комплексы даны согласно классификации Г.В. Никольского (1980), все обитающие в представленных озерах виды рыб являются представителями 7 фаунистических комплексов.

Анализ схожести ихтиофаун исследованных водоемов проводился по принципу присутствия или отсутствия вида: есть — 1; нет — 0, с использованием методов кластер-анализа (метод Варда, манхэттенская метрика).

Результаты и обсуждение

Как видим (см. рис.), в результате кластер-анализа выявлены две крупные группы: водоемы, принадлежащие бассейну Белого моря (1), — озера северной и центральной Карелии и водоемы, принадлежащие бассейну Балтийского моря (2), — озера южной Карелии. В первой группе преобладают представители арктического (паляя *Salvelinus alpinus lepechini* Gmelin, сиг *Coregonus*

lavaretus L.) и бореального предгорного (атлантический лосось *Salmo salar m. sebago* Girard, озерная форель (кумжа) *Salmo trutta m. lacustris* L.) фаунистических комплексов. Во второй группе представители древнего верхнетретичного (судак *Stizostedion lucioperca* L.), надгорноазиатского (шиповка обыкновенная *Cobitus taenia* L.) и понтокаспийского (красноперка *Scardinius erythrophthalmus* L., густера *Blicca bjoerkna* L.) фаунистических комплексов. Таким образом, мы еще раз убеждаемся, что при продвижении с севера на юг количество теплолюбивых рыб увеличивается, даже при сравнительно незначительной меридиональной протяженности территории Карелии (около 670 км).



**Дендрограмма классификации изучаемых озер
на основании общности и различия состава их рыбного населения**

Каждая группа была разделена на подгруппы (дистанция сцепления менее 10), в первой группе было выделено 5, а во второй – 6 подгрупп (см. рис.). Подгруппы сформировались по бассейновому принципу и состоят, за редким исключением, из водоемов, входящих в одну озерно-речную систему, характеризующихся сходными абиотическими факторами среды (гидрологические, термические, гидрохимические и др. характеристики). Отдельные исключения можно объяснить интродукционной деятельностью человека.

Различия видового состава рыб между подгруппами достаточно значительные. К примеру, ихтиофауна подгруппы 1.4 отличается от подгруппы 1.5 присутствием в последней сига-муксуна *Coregonus muksun* Pallas и сига Вартманна *Coregonus wartmanni* Bloch, отсутствием голяна *Phoxinus phoxinus* L. и корюшки *Osmerus eperlanus* L. Ихтиофауну подгруппы 2.1 отличает от под-

группы 2.2 присутствие сига обыкновенного *Coregonus lavaretus* L., шиповки обыкновенной *Cobitis taenia* L., гольца усатого *Barbatula barbatula* L., красноперки *Scardinius erythrophthalmus* L., корюшки *Osmerus eperlanus* L., колюшки девятииглой *Pungitius pungitius* L. и отсутствием рогатки онежской *Trigloopsis quadricornis* L., верховки *Leucaspis dilinetus* Heckel.

Основные различия в ихтиосоставе внутри подгрупп незначительные и заключаются в присутствии или отсутствии 1-2 видов. Так, в подгруппе 2.1 основное отличие состоит в том, что в оз. Кончезеро присутствует лещ *Abramis brama* L.; или в подгруппе 2.3 – в оз. Янисъярви присутствует ручьевая форель *Salmo trutta m. fario* L., которая была интродуцирована человеком и т.д.

Заключение

Таким образом, основными причинами формирования групп водоемов по составу рыбного населения являются физико-географическое положение — принадлежность к глобальным бассейнам (Белого и Балтийского морей), сопряженная с широтной зональностью, и принадлежность к локальным озерно-речным системам (секторность), а также хозяйственная деятельность человека (интродукция). На основании полученных результатов можно сделать вывод, что кластер-анализ можно использовать для нахождения близких по условиям обитания озер с целью возможной интродукции тех или иных видов рыб.

Литература

- Аннотированный каталог круглоротых и рыб континентальных вод России / Под. ред. Ю.С. Решетникова. М., 1998. 219 с.
- Жаков Л.А. Формирование и структура рыбного населения озер Северо-Запада СССР. М., 1984. 144 с.
- Никольский Г.В. Структура вида и закономерности изменчивости рыб. М., 1980. 335 с.

**ВОДНАЯ СРЕДА КАРЕЛИИ:
ИССЛЕДОВАНИЕ, ИСПОЛЬЗОВАНИЕ, ОХРАНА**

**МАТЕРИАЛЫ
II республиканской школы-конференции молодых ученых
20 – 21.02.2006**

*Печатается по решению Ученого совета ИВПС КарНЦ РАН
и редакционно-издательского совета ГОУ ВПО «КГПУ»*

Ответственная за выпуск *Т.И. Регеранд*
Оформление *М.С. Богданова*

Серия ИД. Изд. лиц. № 00041 от 30.08.99 г. Сдано в печать 14.02.06. Формат 60x84¹/₈. Гарнитура Times.
Печать офсетная. Уч.-изд. л. 11,5. Усл. печ. л. 12,6. Тираж 150 экз. Изд. № 22.

Карельский научный центр РАН
Редакционно-издательский отдел
Петрозаводск, пр. А. Невского, 50

Отпечатано в ЗАО «Копистар»