



МОРЯ, ОЗЕРА И ТРАНСГРАНИЧНЫЕ ВОДОСБОРЫ РОССИИ, ФИНЛЯНДИИ И ЭСТОНИИ

Лекции научных сотрудников,
преподавателей и молодых ученых для вузов

(по докладам
Международной молодежной
школы-конференции)



Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН
Научно-образовательный центр ИВПС КарНЦ РАН
Петрозаводский государственный университет
Отделение РГО в Республике Карелия

МОРЯ, ОЗЕРА И ТРАНСГРАНИЧНЫЕ ВОДОСБОРЫ РОССИИ, ФИНЛЯНДИИ И ЭСТОНИИ

ЛЕКЦИИ НАУЧНЫХ СОТРУДНИКОВ, ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ
И МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ ДЛЯ ВУЗОВ

(по докладам Международной молодежной школы-конференции)

ПЕТРОЗАВОДСК
2015

УДК 556.5 (470)(480)(474.2)
ББК 26.22 (2Рос)(4Фин)(4Эст)
М79

Редакционная коллегия:

Н. Н. Филатов, член-корреспондент РАН
Д. А. Субетто, докт. геогр. наук
Т. И. Регеранд, канд. биол. наук

Рецензенты:

Р. У. Высоцкая, докт. биол. наук, Институт биологии КарНЦ РАН, Петрозаводск
Г. Н. Панин, докт. г.-м. наук, профессор, Институт водных проблем РАН, Москва

М79 **Моря, озера и трансграничные водосборы России, Финляндии и Эстонии.** Лекции научных сотрудников, преподавателей и молодых ученых для вузов (по докладам Международной молодежной школы-конференции). Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2015. 222 с.

ISBN 978-5-9274-0677-7

Предлагаемый сборник лекций ведущих специалистов, научных сотрудников, молодых ученых и преподавателей университетов подготовлен по материалам, представленным на Международной школе-конференции «Моря, озера и трансграничные водосборы России, Финляндии и Эстонии», проходившей в Петрозаводске 11–13 ноября 2014 г. Лекции объединены в два раздела: часть 1 «Современные проблемы лимнологии и океанологии» и часть 2 «Палеолимнология, палеоклиматология, историческая география, климат». Инновационным моментом издания является попытка представить современные результаты научных исследований как ведущих научных сотрудников, так и молодых ученых совместно с фундаментальными данными по каждой теме. Молодые ученые получили возможность изложить свои научные достижения в виде лекций, основываясь на опыте докторов наук и преподавателей ведущих университетов России, а также зарубежных коллег.

Сборник лекций может быть использован в качестве дополнительного учебного пособия для аспирантов, студентов вузов, учащихся старших классов средних школ, абитуриентов, специалистов, а также в широких научно-познавательных целях.

УДК 556.5 (470)(480)(474.2)
ББК 26.22 (2Рос)(4Фин)(4Эст)

Подготовка и проведение Международной школы-конференции «Моря, озера и трансграничные водосборы России, Финляндии и Эстонии» и издание материалов осуществлялись при финансовой поддержке ФАНО России в рамках реализации мероприятий по поддержке молодых ученых в 2014 г. с учетом финансирования по целевой программе Президиума Российской академии наук «Поддержка молодых ученых».

ISBN 978-5-9274-0677-7

© Карельский научный центр РАН, 2015
© Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН, 2015
© Петрозаводский государственный университет, 2015
© Отделение РГО в Республике Карелия, 2015

ПРЕДИСЛОВИЕ

Настоящий сборник лекций ведущих специалистов, научных сотрудников, молодых ученых и преподавателей университетов подготовлен по материалам, представленным на Международной школе-конференции «Моря, озера и трансграничные водосборы России, Финляндии и Эстонии», проходившей в Петрозаводске 11–13 ноября 2014 г.

Тема конференции была выбрана не случайно, поскольку проблема гармонизации подходов к исследованию, оценке состояния, совместного использования и охраны трансграничных водоемов и их водосборов для России и стран Европейского Союза (Финляндии, Эстонии) является весьма актуальной. Примером таких водных объектов являются крупнейшие озера Европы – Ладожское и Онежское, Псковско-Чудское озеро, озеро Пюхьярви и ряд других пограничных озер и рек, находящихся на водосборе Балтийского и Белого морей, имеющих большое значение для устойчивого экономического развития указанных стран. Россия имеет трансграничные водные объекты с 14 соседними государствами, в процессе совместного использования которых возникает множество разнообразных проблем, имеющих как природоохранное, так и политическое значение.

Эффективное решение этих проблем зависит от профессиональной подготовки будущих специалистов, начиная с первых курсов высших учебных заведений. Именно этот ключевой момент требует активного целенаправленного сотрудничества науки и высшего образования, с учетом международного аспекта проблемы.

Важной задачей высококвалифицированных специалистов является выработка совместных подходов по многофункциональному использованию трансграничных водоемов, в том числе как объектов энергетики, источников водоснабжения, резервуаров приема сточных вод, мест для рекреации и др. В настоящее время особую озабоченность вызывает процесс восстановления водных систем. В связи с этим вопросы интеркалибрации методов определения параметров качества поверхностных и подземных вод, методик проведения мониторинга, прогнозирования и охраны трансграничных водных систем в рамках законодательства Российской Федерации (Водный кодекс РФ от 3 июня 2006 г. № 74-ФЗ) и стран Европейского Союза (Рамочная водная Директива Европейского Парламента и Совета Европейского Союза No. 2000/60/ЕС от 23 октября 2000 г.) становятся особенно актуальными.

Управление водными и другими ресурсами трансграничных водных объектов должно быть основано на скоординированных действиях, обеспечивающих максимум взаимных экономических выгод, не наносящих при этом ущерба экосистемам, и основанных на современных инновационных подходах для решения региональных, национальных, международных задач. Освоение с последующим внедрением современных управленческих решений на базе инновационных технологий возможно при высоком образовательном уровне молодых специалистов, который достигается при постоянном диалоге науки и образования, обмене опытом на семинарах, школах и конференциях, при проведении совместных экспедиций и полевых практик.

Международная школа-конференция проходила в Петрозаводске 11–13 ноября 2014 г. на базе горно-геологического факультета ПетрГУ. В ней участвовали научные и образовательные учреждения Республики Карелия, такие как ИВПС КарНЦ РАН и НОЦ ИВПС КарНЦ РАН «Водные объекты Карелии и методы их исследования», Петрозаводский государственный университет (ПетрГУ), Институт геологии КарНЦ РАН, Отделение РГО в Республике Карелия, ведущие научные и образовательные организации России, такие как МГУ им. Ломоносова, Российский государственный гидрометеорологический университет (Санкт-Петербург), Российский государственный педагогический университет им. Герцена (Санкт-Петербург), Институт водных проблем РАН (Москва), Институт озераведения (Санкт-Петербург), Институт океанологии РАН (Москва), совместно с коллегами из университетов соседних европейских стран, имеющих общие трансграничные объекты с Россией, таких как Университет г. Хельсинки (Финляндия) и Университет г. Тарту (Эстония).

Международная школа-конференция «Моря, озера и трансграничные водосборы России, Финляндии и Эстонии» является продолжением начатого в 2007 г. сотрудничества, в рамках которого проводились совместные совещания, школы, экспедиции.

В 2014 г. Международная школа-конференция проводилась при поддержке Федерального агентства научных организаций РФ (ФАНО), проекта ПСР ПетрГУ «Совершенствование деятельности

в области преподавания географии в вузе и в школе на основе внедрения новых информационных технологий», а также в рамках проектов РНФ «Озера России – диагноз и прогноз состояния экосистем при климатических и антропогенных воздействиях» и «Онежское озеро и его водосбор: история геологического развития, освоение человеком и современное состояние». В рамках этих проектов РНФ были заслушаны доклады руководителей проектов чл.-корр. РАН Н. Н. Филатова и д. г. н. Д. А. Субетто. С лекциями по широкому спектру проблем озер, морей, водосборов, трансграничных водоемов выступили ведущие специалисты океанологи, гидрологи, климатологи, лимнологи, биологи, гидрохимики, геофизики, а также аспиранты и студенты из указанных выше институтов и университетов. Была организована работа круглых столов по актуальным проблемам наук о Земле и организованы экскурсии.

Цель школы-конференции – подготовка талантливой молодежи для работы в сфере науки и образования в тесном сотрудничестве с отечественными и зарубежными учреждениями высшего образования и научными институтами. В работе приняло участие около 100 человек, из них 70 студентов и аспирантов, молодых ученых.

Международный компонент мероприятия был представлен как непосредственным участием коллег из Эстонии, так и презентацией профессора университета г. Хельсинки в режиме удаленного доступа через Интернет с использованием программного обеспечения Skype.

Программа мероприятия включала два крупных теоретических раздела: I день – **СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЛИМНОЛОГИИ И ОКЕАНОЛОГИИ** и II день – **ПАЛЕОЛИМНОЛОГИЯ, ПАЛЕОКЛИМАТОЛОГИЯ, ИСТОРИЧЕСКАЯ ГЕОГРАФИЯ, КЛИМАТ**, в каждом из которых было представлено по 7–8 пленарных докладов/лекций ведущих ученых и по 7–8 презентаций аспирантов и молодых ученых.

Проведены два заседания в формате «Научный клуб» со свободными дискуссиями на темы: 1 заседание «Молодые ученые – проблемы и перспективы» (защита дипломов и диссертаций, подготовка публикаций) и 2 заседание «Дружба науки и высшего образования» (проведение практик и подготовка учебных материалов).

В завершение программы школы-конференции был представлен день «Научных экскурсий по интересам»:

- водоочистные сооружения Петрозаводских коммунальных сетей (ПКС),
- метеостанция Карельского центра по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (филиал Федерального государственного бюджетного учреждения «Северо-Западное управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды»),
- вычислительный кластер ИПМИ КарНЦ РАН.

Все экскурсии проведены с большим познавательным эффектом, в том числе с учетом профориентационных возможностей выпускников географов, геофизиков, геологов ПетрГУ.

Можем с удовлетворением отметить, что прошедшая школа-конференция способствовала продолжению постоянного диалога и сотрудничества между всеми заинтересованными сторонами для решения возникающих проблем трансграничных вод. Совершенно очевидно, что, как отмечал 7-й Генеральный секретарь Организации Объединенных Наций (1997–2006) Кофи Аннан, водные проблемы могут быть не только причиной напряженности, но также и катализатором сотрудничества.

ИВПС КарНЦ и ПетрГУ выражают благодарность Компании «Петрозаводские коммунальные системы», Карельскому центру по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, Институту прикладных математических исследований КарНЦ РАН за проведенные экскурсии для участников мероприятия, а также горно-геологическому факультету ПетрГУ, на базе которого в течение двух дней были заслушаны доклады и организованы дискуссии школы-семинара.

Н. Н. Филатов, Т. И. Регеранд

Часть 2

***ПАЛЕОЛИМНОЛОГИЯ, ПАЛЕОКЛИМАТОЛОГИЯ,
ИСТОРИЧЕСКАЯ ГЕОГРАФИЯ, КЛИМАТ***



ДЕНДРОИНДИКАЦИЯ ИЗМЕНЕНИЯ УРОВНЯ ОНЕЖСКОГО ОЗЕРА

С. П. Гриппа

Петрозаводский государственный университет

Материал может использоваться в соответствии с Учебным планом Основной образовательной программы высшего профессионального образования по направлению подготовки «Педагогическое образование», профиль «География и биология», курс «Общее землеведение, раздел – геоморфология», тема «Береговой рельеф».

Введение

Изменения уровня воды в водоемах происходят постоянно на протяжении их эволюции. В океанах, морях, реках и озерах уровень воды меняется по-разному. Чем крупнее водоем, тем медленнее происходят изменения, которые могут носить разнонаправленный характер: повышение или понижение уровня плоскости воды. На протяжении всей истории развития Земли уровень Мирового океана менялся неоднократно. Это связано с постоянными движениями литосферных плит и, как следствие, изменением конфигурации материков, а также меняющимся климатом, который становился периодически суше – холоднее, суше – теплее, влажнее – теплее, влажнее – холоднее. В холодные климатические периоды на суше формировались покровные и горные ледники, а в океанах – паковые и шельфовые как продолжение покровных. Ледники в период своего формирования вбирали в себя огромное количество воды, консервируя ее в твердом состоянии, таким образом изымая из круговорота достаточно большую часть гидросферы. Следствием таких процессов становилось изменение уровня водоемов.

Наиболее детально изучены тектонические и климатические процессы в плейстоцен-голоценовое время: периоды неоднократных глобальных оледенений и межледниковых климатических оптимумов. Например, в конце плейстоцена обнажились большие площади шельфовых участков дна Балтийского, Северного, Баренцева морей, а также морей Северного Ледовитого океана и др. Образовались сухопутные «проходы» для миграции животных и людей: например, из районов современной Британии проходили сезонные миграции мамонтов и шерстистых носорогов в район альпийских предгорий; осуществлялась миграция животных и людей по Берингии (суше, частично покрытой льдами, в районе Берингова пролива) в Северную Америку, а также по юго-восточному «проходу» – из юго-восточной Азии через острова Индонезии, Новой Гвинеи, Торресов пролив – в Австралию.

Ледниковая и постледниковая эпохи в Карелии также представляют интерес с точки зрения тектонических и климатических исследований, результаты которых могут быть использованы для ретроспективной реконструкции природной среды, археологических, антропогенных и этнографических особенностей данного времени. В этом аспекте следует обратить внимание на исследования Г. А. Елиной (1981), И. Н. Демидова (2004, 2005, 2006), Э. И. Девятовой (1976, 1986), Г. А. Панкрушева (1978, 1990) и др. Применяемая ими методика дает интересные результаты по длительным временным периодам, с шагом от десятилетий до столетий. Более детальные данные можно получить, исследуя пробы донных отложений в озерах, которые интерпретируются уже с шагом до года или сезона (Субетто, 2009). Такие же достаточно точные датировки можно получать, применяя дендрохронологические методы исследований.

Составной частью дендрохронологических методов исследования естественных и антропогенных изменений компонентов окружающей среды стали дендроиндикационные принципы, предложенные Н. В. Ловелиусом (1970, 1972), как вполне самостоятельный научный метод. *Дендроиндикация – это установление времени или периода, а также, возможно, интенсивности воздействия внешних факторов, которые оказались зафиксированы в годовом приросте древесины.* Таким образом, данные по величине прироста годовых колец и различные отклонения в них становятся индикаторами, определяющими постановку задачи или ее решения, т. е. отдельные годовые кольца являются специфическими реперами в дендрохронологических шкалах. Дендроиндикация естественных и антропогенных изменений ПТК позволяет изучить состояние и динамику геокомплексов при ретроспективном анализе и может быть использована для прогнозирования возможных изменений природной среды.

Дендроиндикация (дендрохронология) разделяется на множество областей, которые исследуют один или более аспектов использования данных об изменении ширины прироста годовичных колец деревьев:

1) дендроклиматология исследует ширину, плотность и другие характеристики годового прироста деревьев в конкретном районе с целью определения хронологии изменчивости ширины древесных колец для этого места. С ее помощью реконструируют как годовые, так и сезонные климатические изменения. Дендроклиматические и палеодендроклиматические исследования проводятся как отечественными, так и зарубежными учеными (Ловелиус, 1966, 1970; Адаменко, Ловелиус, 1968; Максимов, Гребенюк, 1972; Вессарт, 1978; Ваганов и др., 1997, 1998; Fritts, 1976; Hughes et al., 1982; Brubaker, Cook, 1983; Briffa et al., 1990, 1995; Cook, Kairiukstis, 1990; Eronen et al., 1994; Lindholm, 1996 и др.);

2) дендрогеоморфология – применение датированных древесных колец для определения времени проявления геоморфологических процессов, например, вулканической деятельности, землетрясений, схода селевых потоков, оползней (Ловелиус, 1970а; Логинов, Кравчук, 1986; Heikkinen, 1987; Jacoby et al., 1988);

3) дендрогляциология – применение датированных древесных колец для анализа динамики ледников (Адаменко, 1968; Максимов, 1974);

4) дендрогидрология использует данные ширины древесных колец в целях изучения гидрологических процессов, например, прошлые изменения в потоках рек, уровнях озер и историй наводнений (Рудаков, 1953; Галазий, 1967; Ларин, 1988; Гриппа, 1997);

5) дендропирохронология – применение хронологии прироста колец дерева для подтверждения или определения истории прошлых лесных пожаров (Карбаинов, Моложников, 1986);

6) дендроархеология (дендроистория) – это система научных методов определения точного диапазона времени, в течение которого лес был повален, перемещен, обработан и использован для конструкций каких-либо построек (Вихров, Колчин, 1962; Колчин, 1962; Колчин, Черных, 1977; Яскеляйнен, Козлов, 1993; Гриппа, 1997; Быков, 2009);

7) дендрозкология – область дендрохронологии, которая охватывает все области использования датирования по кольцам деревьев, в целях изучения экологических проблем и среды местообитания растительных сообществ, например, климата, побережий водных объектов, форм поверхности Земли, движений ледников, снега, тектонических процессов, пирогенного воздействия, динамики лесных ландшафтов и антропогенных воздействий (Ловелиус, 1992; Jacoby, Hornbeck, 1987; Fritts, Swetnam, 1989). Сюда же можно отнести и влияние колебания солнечной активности на прирост древесины (Молчанов, 1970; Битвинскас, 1986; Stocton et al., 1985; Kocharov, 1990), исследование биотического повышения атмосферного CO (LaMarche et al., 1986; Kienast, Luxmore, 1988), изотопный анализ дендрообразцов (Pilcher, 1990; Lewis, 1995).

В рамках изучения изменения природной среды таежных геокомплексов Карелии нами была поставлена задача: установить время и тренд изменения уровня воды Онежского озера за период, охватываемый максимальным возрастом живых таежных древостоев, а также погребенной и исторической древесины, датированной методом перекрестного наложения на полученные дендрохронологические шкалы (ДХШ). Рабочей гипотезой стала проблема установления связи между приростом годовичных колец у деревьев, произрастающих вблизи водоема, и колебанием уровня воды в нем. При положительном результате появилась бы возможность реконструировать изменения уровня озера за период, на который инструментальные наблюдения не распространяются, т. е. на несколько десятилетий и столетий ранее.

Материалы и методы

Для установления динамики естественных и антропогенных процессов прибрежных геокомплексов крупных водоемов Восточной Финноскандии с применением методов дендроиндикации в 1995–2010 гг. были проведены полевые исследования по сбору и анализу дендрохронологических образцов в сосновых (*Pinus sylvestris* L.) и еловых (*Picea abies* L.) древостоях, растущих вблизи Онежского и Ладожского озер и на островных территориях. Дендроиндикационным исследованиям на побережьях озер и рек, а также определению влияния режима водоемов на прирост древесины

посвящено немало работ (Рудаков, 1953, 1964; Нарышкин, 1961; Галазий, 1967; Пакальнис, 1971; Ловелиус, 1979; Ларин, 1988; Alestalo, 1971; Brinkmann, 1992 и др.).

На территории Карелии работы по изучению колебания уровня воды озер, в том числе Онежского, с применением методов дендроиндикации проводились впервые. Деревья, с которых в виде кернов нами отбирались образцы, произрастают в различных природных комплексах: на урезах воды, на береговых валах, озерных террасах, на скальных выходах кристаллических пород и т. д.; расстояние от берега не превышает 500 м. Полигоны модельных деревьев находятся в пределах северного, западного и восточного побережий исследуемых водоемов.

Отбор пробы (дендрохронологического образца – керна) производился возрастным буравом Пресслера с длиной рабочей части, в зависимости от диаметра основного древостоя, от 30 до 55 см. Дендрохронологический образец обычно отбирают на высоте 130 см от основания ствола (на высоте груди), однако мы в своих исследованиях придерживались методики отбора керна на высоте 15–20 см от корневой шейки. При этом получалась наиболее полная реализация годичных колец, практически с начала роста дерева, и потери составляли не более 5–6 лет. В исключительных случаях применялся способ отбора дендробразцов в виде спилов: дисков, секторов, призм (Ловелиус, 1979, с. 21). В наших исследованиях полные диски и сектора получались в местах плановых лесозаготовок (на делянках) с пней спиленных деревьев. Древесные диски или их фрагменты чаще всего отбирались с исторической древесины: погребенной, деревянных конструкций или построек. Диски и сектора более удобны при проведении дендрохронологической обработки и расчетов, так как лучше виден радиус наибольшего прироста, выпадающие (неполные) кольца, кренивые или тяговые кольца, повреждения и т. п., а также возможно наблюдение последнего кольца, по которому определяется год заготовки древесины.

Для лучшего просмотра годичных колец, если была в этом необходимость, проводилась предварительная подготовка образцов (Вихров, 1959; Битвинкас, 1974; Ловелиус, 1979). Просмотр и подсчет прироста годичных колец проводился с использованием лупы-измерителя (в полевых условиях – для получения первичной информации), бинокулярного микроскопа – МБС-10 (с линейкой) или стереоскопического микроскопа OPTICA SZ-2 с фотоаппаратом на окуляре. Его использование в сочетании с компьютерной программой OPTICA Vision 3.6 позволяло передавать фотографию прямо с микроскопа на дисплей компьютера и проводить соответствующие замеры. Кроме того, нами была предложена методика обработки образцов, позволяющая получать изображение кернов и дисков с применением высокоточного сканера (от 1200 до 3200 dpi). Керны зажимались по всей длине в специальной струбцине и срезались острым инструментом для получения плоской поверхности, что способствовало лучшему прижиманию в сканере. Изображение калибровалось в соответствии с программой OPTICA Vision 3.6 на стадии сканирования, что давало возможность производить измерения ширины годичных колец с точностью 0,1–0,05 мм.

Полученные серии натуральных дендрохронологических рядов индексировались по «методу коридора» (Шиятов, 1986). Усредненные индексы сводились в локальные дендрохронологические шкалы. Интерпретация дендрохронологических данных достаточно сложна, однако комплексный анализ множества материалов позволяет решать вопрос о согласованных изменениях радиального прироста деревьев с внешними условиями, важнейшими из которых являются показатели тепло- и влагообеспеченности среды обитания (воздуха и почвогрунтов). Главное преимущество изучения годичного радиального прироста деревьев заключается в возможности получения достаточно длинных рядов данных на основе ретроспективного анализа ширины годичных колец древесины. Датирование событий, повлиявших на изменение прироста соответствующего слоя, возможно с точностью до года или даже до сезона.

Для датировки каких-либо естественных и антропогенных явлений или процессов, а также для определения возраста объектов, содержащих древесину, необходимо получить в дендрохронологической реализации реперные точки, которые будут способствовать «привязке» других данных к полученной шкале. Такими реперами могут быть древесные кольца с экстраминимальными годовыми приростами, кольца, несущие следы пожаров или других повреждений, проявляющихся во всех рядах. Задача дендрохронологии в практическом плане заключается в том, чтобы дать исследователю инструмент, «линейку», для вычисления необходимых периодов.

Результаты исследований

Анализ полученных дендрохронологических рядов позволил сделать вывод, что деревья, произрастающие в условиях гидротермического оптимума, на климатические изменения реагируют спокойнее, с небольшими амплитудами максимума и минимума прироста годичных колец, в отличие от деревьев, укоренившихся в экстремальных условиях. Произрастая в сложных для нормальной жизнедеятельности местах, деревья оказываются восприимчивее к изменению экологических условий, могут иметь большие амплитуды прироста и более чувствительно откликаются на внешние природные и антропогенные факторы. Экстремальными условиями для произрастания сосен являются места на побережье с избыточным или недостаточным увлажнением грунтов: это скальные выходы коренных кристаллических пород, песчаные и галечные реликтовые береговые валы, подтопленные, заболоченные берега и т. п.

Анализ ширины годичных колец показал, что для отдельных образцов характерна зависимость прироста древесины от изменения уровня воды. Это хорошо проявляется в случаях произрастания древостоев на берегу озера, в условиях недостатка влаги в почве или, наоборот, ее избытка при подтоплении корневой системы. Наиболее яркими примерами зависимости прироста от изменения уровня воды являются образцы сосен, которые растут на первых реликтовых береговых валах, сложенных мелкой и средней галькой, а также на абразионно-аккумулятивных озерных террасах, с выходами коренных пород. В таких условиях, например, отбирались образцы в районе залива Заячья губа (западное побережье Онежского озера), на острове Большой Клименецкий, на территории охраняемых памятников природы Бесов Нос и Чертов Стул, в ландшафтном заказнике «Муромский». Почвенный покров на первых реликтовых береговых валах и скальниках практически отсутствует, корневая система у деревьев частично обнажена. Парадокс заключается в том, что такие сосны, произрастающие в непосредственной близости от воды, испытывают недостаток влаги в грунте. Галечные береговые валы хорошо дренируются. При высоких горизонтах воды растительность получает достаточное количество минерального питания из раствора. При понижении уровня озера уровень грунтовых вод также понижается, корни дерева не достигают водоносного горизонта и радиальный прирост годичных колец уменьшается.

В результате исследований было отмечено, что сосны, растущие на песчаных, хорошо дренируемых примитивных почвах, вблизи заболоченного понижения, удаленного от озера на 150–250 м, но имеющего связь с водоемом посредством водоносных слоев грунта, также чутко реагируют на колебания уровня воды данного озера. Очевидно, что грунтовые воды, питающие низинное болото, влияют на изменение величины прироста годичных колец: при увеличении уровня воды в озере возрастает радиальный прирост годичных колец, так как повышается уровень болотных вод, и растущие вблизи, на песчаных грядах, сосны реагируют увеличением прироста древесины. Такая закономерность отмечена у деревьев, произрастающих в основании береговых валов и дюн юго-восточных побережий Онежского и Ладожского озер. Деревья, растущие непосредственно на болоте, имеют обратную зависимость в реакции прироста на изменение уровня грунтовых вод. Таким образом, исследованные образцы откликаются на колебания воды в озере увеличением или уменьшением прироста, т. е. существует прямая зависимость радиального прироста древесины от уровня водоема. Коэффициенты корреляции изменения ширины годичных колец для исследованных образцов с уровнем воды озера составляют $|0,65|$ – $|0,80|$. При совмещении отдельных периодов прироста древесины (раннего или позднего возраста дерева) с таким же периодом колебания уровня воды озера отмечается синхронность в ходе кривых и коэффициент корреляции увеличивается до $|0,90|$. Например, в 1940 г. отмечен самый низкий показатель водного горизонта в Онежском озере за наблюдаемый период. В этот же год формируется самое тонкое кольцо у модельного дерева залива Заячья губа: при среднем приросте 1,37 мм ширина слоя составила 0,15 мм (рис. 1).

Графики хода уровня озера и прироста модельного дерева носят синхронный характер, в том числе и по амплитуде. Отмечаются совпадения колебаний как в период естественного режима, так и в период зарегулированного стока – после строительства Верхне-Свирской ГЭС в 1952 г., когда Онежское озеро стало водохранилищем. С 1956 г. амплитуды колебаний уровня воды становятся меньше, и с этого же года на дендрограмме также заметно сокращение диапазона прироста древесины. Кроме того, сходство хода кривых прироста годичных колец характерно также для деревьев, произрастающих в прибрежных геокомплексах, но удаленных друг от друга на 50–100 км. Например, у модельных

деревьев, произрастающих на берегах Петрозаводской и Кондопожской губы, острова Большой Клименецкий, юго-восточном берегу Онежского озера, отмечается высокая степень синхронности в ходе кривых и достаточно высокий коэффициент корреляции – $|0,80|$.

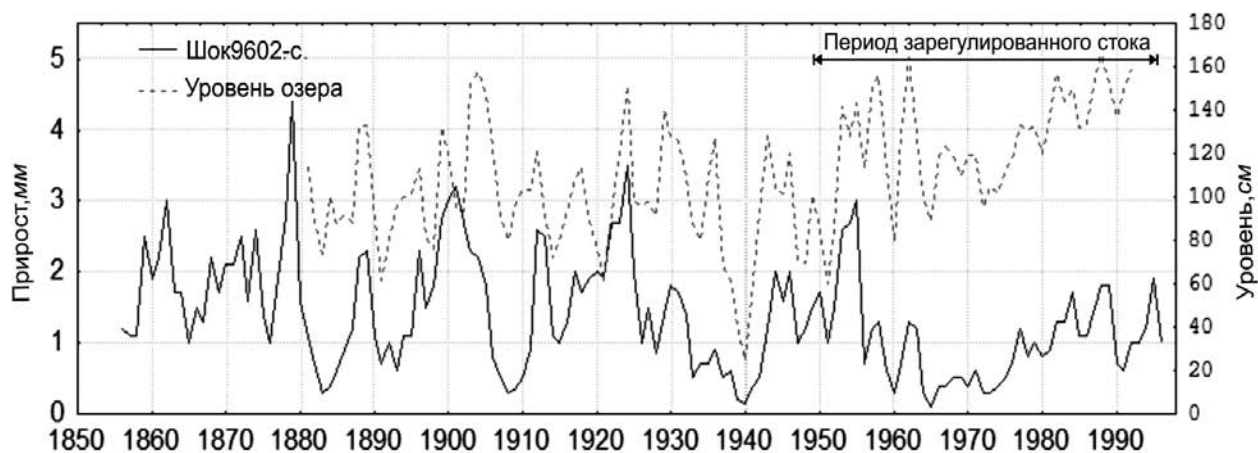


Рис. 1. Ход среднего многолетнего уровня Онежского озера и прироста годичных колец образца Шок-9602-с сосны, произрастающей на галечниковом береговом валу, на урзе воды. Восточное побережье Онежского озера, залив Заячья губа

Деревья, произрастающие в других условиях – на гидроморфных почвах прибрежной полосы, имеют обратную реакцию на повышение уровня воды в озере. Подтопление корневой системы действует угнетающе, причем реакция прироста проявляется не синхронно уровенному режиму, а запаздывает в отдельные периоды на 1–2 года. Взаимные корреляции прироста деревьев, данных местобитаний и уровня озера варьируют от $| -0,65|$ до $| -0,75|$. В спектральной области можно выделить высокую степень когерентности исследуемых процессов. При автокорреляционном анализе для флуктуаций как уровня озера, так и радиального прироста деревьев отмечается высокая когерентность $|0,65|$ для временных масштабов порядка 30 лет, разность фаз при этом близка к нулю. Таким образом, изменение процессов прироста деревьев происходит синхронно с колебаниями уровня озера или запаздывает на 1–2 года.

Также нами установлено, что прирост деревьев, произрастающих в относительной близости от урза воды, в большей степени зависит от условий увлажнения, чем от летних температур воздуха, при этом практически отсутствует корреляционная связь прироста деревьев со среднегодовой температурой воздуха. Для деревьев, произрастающих на достаточном удалении (более 60 км к востоку от Онежского озера), связь прироста годичных колец с летними температурами также низкая: коэффициент корреляции порядка $|0,25|$ при близких цикличностях.

Взаимный анализ колебания прироста годичных колец деревьев, растущих в непосредственной близости от воды, с изменением уровня водоема дал нам возможность ретроспективно восстановить уровенный режим того периода, на который отсутствуют гидрологические данные. С применением дендрохронологического метода было установлено время укоренения древостоя на образовавшемся береговом валу в районе залива Заячья губа после понижения среднего уровня воды в озере. По мнению Г. И. Галазия (1967), древесные растения поселяются на галечных береговых валах и пляжах через 10–15 лет после их образования. Мелкозернистый субстрат, песок, суглинок заселяются деревьями обычно в течение 2–5 лет. Поэтому, анализируя образцы с первого реликтового вала из залива Заячья губа Онежского озера, мы получили следующие результаты: первый береговой вал образовался не позднее 1825–1828 гг., средний уровень воды в этот период был на 0,4–0,5 м выше современного среднего. Второй береговой вал, который отстоит в этом районе от урза воды на 10–12 м, мог сформироваться в начале 1590-х гг. Подъем воды повлиял на прирост модельных деревьев, укоренившихся в 1520-гг., и, учитывая их местоположение, получается, что средний уровень Онежского озера в конце XVI в. был еще выше на 1,8–2,0 м. Ход уровня воды в разных частях озера согласованный, ему соответствует время образования береговых валов и высота урза воды в прошедшие столетия.

В 2010 г. в рамках экспедиции по программе Русского географического общества «Историко-географические памятники Европейского Севера России» были получены дополнительные материалы, подтверждающие существенные изменения высоты уровня воды в Онежском озере за прошедшие столетия. При проведении исследований в районе Муромского ландшафтного заказника к северу от устья р. Муромки (500–2000 м) были обнаружены остатки деревьев, находящихся в прибрежной зоне – на глубине 0,5 м. Эти остатки представляют собой обломанные пни сосен, основной корень которых уходит глубоко в грунт, а боковые корни широко раскинуты в стороны, следовательно, исключается возможность того, что они были перемещены в результате каких-либо волноприбойных процессов (рис. 2). Эти остатки затопленных пней были описаны Д. Д. Квасовым и Б. И. Кошечкиным (1990). С трех таких артефактов нами были отобраны спилы в виде секторов (рис. 3), которые были проанализированы в лабораторных условиях. В дальнейшем при проведении исследований первых реликтовых береговых валов данного ключевого участка были обнаружены остатки стволов сосен, погребенных под слоем озерных отложений. С них также отбирались дендрохронологические образцы в виде спилов (рис. 4).



Рис. 2. Пень сосны, с которого был отобран образец на анализ



Рис. 3. Дендрохронологический образец в виде сектора, выпиленный из пня сосны

Рис. 4. Получение дендрохронологического образца из ископаемой сосны: основание первого реликтового берегового вала в районе юго-восточного побережья Онежского озера, устье р. Муромки



Дальнейший кросскорреляционный анализ показал полную идентичность образцов затопленных пней и погребенных в реликтовом валу стволов сосен, что подтвердило гипотезу их местного происхождения. Вероятно, деревья были сломаны во время сильных штормов и вынесены на пологий пляж, на котором позднее образовался береговой вал высотой 1,8–2,2 м над современным уровнем воды.

Данные исследований и произведенный анализ указывают на достаточно низкий уровень воды Онежского озера в период произрастания модельных деревьев. Однако для определения времени произрастания исследуемых сосен необходимо было их временные ряды, которые на тот момент можно было назвать «плавающими», «привязать» к имеющейся ДХШ методом перекрестного датирования (рис. 5).

В результате проведенного анализа были получены даты укоренения и гибели модельных деревьев, что позволяет установить период низкого уровня воды Онежского озера и время начала ее подъема. Таким образом, можно с большой степенью уверенности говорить о том, что в 1370-е гг. уровень Онежского озера был не менее чем на 0,3–0,5 м (а возможно и больше) ниже современного. Об изменениях среднего уровня воды в озере еще в доисторическую эпоху есть данные исследований, представленные Г. А. Панкрушевым (1978, 1990), который считает, что они обусловлены не только изменением климатических условий, но и гляциоизостатическим поднятием северного Прионежья.

В последующие века уровень воды в озере поднимался и достиг высоты 1,8–2,0 м от современного в конце XVI в. Доказательством высокого уровня воды Онежского озера в XIV–XVI вв. может быть упоминание в писцовой книге Заонежской половины Обонежской пятины, созданной в 1582–1583 гг., о том, что Муромский монастырь на юго-восточном побережье озера во время своего возникновения – в XIV в. – находился на острове Муромском (Энциклопедический словарь..., 1906; История Карелии..., 1993, с. 263).

С помощью дендрохронологического метода было точно определено время строительства самой старой из известных культовых построек на северо-западе России, располагавшейся на территории монастыря, – церкви Лазаря Муромского. Древесина для сруба заготавливалась в 1520 г. (Zettenberg, 1990). Таким образом, строительство церкви соответствует времени, когда территория застройки располагалась на острове, что согласуется с историческими свидетельствами и данными, полученными в наших исследованиях. Строения монастыря располагаются на возвышенном участке перешейка между Онежским и Муромским озерами, которые соединяются короткой рекой-протокой. Побережье Муромского озера заболоченное, а перешеек сложен озерными песками, которые переоткладываются эоловыми процессами, образуя дюны. На их вершинах сформировались редкостойные сосновые леса, возраст которых составляет 190–230 лет. Таким образом, можно утверждать, что перешеек между озерами сформировался после начала снижения уровня воды в Онежском озере, не позднее середины XVIII в.

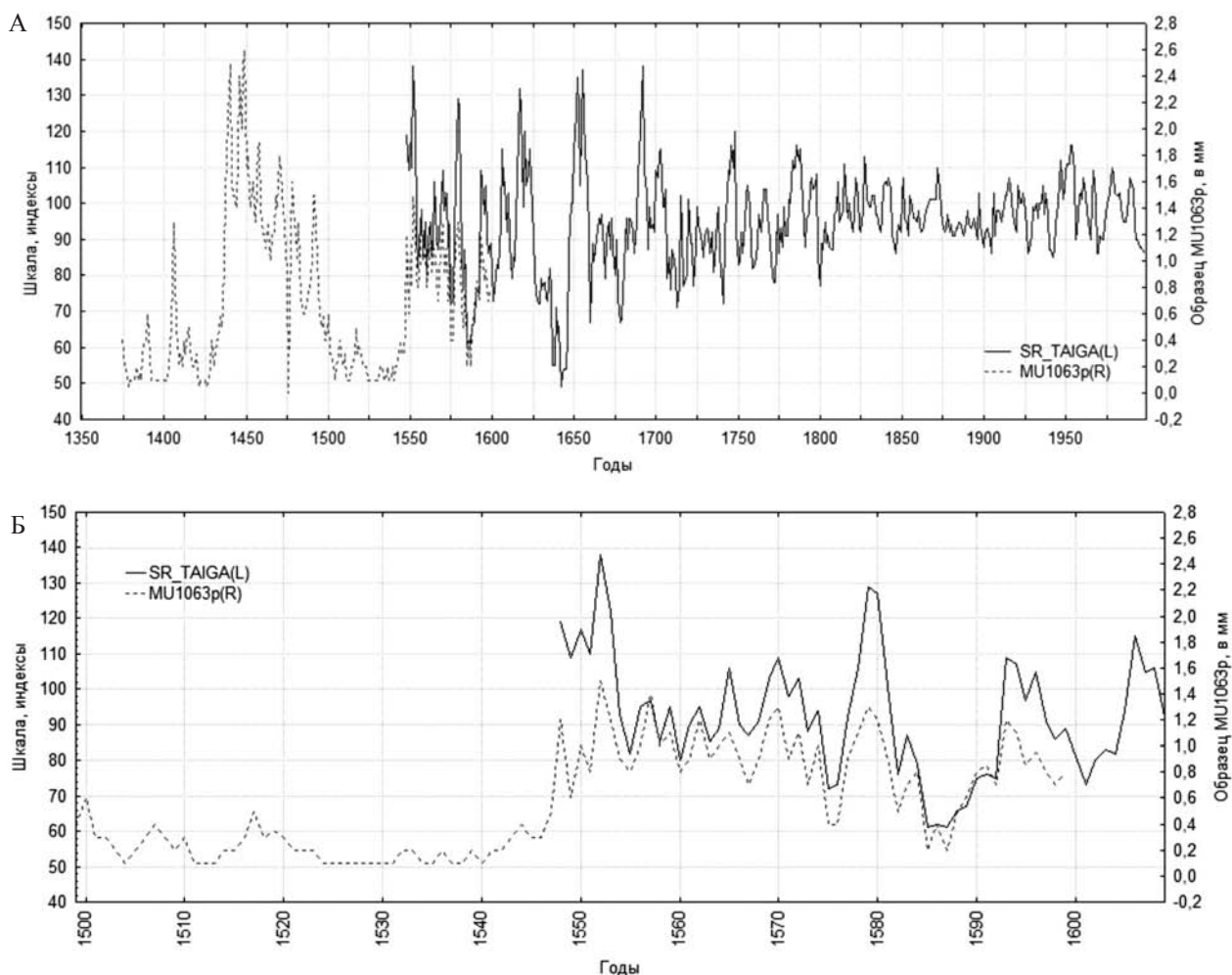


Рис. 5. Перекрестное датирование «плавающей» кривой годовых приростов, полученных с дендрохронологического образца из затопленного пня, и дендрохронологической шкалы по среднетаежным сосновым древостоям Карелии (А – полный график, Б – увеличенный фрагмент)

Образцы, отобранные с сосен, произрастающих на втором реликтовом береговом валу, который отстоит на 20–25 м от современного уреза воды в районе восточного побережья озера, имеют возраст около 230 лет. Сопоставление прироста древесины с этих моделей с данными ширины годичных колец, полученных с деревьев противоположного, западного, побережья Онежского озера, дает основание считать, что существует закономерность в ходе динамики роста сосен прибрежных геоккомплексов и что исследованные деревья подвергались воздействию изменения уровня водоема если не в прямой связи, то опосредованно, через грунтовые воды.

При визуальном совмещении кривых прироста годичных колец с западного и восточного побережий озера заметно сходство хода графиков (рис. 6).

На графиках заметно, что не все пики абсолютно совпадают. Это может быть связано с некоторыми индивидуальными различиями в условиях произрастания модельных деревьев. Образец Шо-9602-с был отобран с сосны, растущей на галечном береговом валу, вблизи уреза воды, а образец Му-9702-с – на реликтовом песчаном береговом валу, в 20 м от береговой линии. Модельное дерево Шо-9602-с испытывает на себе непосредственное влияние колебания воды Онежского озера, в то время как модель Му-9702-с – опосредованное, через грунтовые воды. Тем не менее проведенный корреляционный анализ дал коэффициент корреляции $|0,64|$, при незначительной дисперсии. В более раннем возрасте, первые 60–70 лет, сосны имеют сходство в динамике прироста. Очевидно, что высокий уровень воды в период ранних приростов более существенно влиял на процессы роста древесины деревьев.

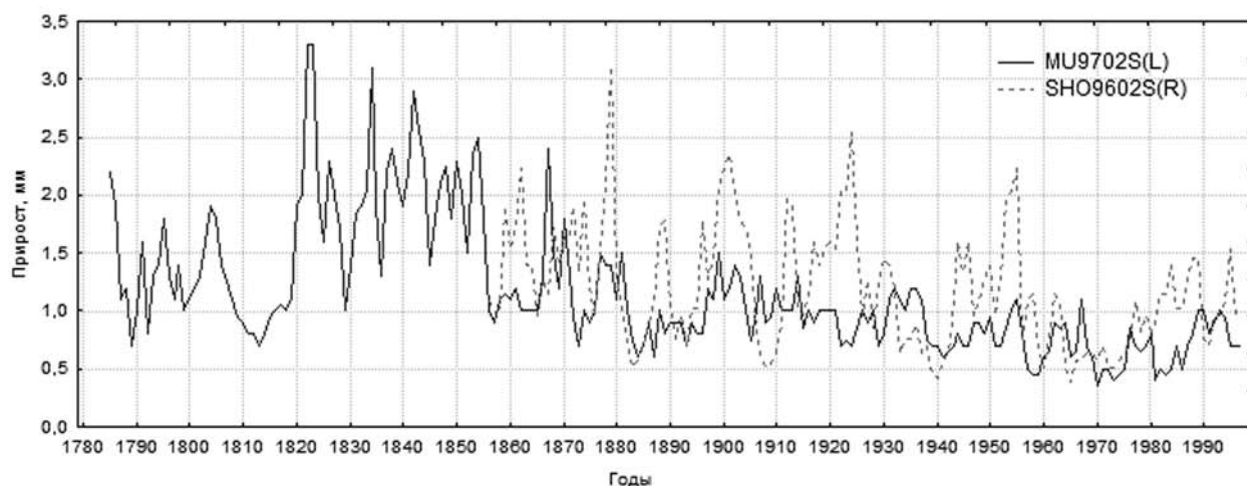


Рис. 6. Кривые прироста годичных колец образцов Му-9702-с (фрагмент), восточное побережье Онежского озера, устье р. Муромки, и Шо-9602-с, западное побережье Онежского озера, залив Заячья губа



Рис. 7. Профиль дюны и реликтовых береговых валов на восточном побережье Онежского озера, в районе устья р. Муромки

Полученные реконструкции колебания среднего уровня воды Онежского озера начала XVI в. согласуются с данными А. В. Шнитникова (1968, с. 182, 191). Он указывает на то, что на протяжении XIV–XVI вв. отмечалось длительное увеличение общей увлажненности, по крайней мере, в северном полушарии. Изменение климатических условий привело к резкому и значительному повышению уровня водоемов, в том числе и бассейна Ладожского озера (Шнитников, 1968, с. 182). В рассматриваемый период для акватории Балтийского моря были характерны частые штормы, разрушающие дамбы, изменяющие конфигурацию береговой линии. Возникновение мощных береговых валов Онежского озера, датированных нами 80–90-ми гг. XVI столетия, связано, вероятнее всего, со штормами данной эпохи. Особенно велики эти валы в юго-восточной части озера — в районе устьев рек Муромки, Андомы, Кука-реки. Подобные процессы в указанный период происходили и на восточном побережье Ладожского озера. Об этом свидетельствуют реликтовые береговые валы, дюны и дендро-хронологические данные, полученные с останцов деревьев, которые засохли прямо на корню, в про-

цессе прохождения над ними перевиваемых песков. Период произрастания засохших деревьев точно установить не удалось ввиду плохой сохранности внешних колец. Однако, учитывая сходство восточных побережий Ладожского и Онежского озер, можно предположить, что дюны обеих территорий образовывались синхронно. После регрессии озер в конце XIV в. в результате дефляции обнажившихся побережий стали формироваться дюны, которые ныне протягиваются грядами, параллельными береговой линии. Наиболее высокие дюны сейчас имеют высоту 16 м над уровнем озера (рис. 7). Таким образом, возраст дюн больше, чем последнего реликтового берегового вала, – в уточнение ранее сделанных выводов (Гриппа, 1999). Полученные нами с помощью дендроиндикационных методов результаты изменения уровня режима Онежского озера согласуются с данными Ё. Алестало по озерам Финляндии (Alestalo, 1971).

Заключение

Приведенные данные могут стать, на наш взгляд, важной частью климатических, историко-географических, археологических и геологических (тектонических) исследований. Исторические, природные или другие реконструкции всегда вызывали интерес у исследователей, и не только в ретроспективном аспекте, но и из-за возможности рассчитать ближайшую перспективу событий, дать прогноз. Научное обоснование будущего базируется на расчетах прошлых изменений, особенно если эти изменения носят ритмичный (циклический) характер. Зная ритмику процессов, можно предположить, что исследуемая закономерность сохранится и в будущем. Для более точных расчетов необходимо иметь как можно больше данных, поэтому дендрохронологические ряды в сочетании с другими материалами успешно применяются для реконструкции естественных и антропогенных процессов и явлений. Наблюдаемая в рядах приростов годовых колец ритмика также позволяет оценить возможные колебания условий окружающей среды на перспективу.

Вопросы для самоконтроля

1. Какие формы берегового рельефа вы знаете? Какие процессы влияют на образование берегового рельефа?
2. Объясните, как образуются береговые валы, нарисуйте схему.
3. Объясните, как образуются дюны, нарисуйте схему их образования и перемещения. Почему дюны встречаются только на побережьях морей и крупных озер, имеющих песчаные отложения в виде пляжей, и где дуют сильные ветры.
4. Какие тектонические процессы, влияющие на береговой рельеф, вы знаете?
5. Что такое гляциоизостазия?
6. Как соотношение тепла и влаги в географической оболочке влияет на изменения климата? Как климатические изменения могут влиять на рельеф Земли?

Литература

- Адаменко В. Н. Использование дендрохронологических данных в гляциологических исследованиях // Материалы Всесоюз. совещ. по вопросам дендрохронологии и дендроклиматологии. Вильнюс, 1968. С. 17–21.
- Адаменко В. Н., Ловелиус Н. В. Использование дендрохронологических данных для изучения многолетней изменчивости метеорологических условий последнего тысячелетия // Там же. С. 30–35.
- Битвинская Т. Т. Дендроклиматические исследования. Л.: Гидрометеиздат, 1974. 172 с.
- Битвинская Т. Т. Опыт использования реперной системы солнечной активности для изучения закономерностей изменчивости радиального прироста деревьев // Дендрохронология и дендроклиматология. Новосибирск: Наука, 1986. С. 174–186.
- Быков А. П. Дендрохронологическая датировка хозяйственной деятельности населения Беломорья // Адаптация культуры населения Карелии к особенностям местной природной среды периодов мезолита – Средневековья. Гуманитарные исследования. Вып. 4 / Ред. М. Г. Косменко. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2009. С. 192–198.
- Ваганов Е. А., Панюшкина И. П., Наурзбаев М. М. Реконструкция летней температуры воздуха в восточной части Таймыра за последние 840 лет // Экология. 1997. № 6. С. 403–407.
- Ваганов Е. А., Шиятов С. Г., Хантемиров Р. М., Наурзбаев М. М. Изменчивость летней температуры воздуха в высоких широтах северного полушария за последние 1,5 тыс. лет: Сравнительный анализ данных годовых колец деревьев и ледовых кернов // Докл. АН. 1998. Т. 358, № 5. С. 681–684.

- Вессарт В. В. Некоторые результаты дендрохронологических исследований на северо-западе Кольского полуострова // Изв. ВГО. 1978. Т. 110, вып. 5. С. 446–450.
- Вихров В. Е. Простой способ проявления годовичных слоев // Лесное хозяйство. 1959. № 12. С. 73.
- Вихров В. Е., Колчин Б. А. Основы и метод дендрохронологии // Советская археология. 1962. № 1. С. 95–112.
- Галазий Г. И. Динамика роста древесных пород на берегах Байкала в связи с циклическими изменениями уровня воды в озере // Геоботанические исследования на Байкале. М., 1967. С. 44–301.
- Гриппа С. П. Дендрохронологический анализ и колебания уровня крупнейших озер Европы // Изменения климата Восточной Фенноскандии и уровня воды крупнейших озер Европы. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 1997. С. 33–39.
- Гриппа С. П. Дендроиндикация естественных и антропогенных изменений природных условий Восточной Фенноскандии: Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. СПб.: РГПУ, 1999. 19 с.
- Девятова Э. И. Геология и палинология голоцена и хронология памятников первобытной эпохи в юго-западном Беломорье. Л., 1976. 121 с.
- Девятова Э. И. Природная среда и ее изменения в голоцене (по побережью севера и центра Онежского озера). Петрозаводск: Карелия, 1986. 110 с.
- Демидов И. Н. Донные отложения и колебания уровня Онежского озера в позднеледниковье // Геология и полезные ископаемые Карелии. Вып. 7. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2004. С. 207–218.
- Демидов И. Н. Деградация поздневалдайского оледенения в бассейне Онежского озера // Геология и полезные ископаемые Карелии. Вып. 8. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2005. С. 134–142.
- Демидов И. Н. О максимальной стадии развития Онежского приледникового озера, изменениях его уровня и гляциоизостатическом поднятии побережий в позднеледниковье // Геология и полезные ископаемые Карелии. Вып. 9. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2006. С. 171–182.
- Елина Г. А. Сукцессии растительности в голоцене (по усредненным споро-пыльцевым комплексам) // Принципы и методы реконструкции и картирования растительности голоцена. Л.: Наука, 1981. 159 с.
- История Карелии в документах. III / Под ред. И. Черняковой и К. Катаяла. Петрозаводск, ИОЭСУ, 1993. 510 с.
- Карбаинов Ю. М., Моложников В. Н. Дендроиндикация периодичности возникновения лесных пожаров // Дендрохронология и дендроклиматология. Новосибирск: Наука, 1986. С. 194–199.
- Квасов Д. Д., Кошечкин Б. И. Геоморфология береговой зоны / Онежское озеро // История Ладожского, Онежского, Псковско-Чудского озер, Байкала и Ханки (Серия: История озер СССР). Л.: Наука, 1990. С. 83–85.
- Колчин Б. А. Дендрохронология Новгорода // Советская археология. 1962. № 1. С. 113–139.
- Колчин Б. А., Черных Н. Б. Дендрохронология Восточной Европы. М.: Наука, 1977. 128 с.
- Ларин С. И. Дендроиндикация изменений уровней озер Мондинской котловины (Восточный Саян) // Изв. ВГО. 1988. Т. 120, вып. 2. С. 178–181.
- Ловелиус Н. В. Опыт применения дендрохронологического анализа для изучения изменений климата (на примере Восточных Саян) // Герценовские чтения. XIX. География и геология: Программа и тез. докл. Л., 1966. С. 34–36.
- Ловелиус Н. В. Влияние извержений вулканов на растительность Камчатки // Ботан. журн. 1970а. Т. 55, № 11. С. 1630–1633.
- Ловелиус Н. В. Колебания прироста древесных растений на верхнем пределе распространения // Изв. ВГО. 1970б. Т. 102, вып. 2. С. 170–172.
- Ловелиус Н. В. К методике дендроиндикационных исследований // Изучение биогеоценозов тундры и лесотундры. Л.: Наука, 1972. С. 69–73.
- Ловелиус Н. В. Изменчивость прироста деревьев: дендроиндикация природных процессов и антропогенных воздействий. Л.: Наука, 1979. 231 с.
- Ловелиус Н. В. Дендроиндикационная экспертиза лесных экосистем на примере острова Валаам (методический аспект) // Материалы межрегион. конф., посвящ. состоянию охраняемых природных территорий, памятников истории и культуры. Архангельск, 1992. С. 49–51.
- Логинов В. Ф., Кравчук Е. Г. Связь вулканических извержений с изменением климата // Дендрохронология и дендроклиматология. Новосибирск: Наука, 1986. С. 122–126.
- Максимов Е. В. Время образования бывшего оз. Яшилкуль в хребте Кичик-Алай // Изв. ВГО. 1974. № 6. С. 506–509.
- Молчанов А. А. Изменчивость ширины годовичного кольца в связи с изменением солнечной активности // Формирование годовичного кольца и накопление органической массы у деревьев. М., 1970. С. 7–49.
- Нарышкин М. А. Прирост ели в зависимости от уровня грунтовых вод и некоторых метеорологических факторов // Тр. Лаборатории лесоведения АН СССР. 1961. Т. 3. С. 24–36.
- Пакальнис Р. Применение методов дендроклиматологии при изучении влияния подтопления на ширину годовичных колец прибрежных насаждений // Радиоуглерод. Вильнюс, 1971. С. 103–105.
- Панкрушев Г. А. Мезолит и неолит Карелии. Л., 1978. Ч. 1. 136 с.; Ч. 2. 164 с.

Панкрушев Г. А. Возраст береговых образований по археологическим данным / Онежское озеро // История Ладожского, Онежского, Псковско-Чудского озер, Байкала и Ханки (Серия: История озер СССР). Л.: Наука, 1990. С. 87–89.

Рудаков В. Е. Возможность восстановления хода колебаний стока рек по годичным кольцам деревьев на примере реки Волги // Изв. АН СССР, сер. Геогр. 1953. № 4. С. 101–103.

Рудаков В. Е. Годичный прирост деревьев как показатель колебаний стока рек // Изв. ВГО. 1964. Т. 96, вып. 6. С. 96–98.

Субетто Д. А. Донные отложения озер: Палеолимнологические реконструкции. СПб.: РГПУ им А. И. Герцена, 2009. 339 с.

Шиятов С. Г. Дендрохронология верхней границы леса на Урале. М.: Наука, 1986. 137 с.

Шнитников А. В. Колебания климата в текущем тысячелетии и их палеогеографическое значение // Чтения памяти Л. С. Берга. VIII–XIV. 1960–1966. Л.: Наука, 1968. С. 172–206.

Энциклопедический словарь. Дополнительные главы. II. СПб., 1906. 480 с.

Яскеляйнен А. Т., Козлов В. А. О повышении эффективности историко-архитектурных обследований памятников деревянного зодчества Заонежья: опыт музея «Кижь», проблемы и перспективы // Кижский вестник. № 2. Заонежье. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 1993. С. 208–214.

Alestalo J. Dendrochronological interpretation of geomorphic processes // Fennia. 1971. 105. 140 p.

Briffa K. R., Bartholin T. S., Eckstein D. et al. A 1,400-year tree-ring record of summer temperatures in Fennoscandia // Nature. 1990. 346. P. 434–439.

Briffa K. R., Jones P. D., Schweingruber F. H. et al. Unusual twentieth-century summer warmth in a 1,000-year temperature record from Siberia // Nature. 1995. 376. P. 156–159.

Brinkmann W. Local tree-rings and teleconnections: Way to improve the reconstruction of lake Superior water supplies // J. Great Lakes Res. 1992. 18 (3). P. 357–363.

Brubaker L. B., Cook E. R. Tree-ring studies of holocene environments // H. E. Jr. Wrigt (ed.). Late Quaternary Environments of the United States. Vol. 2. The Holocene. University of Minnesota Press, Minneapolis, 1983. P. 222–235.

Cook E. R., Kairiukstis L. A. (eds.). Methods of dendrochronology: applications in the environmental science. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1990. 391 p.

Eronen M., Zetterberg P., Lindholm M. Climate history from tree rings in the subarctic area of Fennoscandia // The Finnish research programme on climate change. Publications of the Academy of Finland, 1994. 1. P. 13–19.

Fritts H. C. Tree-ring and climate. London: Academic Press, 1976. 567 p.

Fritts H. C., Swetnam T. W. Dendroecology: A tool for evaluating variations in past and present forest environments // Advances in Ecological Research. 1989. 19. P. 110–188.

Heikkinen O. The dendrochronology of accumulation process // Annales Academiae Scientiarum Fennicae, Series A III, Geologica-Geographica. 1987. 145. P. 67–77.

Hughes M. K., Kelly P. M., Pilcher J. R., La Marche Jr. V. C. Climate from tree-rings. Cambridge University Press, 1982. 224 p.

Jacoby G. C., Hornbeck J. W. Proceedings of the International Symposium on Ecological Aspects of Tree-Ring Analysis. August 17–21, 1986, Tarrytown. New York, 1987. 726 p.

Jacoby G. C., Sheppard P. R., Sien K. E. Irregular recurrence of large earthquakes along the San Andreas Fault: evidence from trees // Science. 1988. 241. P. 196–199.

Kienast F., Luxmoore R. J. Tree-ring analysis and conifer growth responses to increased atmospheric CO₂ levels // Oecologia. 1988. 76. P. 487–495.

Kocharov G. Tree Rings: A unique source of information on processes on the earth and in the space // E. R. Cook, L. A. Kairiukstis (eds.). Methods of dendrochronology: applications in the environmental science. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1990. P. 289–296.

La Marche V. C. Jr., Graybill D. A., Fritts H. C., Rose M. R. Carbon dioxide enhancement of tree growth at high elevations // Science. 1986. 231. P. 859–860.

Lewis T. E. (ed.). Tree rings as indicators of ecosystem health. CRC Press, Boca Raton, 1995. 210 p.

Lindholm M. Reconstructions of past climate from ring-width measurements of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) at the northern forest limit in Fennoscandia. Joensuu: University of Joensuu, 1996. 169 p.

Pilcher J. R. Radiative isotopes in wood // E. R. Cook, L. A. Kairiukstis. Methods of dendrochronology: applications in the environmental science. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1990. P. 93–96.

Stoeton W. C., Boggess W. R., Meko D. M. Climate and tree rings // A. D. Hecht (ed.). Paleoclimatic Analysis and Modeling. New York: John Wiley and Sons, 1985. P. 71–161.

Zetterberg P. Applications of tree-ring dating in architectural history and archeology in Karelia // Sessiones sectionum. Dissertationes. Historica, archaeologica et anthropologica. Congressus septimus internationalis fenno-ugristarum. Debrecen, 27. VIII.-2. IX. 1990. Debrecen, 1990. P. 326–330.

ПАЛЕОЛИМНОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Д. А. Субетто

Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН

Введение

Север России богат озерами, которые являются источниками ценнейшего природного ресурса – пресной воды. Донные отложения озер – это природный архив, в котором изо дня в день в течение тысячелетий консервируется «информация» в виде минеральных и органических частиц обо всех изменениях, протекавших как в самом водоеме, так и на территориях, окружающих его. *Палеолимнология – это отрасль палеогеографии, предметом которой является реконструкция физических, гидрологических, химических и биологических процессов в самом водоеме и природно-климатических изменений на его водосборе на основе послойного изучения строения и состава донных отложений озер.*

К настоящему времени достаточно детально реконструирована история развития климата и природной среды в позднем плейстоцене и голоцене для территорий, прилегающих к Северной Атлантике. Собран большой эмпирический материал и выполнены климатические и палеогеографические реконструкции для территорий севера и северо-запада России.

В последние годы все большее внимание уделяется проблеме климатической изменчивости, а также изучению факторов, приводящих к сменам ледниковых и межледниковых эпох. Установлено, что переход от холодного и сухого климата позднего плейстоцена к теплым и влажным условиям голоцена привел к изменению природной обстановки как на водосборах озер, так и в водной экосистеме. Следствием этого стала трансформация процессов озерного седиментогенеза. Специалисты палеогеографы ведут работы, направленные на построение высокоразрешающих летописей природно-климатических изменений, основанных на детальном, послойном изучении разрезов озерных отложений с использованием современных методов исследований. Активно ведутся также научные исследования по выявлению корреляции природно-климатических событий в Атлантическом регионе, по созданию стратотипа для позднего плейстоцена и голоцена на основе ледового керна из Гренландии.

Изучение процессов озерного осадкообразования необходимо для решения вопросов эволюции озер и детализации природно-климатических изменений в прошлом. Важным результатом палеолимнологических исследований является возможность сопоставления современных условий природы и климата с прошлыми и на основании этих сопоставлений выявление трендов и динамики природно-климатических изменений в будущем. Данные изучения донных отложений озер могут быть использованы для стратиграфических целей в четвертичной геологии и палеогеографии, а также служить основой геоэкологического мониторинга озер и природоохранных мероприятий.

Предлагаем материалы для подготовки лекций студентам географического факультета по дисциплинам *физическая география* и *природопользование* и рекомендуем их для факультативной работы учителей и учащихся старших классов общеобразовательных школ при подготовке абитуриентов.

История исследований озерных отложений

Изучение донных отложений озер началось в середине XIX в. Всего выделено шесть этапов истории исследований донных отложений озер.

Первый этап охватывает период до начала XX в. Исследования на этом этапе носили эпизодический характер, изучались отдельные поверхностные пробы озерных осадков. Появились первые сведения об изменении уровня воды в озерах и их размеров (Кропоткин, 1876)*.

Второй этап охватывает 1900–1920-е гг. и характеризуется началом исследования стратиграфии и строения донных отложений озер и болот. В. Н. Сукачев (1906) впервые отметил, что торф зачастую подстилается сапропелем, под которым местами встречаются торфяные прослойки. В 1908 г.

* Список литературы представлен в монографии: Субетто Д. А. Донные отложения озер: палеолимнологические реконструкции. СПб.: РГПУ им. А. И. Герцена, 2009. 339 с.

Русским географическим обществом изданы «Инструкции для исследования озер», в которых В. А. Обручевым подробно рассмотрены вопросы происхождения озерных котловин, формирования донных отложений, процессы абразии, отложения наносов, принесенных в озера реками, проблемы возраста озер, изменения уровня озер и многие другие. Там же К. К. Гильзенем были описаны методы изучения грунтов, а А. Лебединцевым – методы химического анализа озерных осадков. Подробные исследования донных отложений многочисленных озер европейской части России были проведены К. К. Гильзенем (1911), уделившим большое внимание химическому и минералогическому составу осадков. Исследования процессов формирования сапропеля в озерах были выполнены в 1920-х гг. В. Н. Таганцевым (1920). Древесные остатки среднеголоценового возраста, перекрытые озерными отложениями, были описаны в окрестностях Вологды (Ширяев, Перфильев, 1912, 1913).

Третий, предвоенный этап (1919–1940 гг.) характеризуется началом работы Сапропелевого Комитета Академии Наук СССР, перед которым была поставлена задача технологического использования сапропелевых отложений как твердого топлива, источника производства различных химических продуктов, в виде удобрения и кормовой добавки скоту для нужд сельского хозяйства. При исследованиях донных отложений Коссинских озер вблизи Москвы (Кудряшов, 1924) был обнаружен прослой торфа в основании толщи сапропелей и на основании этого факта сделан вывод об аэральных условиях, предшествующих аквальным условиям осадконакопления, и об отсутствии озер на этом месте прежде. В ряде озер были также обнаружены погребенные под озерными отложениями древние береговые линии. В дальнейшем эти выводы были развиты Д. А. Герасимовым (1936), который указывал, что в позднеледниковое время, в «фазу суховея», отсутствовали не только торфяные отложения, но даже и озера, за исключением самых крупных и глубоких. Иностранные исследователи также указывали в своих работах, что в позднеледниковое время большинства озер еще не существовало, а имели место сухие котловины, в которых в пребореальное время развивались болота и только в бореальное время возникали озера (Tidelski, 1929). В этих озерах вначале отлагалась озерная известь, а позже, с атлантического времени в более влажных условиях, начинается накопление органогенных илов – сапропелей.

В 1920-е и 30-е годы разрабатываются новые методы и аппаратура для отбора проб донных отложений озер (Перфильев, 1927), проводятся оригинальные исследования микрослоистости озерных отложений, связанной с годичной изменчивостью озерного осадконакопления, с особенностями химических, биологических и бактериологических процессов в осадочной толще (Шостакович, 1934). Решаются теоретические вопросы развития озер и превращения их в болота, а также смены озерного осадконакопления торфообразованием. Этой проблеме были посвящены капитальные исследования В. Н. Сукачева (1926), В. С. Доктуровского (1932), С. Н. Тюрменного (1940), Н. Я. Каца (1941) и др. В это же время получают развитие новые биостратиграфические методы исследований – спорово-пыльцевой и диатомовый. Изучаются растительные и животные микро- и макроостатки в донных отложениях (Перфильев, Рылов, 1923), развивается метод фациального анализа осадочных пород (Наливкин, 1933), который применим и к донным отложениям озер.

В. В. Алабышевым (1932) впервые составлены карты-схемы географического распределения озерных отложений в мире и на европейской части России. Он показал, что озерные отложения являются отражением всей совокупности условий географической среды и, прежде всего, климатических условий. Поэтому, образование сапропеля, происходящее на дне современных озер, можно связать с холодным и влажным климатом севера. В. В. Алабышев выделил следующие типы озерных грунтов: пресноводные, известковистые и кремнеземистые сапропели, озерные железные руды, минеральные лечебные грязи, месторождения поваренной и глауберовой соли. Кроме того, он выделил пять основных озерных зон на поверхности Земли: 1 – субтропических и тропических пресноводных озер; 2 – солоноватых и 3 – соленых озер (расположенных к северу и югу от первой зоны); 4 – пресноводных озер тундры и 5 – лесов умеренного пояса.

В предвоенный период изучаются донные отложения озер Валдайской возвышенности (Молчанов, 1933; Соловьев, Белоголовая, 1934; Стальмакова, 1939), осадки оз. Сомино, мощность которых достигает 20 м (Нейштадт, 1936), озерные отложения Кольского полуострова, характеризующиеся высоким содержанием аутигенного кремнезема, так называемые диатомиты (Порецкий, 1934). Начинают активно вестись исследования донных отложений озер Урала (Благовещенский, 1940). В результате этих исследований в нижних слоях отложений пресных озер были найдены солоновато-водные

диатомовые водоросли, свидетельствующие о повышенной минерализации водной толщи озер в результате более засушливого характера климата.

Л. В. Пустоваловым (1940) разработано учение о механической и химической дифференциации осадочного вещества в конечных водоемах стока. Данные по скорости накопления озерных осадков для различных озер впервые были приведены в работе В. Б. Шостаковича (1941).

Четвертый этап был связан с годами Великой Отечественной войны, когда основной акцент в исследованиях был сделан на их прикладной характер. В течение двух полевых сезонов в 1942 и 1943 гг. В. Н. Сукачевым и Г. И. Поплавской (1946) было обследовано свыше 100 озер. Ими было установлено, что в большинстве озер Урала в основании разреза на минеральных отложениях залегает прослойка торфа, которую перекрывают карбонатные отложения, замещающиеся выше сапропелями. Все палеогеографические реконструкции того времени опирались преимущественно на палиностратиграфию, в основу которой была положена шкала Блитта-Сернандера, разработанная для Скандинавии. Так, например, Г. А. Благовещенский (1940) считал, что засушливый период в Зауралье был 3–4 тыс. лет назад, т. е. в суббореальное время, тогда как более поздние исследования, например В. Г. Дробковой с соавторами (1981), показали, что аридные условия были господствующими в позднеледниковое время, т. е. ранее 10 тыс. лет назад.

Пятый этап – это 1950–1980-е гг., когда исследования донных отложений озер в послевоенное время получили большой размах в нашей стране и за рубежом. В этот период получила свое развитие общая теория литогенеза, разработанная Н. М. Страховым (1960). Им были выделены ледовый, гумидный и аридный типы литогенеза, имеющие зональный характер распространения и обусловленные климатическим фактором, и вулканогенный, являющийся азональным типом осадконакопления.

Научные достижения в изучении вещественного состава озерных осадков этого периода были связаны и с появлением новых аналитических методов исследования, таких как термический, электронно-микроскопический, электронно-графический и рентгеноструктурный. Был разработан метод комплексного изучения всех видов растительных и животных остатков в донных отложениях озер, позволивший с большей точностью реконструировать особенности осадконакопления в прошлом и проводить палеогеографические реконструкции истории озер, развития ландшафтов и климата (Кордэ, 1956, 1960, 1962). Появляются новые методы датирования осадков с помощью изотопов углерода и свинца.

Исследования озерных осадков в этот период ведутся по всей территории СССР. Изучаются донные отложения озер Северного Казахстана (Анисимова, 1951; Кордэ, 1951; Шнитников, 1975), центральной части Русской равнины – озера Неро, Галичское (Кордэ, 1960), Сомино (Нейштадт и др., 1965), озер лесостепных районов (Пьявченко, 1958), соляных озер (Васильев, 1955; Дзенс-Литовский, 1955, 1957, 1960, 1968). На Дальнем Востоке проводятся исследования оз. Ханко (Жузе, 1952; Никольская, 1952). Проводятся теоретические исследования условий образования слоистости озерных отложений (Перфильев, 1972).

Работы по исследованию донных отложений озер имели и практическую значимость. Так, удалось оценить запасы сапропеля, составившего около 117,6 млрд т, являющегося прекрасным сырьем для химической промышленности и сельского хозяйства (Нейштадт, 1964; Томин, Фомин, 1964; Смирнов, 1965). Важный вклад в изучение донных отложений озер и их истории внес Л. Л. Россолимо (1964, 1967, 1971). Им была разработана теория осадконакопления озер, рассматривающая в единстве терригенное, органогенное и хемогенное накопление вещества. На этой основе им была выполнена типизация озер и их районирование.

Следует особо остановиться на исследованиях, проводимых сначала Лабораторией озероведения, основанной в 1943 г., а позже Институтом озероведения Академии наук. Начиная с 1956 г. Институт озероведения АН СССР проводит комплексные научные работы на Ладожском озере, в состав которых входили исследования колонок донных отложений мощностью до 1 м. При этом были получены первые сведения о строении, стратиграфии и распределении донных отложений Ладожского озера. Результаты этих исследований были опубликованы в ряде научных статей и в обобщающей монографии Н. И. Семеновича «Донные отложения Ладожского озера» (1966). Благодаря исследованиям С. А. Абрамовой, Е. А. Анановой (палинологический анализ) и Н. Н. Давыдовой (диатомовый анализ) было установлено, что на протяжении всего голоцена морские воды не проникали в Ладожскую котловину (Абрамова и др., 1967), чем был фактически положен конец многолетней дискуссии

о Балтийско-Беломорском соединении. Результаты исследований по палеогеографии голоцена Ладоги, опубликованные в многочисленных работах (Давыдова, 1961, 1965, 1968; Знаменская, Ананова, 1967; Шеффер, 1967; Знаменская и др., 1970; Лийва и др., 1971; Экман и др., 1975; Лак, 1976), были обобщены в монографии Д. Д. Квасова (1975) и в коллективной монографии «История Ладожского, Онежского, Псковско-Чудского озер, Байкала и Ханки» (1990).

Изучались также донные отложения таких крупных озер Восточно-Европейской равнины, как Онежское (Палеолимнология Онежского озера, 1976; История озер Восточно-Европейской равнины, 1992), Псковско-Чудское (Донные отложения Псковско-Чудского озера, 1981) и Ильмень (История озер Восточно-Европейской равнины, 1992). Комплексные исследования донных отложений озер включали в себя лито-, био- и хроностратиграфию. Огромное количество фактического материала послужило основой написания большого количества статей и монографий, посвященных палеолимнологии, палеогеографии и палеогидрологии. Результаты исследований опубликованы в восьмитомном издании «История озер» (1986, 1987, 1988, 1990, 1991, 1992, 1995, 1998) под общей редакцией сначала акад. В. Ф. Трешникова, а позже чл.-корр. В. А. Румянцева.

В этот же период выполняются комплексные исследования донных отложений малых озер Кольского полуострова, Карельского перешейка и Валдайской возвышенности (Озера различных ландшафтов..., 1969, 1972), Большеземельской тундры (Особенности структуры..., 1994), Прибалтики (Изменение структуры..., 1988) и других районов. В общей сложности изучены донные отложения свыше 100 озер, расположенных в разных природно-климатических зонах.

На основе комплексного изучения донных отложений выполнено озерное районирование, реконструированы этапы развития гидросети в послеледниковое время (Квасов, 1975) и изменения уровня режима озер Севера Евразии (**Lake-level Data Base from the Former Soviet Union and Mongolia**, 1994; 1996; <ftp://medias.meteo.fr/paleo/>; <http://www.noaa.com/paleo>).

В эти же годы большой объем исследований выполнен на озерах Белоруссии и Прибалтики. Благодаря палеолимнологическим исследованиям белорусских лимnologов под руководством О. Ф. Якушко сделан вывод, что на севере Белоруссии озера образовались в интервале времени от аллерёда до конца бореала после таяния погребенных в осадках глыб мертвого льда. На юге, в Полесье, озера возникли не ранее начала пребореала; котловины там заполнились водой в результате усиления увлажнения климата (Якушко, 1969, 1971, 1981; Якушко и др., 1967, 1978, 1982, 1985). Выполнялся спорово-пыльцевой анализ донных отложений различных озер (Еловичева, Мысливец, 1974), была подробно изучена диатомовая флора и этапы ее развития в озере Нарочь (Хурсевич, 1976). Исследовались раковины остракод в озерных отложениях (Зубович, 1978; 1983). Большое внимание в палеолимнологических исследованиях уделялось геохимическому составу и особенностям озерного литогенеза в разнотипных озерах (Жуховицкая и др., 1983а, б). Подробно изучены сапропелевые отложения Белоруссии (Пидопличко, 1975) и их хозяйственное значение (Лопотко, 1978).

В Эстонии проведены подробные исследования донных отложений озер с использованием метода радиоуглеродного датирования (Ильвес, Сарв, 1969, 1970; Ильвес и др., 1974; Сарв, Ильвес, 1976). Подробно изучена история Псковско-Чудского озера (Мийдел и др., 1975; Донные отложения Псковско-Чудского озера, 1981; **Lake Peipsi, Geology, 2000**). В Латвии уделялось большое внимание изучению сапропелей (Бракш, 1971), озерной извести – гажи (Даниланс, 1957; Аболканс, 1959). Т. Д. Бартош (1976) монографически описала пресноводные известковые отложения всей европейской части бывшего Советского Союза. Ею были составлены прекрасные карты распространения различных типов известковистых осадков и связанных с ними месторождений полезных ископаемых. Показано, что почти все современные озера Литвы образовались в результате таяния глыб мертвого льда, происходившего не ранее аллерёда (Сейбутис, 1962, 1970). Полное и подробное описание истории озер Литвы было выполнено А. А. Гарункштисом (1975). Изучены спорово-пыльцевые спектры донных отложений (Кабайлене, 1965, 1967, 1968, 1982). Применялся метод радиоуглеродного датирования (Шулия и др., 1967; Шулия, 1971).

Шестой этап охватывает последние два десятилетия XX и начало XXI в. и характеризуется бурным ростом исследований озер и их отложений на всей нашей планете. Озера изучаются не только как источник пресной воды, роль которой возрастет со временем, но и как источник сведений о прошлом, об изменениях палеогеографических обстановок и палеоклимата, чтобы на основе полученных данных

и разрабатываемых математических моделей осуществлять прогнозы изменений климата в будущем. В настоящее время существует большое количество различных международных проектов и целевых программ, объединяющих усилия специалистов разных стран и нацеленных на комплексное изучение донных отложений озер, включающее литологические, минералогические, химические, биологические и различного рода био- и хроностратиграфические исследования. Для решения комплексной задачи реконструкции природно-климатической изменчивости в прошлом необходимы высокоразрешающие летописи, в том числе полученные и из озер, и точная и детальная хронология событий прошлого. В этот список проектов и программ входят: IGBP – International Geosphere-Biosphere Programme, PAGES, PALE, PACT, QUEEN, ELDP, PEP I, II и III и ряд других (Alverson, Oldfield, 2000; Markgraf et al., 2000). Обзор этих программ можно найти в интернете на странице <http://www.pages.unibe.ch>.

В 1990-е годы ведутся активные исследования донных отложений в рамках многочисленных международных проектов на территории России, особенно в Арктической зоне. Например, на полуострове Таймыр и на Путоране были выполнены работы по изучению ряда разнотипных озер, например, таких как Лама, Таймыр, Левинсон-Лессинг и др., и их донных отложений в рамках совместных российско-немецких проектов: ‘LAPEX’, ‘Laptev Sea System’, ‘Late Quaternary Environmental Evolution of Central Taymyr’, ‘Ecology of the Marginal Seas of the Eurasian Arctic’ (Bolshiyarov, Hubberten, 1996; Hahne, Melles, 1997, 1999; Ebel et al., 1999; Hagedorn et al., 1999; Kassen et al., 1999; Kienel, 1999; Niessen et al., 1999).

На Западе проводятся комплексные палеогеографические исследования, включающие в себя, в первую очередь, изучение длинных, непрерывных кернов озерных отложений. Эти работы направлены на исследование изменений природно-климатических условий на Земле в четвертичное время (2 млн лет), характеризующихся резкими (с высокой амплитудой) изменениями климата, появлением и исчезновением крупных центров оледенения в Северном полушарии. Исследователи различных дисциплин пытаются найти ответ на вопрос, почему возникают холодные периоды, что является основным механизмом, «спусковым крючком», приводящим к этим изменениям, что служит причиной смены холодных ледниковых эпох теплыми, межледниковыми. Для ответа на эти вопросы учеными разных стран проводятся детальные, с высокой степенью достоверности, исследования донных отложений озер. Для этого использовались современные методы анализа вещественного состава, структуры осадка, растительных и органических остатков. Широкое применение получили современные методы датирования, такие как радиоуглеродное, ионно-ториевое, люминесцентное и др. Обязательным условием современных исследований кернов донных отложений озер является их корреляция на региональном и глобальном уровне с использованием метода дальних трансектов, сопоставления полученных данных с данными глубокого бурения ледниковых щитов в Гренландии и Антарктиде, параметризации всех данных (литологических, биологических, хронологических) и создания унифицированной схемы природно-климатических процессов в абсолютной временной шкале (например: Svante et al., 1998; Lowe et al., 2002 и др.).

Палеолимнологические исследования в настоящее время приняли огромный размах. Исследуются озера Северной и Южной Америки, при этом проводится анализ и сопоставление материалов, полученных по единой методике для палеогеографических реконструкций всего Американского континента (Markgraf et al., 2000). **Активно ведутся палеолимнологические исследования озер на Африканском континенте (Gasse, 2000).** Большое внимание уделяется подробному изучению донных отложений крупных озер рифтовой зоны, озер сельвы и севера Африканского континента.

Европейские палеолимнологические исследования имеют давние традиции. Созданы крупные центры, где ведутся работы по изучению донных отложений озер: это Центр палеолимнологических исследований в Англии, Лундский университет, Институт полярных и морских исследований им. А. Вегенера в Германии, исследовательские центры в Берне, Стокгольме, Упсале, Хельсинки и ряд других. Сегодня существует огромное количество научных программ, направленных на изучение озер (IGBP, PAGES, CAPE, QUEEN, PALEO, APEX и др.). Расцвет палеолимнологической науки в мире нашел свое отражение в появлении специализированных журналов (Paleolimnology; Paleogeography, Paleoclimatology, Paleohydrology; Quaternary Research; Boreas и др.).

В последние годы значительно вырос интерес к палеолимнологическим исследованиям Северного полушария, что вызвано, в первую очередь, проблемой глобального потепления климата, особенно в высоких широтах. В приполярных областях Северного полушария располагается огромное

количество озер различного генезиса и морфометрии, заархивировавших в своих донных отложениях подробную информацию об изменениях климата, ландшафтов и гидрологии в плейстоцене и голоцене. Суммарная площадь северных озер может быть оценена как $>80 \times 10^3 \text{ км}^2$. Среди них преобладают озера ледникового и термокарстового генезиса (Рянжин и др., 2010).

Долгое время полярные озера из-за своего труднодоступного географического положения были слабо изучены. Начало палеолимнологическим исследованиям в Арктике и Антарктике было положено учеными Арктического и антарктического научно-исследовательского института Росгидромета в 1960–1970-х гг. (Говоруха, Симонов, 1965; Макеев, 1971). Позже, в 1980-е гг., велись исследования по проекту «История озер СССР» Институтом озероведения АН СССР и смежными институтами, в рамках которого был изучен ряд озер Кольского полуострова, Большеземельской тундры, полуострова Таймыр и других северных регионов нашей страны (История озер, 1992, 1995).

В последние десятилетия развернулись активные научно-исследовательские работы по изучению стратиграфии донных отложений озер Севера Евразии и реконструкции палеогеографических и палеоклиматических обстановок прошлого учеными различных учреждений России при участии зарубежных коллег в рамках международных проектов «Озеро Эльгыгытгын», «Озера Сибири» и др. В настоящее время вскрыты отложения в уникальном оз. Эльгыгытгын метеоритного происхождения, послойное изучение которых позволит реконструировать изменения климата на протяжении 3,6 млн лет (Olaf Jushus et al., 2011; Melles et al., 2012; Brigham-Grette et al., 2013). **Новые оригинальные данные** совместно с немецкими и якутскими коллегами получены в рамках проекта «Озера Сибири» по изучению истории озер Якутии, таких, например, как Биллях, Сатагай и др., история которых охватывает временной интервал до 30–40 тыс. лет. Установлено, например, что накопление донных отложений в оз. Биллях, расположенного в районе Верхоянского хребта, идет непрерывно не менее 40 тыс. лет, что свидетельствует об отсутствии в исследуемом регионе значительных ледниковых шапок в максимум последнего оледенения. Получена детальная картина колебаний климата и природных обстановок в голоцене для северо-восточной Сибири (Большаинов и др., 2013; Andreev et al., 2004; Nazarova et al., 2013; Sundqvist et al., 2014) и **выявлены изменения характера озерного органиконакопления** в зависимости от солнечной активности (Пестрякова и др., 2008).

Активно ведутся палеолимнологические исследования на европейском севере, включающие в себя реконструкции природно-климатических обстановок в послеледниковое время, динамики уровня крупных бассейнов по периферии Балтийского кристаллического щита, выявление причин и механизмов резких климатических изменений на границе плейстоцена и голоцена (Субетто, 2009). Например, проведены исследования донных отложений разновысотных озер Соловецкого архипелага, позволившие реконструировать динамику изменения уровня Белого моря в послеледниковое время (Субетто и др., 2012). Аналогичные исследования были выполнены ранее для восточной части Балтийского моря и Ладожского озера.

Детальные литологические, геохимические и микропалеонтологические исследования донных отложений малых озер Северо-Запада России позволили выявить уникальные природные события на границе позднего плейстоцена и голоцена (13 000–10 000 лет назад). Резкое изменение климата в позднем плейстоцене (позднелдрийское похолодание) связывают с резким ослаблением термохалинной циркуляции в результате массового поступления пресной воды в северную Атлантику из крупных приледниковых бассейнов Северной Америки и Европы. Есть и другая гипотеза, связывающая позднелдрийское похолодание с метеоритным ударом. Согласно этой гипотезе, незадолго до начала похолодания около 12 900 лет назад, крупный болид (диаметром до 4 км) взорвался над Лаврентийским ледниковым щитом Северной Америки. Последствия этого катастрофического события могли привести к резкому изменению климата. Если метеорит взорвался над Северной Америкой, то преобладающее движение воздушных масс с запада на восток могло перемещать микрочастицы, образовавшиеся при взрыве, достаточно далеко, в том числе и в Западную и Восточную Европу. Ряд исследований показал, что в позднелдрийских отложениях в Западной Европе присутствует материал, который может быть связан с метеоритным ударом. Для того чтобы выявить геохимические признаки метеоритного удара, были проанализированы позднелдрийские осадки из наиболее глубокой части оз. Медвежьего, расположенного на Центральной возвышенности Карельского перешейка. Геохимические исследования донных отложений показали, что содержание и особенности распределения микроэлементов в разре-

зе позднеплейстоценовых осадков указывают на присутствие здесь материала из источников, не типичных для озерных отложений региона. Возможно, что осадки оз. Медведевского содержат микрочастицы, образовавшиеся в результате метеоритного удара, произошедшего около 12 900 лет назад. Поскольку обогащение осадков оз. Медведевского маркирующими микроэлементами очень незначительно, то можно предположить, что территория СЗ России, вероятно, является наиболее удаленным восточным регионом распространения переносимого воздушным путем материала, образовавшегося в результате позднеплейстоценового метеоритного удара (Андроников и др., 2014).

Палеолимнологические исследования подтвердили тот факт, что Арктика является регионом, который быстрее и сильнее реагирует на изменение климата Земли (феномен «арктического преувеличения»). В процессе исследований севера Сибири был получен огромный палеогеографический материал, который послужил основанием для оценки современного состояния, прогнозирования развития, а также биомониторинга экологических условий тундровых экосистем.

В последние десятилетия перед человечеством встала острая проблема прямого и косвенного взаимодействия и воздействия человека на биосферу Земли. Для всего человечества актуальными становятся проблемы сохранения источников чистой пресной воды, наземных и водных экосистем, усиление процессов эрозии почв, изменение химического состава атмосферы, снижение биопродуктивности Океана, катастрофический рост температуры воздуха за последние десятилетия и, возможно, проблема изменения климата в недалеком будущем. Все эти проблемы активно обсуждаются на многочисленных конференциях различного уровня. Оценка динамики природных процессов в прошлом есть ключ для познания процессов будущего и для предсказания возможных сценариев развития биосферы и ноосферы в скором настоящем!

Материалы и объекты палеолимнологических исследований

Основными объектами палеолимнологических исследований являются озера Восточно-Европейской равнины и сопредельных территорий, а также озера Западной и Восточной Сибири, Южного Урала и Северного Казахстана. В настоящее время исследованы донные отложения более чем 40 озер, в том числе и озер-гигантов Европейского континента – Ладожского и Онежского (Субетто, 2009). Большинство изученных озер расположены в зоне гумидного климата и в области распространения покровного ледника последнего оледенения, за исключением озер, возникших вне гляциальной области (Большеземельская тундра, Центральный район, Украинское Полесье, Южный Урал, Западная Сибирь и Северный Казахстан) и озер семиаридной зоны (Северный Казахстан) (рис. 1–2).

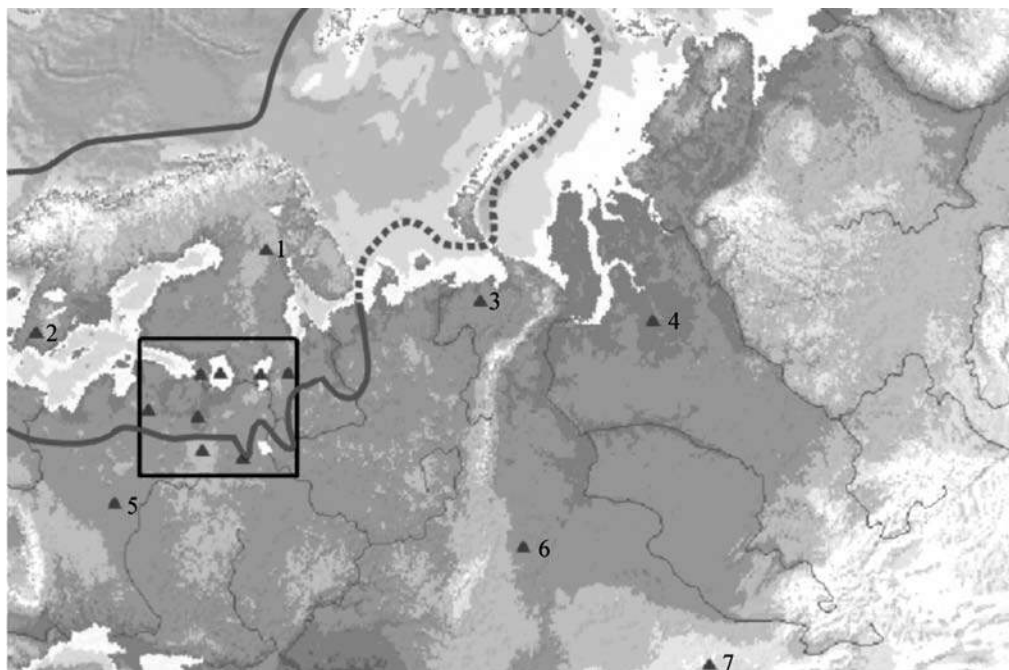


Рис. 1. Изученные озера. Изогнутой линией очерчена граница последнего оледенения. Врезку см. на рис. 2



Рис. 2. Изученные озера Северо-Запада России

Озера имеют различный генезис, влияющий на характер и скорость осадконакопления. Существуют различные генетические классификации озер. Выделяются тектонические, вулканические, оползневые, ледниковые, карстовые, флювиальные, эоловые, прибрежные, органические, антропогенные и метеоритные озера.

Методология и методика полевых и лабораторных работ

Методология полевых работ строится с учетом главной цели, направленной на выявление генезиса исследуемых озер (рис. 3–4).



Рис. 3. Отбор кернов донных отложений с плавучей платформы на оз. Кютюнда, северная Якутия, 2010 г.



Рис. 4. Палеолимнологические исследования на оз. Эльгень-Кюль, северная Якутия, 2010 г.

Полевые исследования включают в себя:

- 1) Выбор объекта исследования в зависимости от целей и задач;
- 2) Выбор плавсредств и оборудования для пробоотбора: дночерпатели, грунтовые трубки или буры различных модификаций;
- 3) Привязка на местности: координаты, высота над уровнем моря;
- 4) Определение гидрологических и морфометрических характеристик озера на месте и с помощью топографических карт;
- 5) Пробоотбор на крупных озерах велся в период открытой воды с помощью различного вида плавсредств, а на малых озерах – преимущественно в зимнее время года со льда, летом – с лодок, в прибрежной зоне отбор производился со сплавины;
- 6) Замер мощности донных отложений, предварительное литостратиграфическое описание колонок донных отложений, отбор проб.

При планировании сетки станций отбора проб на крупных озерах учитываются морфометрические особенности строения озерной котловины: распределение глубин, очертания и изрезанность береговой линии, расположение устьев основных притоков и стока, а также динамические процессы в водной толще. Обычно разрезы располагаются перпендикулярно к продольной оси озера.

Станции пробоотбора на разрезах намечаются на равном расстоянии друг от друга, а для озер с уже известным характером распределения различных типов осадков – в зависимости от строения донных отложений. На небольших озерах выбираются одна-две станции в наиболее глубоководной их части, соответствующей зоне максимальной мощности осадков. Репрезентативными для палеолимнологических целей являются колонки, которые включают полный разрез позднеплейстоценовых и голоценовых озерных отложений.

Для отбора проб используются различные типы *пробоотборников*: дночерпатели (Экмана-Берджи, «Океан» и др.), стратометры Перфильева (длина трубки 1 м), ударные грунтовые трубки длиной от 1 до 4 м (трубки ГОИН, тяжелые гравитационные трубки), штанговые поршневые трубки и торфяные буры диаметра 5, 7 и 10 см, позволяющие отбирать монолиты донных отложений мощностью до 10–15 м с ненарушенной структурой (рис. 5–7).

На больших озерах *пробоотбор* производится с борта научно-исследовательских судов (рис. 6), а в прибрежной зоне – с катера. На малых озерах летом работа ведется с лодки, а зимой – со льда, при этом предварительно проводится зондировка мощности донных отложений штанговым буром в нескольких точках. Поверхностные пробы отбираются дночерпателем или лотом Воронкова.

После того как образцы грунта поднимаются на поверхность, производится их *документация*. Определяется мощность керна в трубке или монолита, указывается характер (тип) осадка, его цвет, структурные и текстурные особенности, наличие минеральных и органических включений, производится предварительное определение гранулометрического состава, границы между различными типами осадка и, соответственно, их мощности.

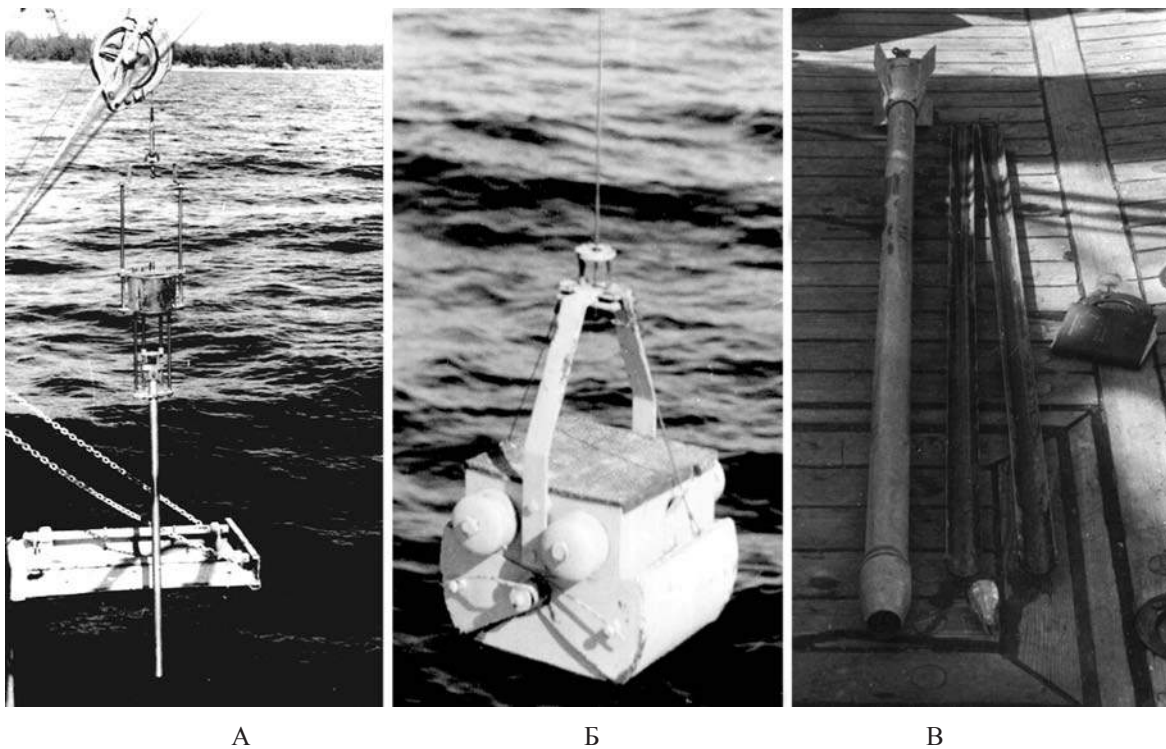


Рис. 5. Виды пробоотборников:

А – стратометр Перфильева; Б – дночерпатель Экмана-Берджи; В – ударная трубка ГОИН-1.5 с пеналом (фото автора)



Рис. 6. Отбор поверхностных проб донных отложений на Ладожском озере (сентябрь 2000 г.) с помощью дночерпателя «Экмана» с борта НИС «Талан». На палубе д. б. н. Н. Н. Давыдова и д. г. н. Д. А. Субетто



Рис. 7. Проведение буровых работ на озерах Соловецкого архипелага с использованием катамарана и торфяного бура. 2006 г.

Колонки донных отложений фотографируются, измеряется мощность различных типов осадков, отбираются послойно образцы на различные виды анализов. Для более детального изучения и послойного отбора проб (рис. 8) колонки донных отложений упаковываются в пластик и транспортируются в лаборатории.

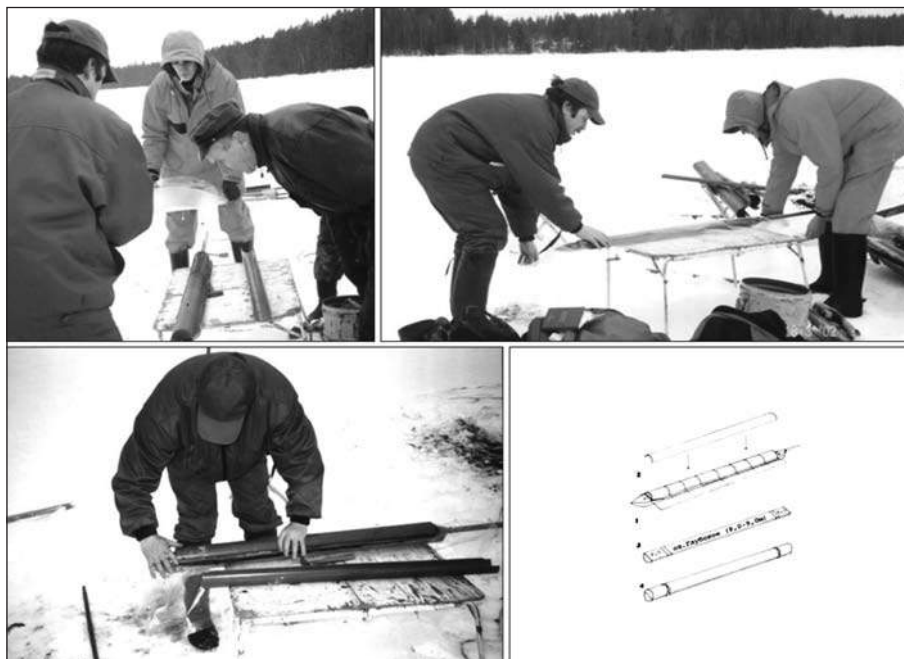


Рис. 8. Отбор колонок донных отложений с помощью модифицированного торфяного бура (длина рабочей части 1 м, диаметр 5, 7,5 и 10 см). Отобранный керн донных отложений покрывается сверху полиэтиленовой пленкой (1), затем сверху накладывается половина пластиковой трубы, в которую укладывается керн (2), все заворачивается в пластик и надписывается (3), и сложенные вместе два керна готовы для транспортировки (4)

Для получения непрерывных, ненарушенных кернов используется *метод отбора колонок с перекрытием*, чтобы в дальнейшем можно было провести их корреляцию между собой и для непрерывного отбора проб.

Для изучения строения и определения мощности осадочных толщ крупных озер применяют *геофизические методы исследования* – геолокация и непрерывное сейсмопрофилирование дна.

В *лабораторных условиях* проводится детальное литостратиграфическое описание кернов донных отложений, их корреляция друг с другом, отбор проб на различные виды анализов, включая гранулометрический, химический и микропалеонтологический (диатомовый, спорово-пыльцевой, остракодологический). В дальнейшем проводится аналитическая обработка материалов, интерпретация полученных результатов и сопоставление с ранее полученными данными.

При проведении исследований применяется *принцип сплошного отбора проб*, который в изучении озерных отложений имеет значительное преимущество при получении более достоверной и детальной информации о происходивших в прошлом изменениях природной среды, а также *принцип комплексности* в обработке образцов донных отложений, т. е. привлечение максимально возможного количества разнообразных методов и анализов.

Одним из основных способов расчленения озерных отложений является *литостратиграфический метод*, базирующийся на изучении колонок донных отложений различной мощности литологическими и палеонтологическими методами, дополненными результатами датирования с помощью *радиоуглеродного, варвохронологического, тефрохронологического методов*, а также на основе использования изотопов свинца, цезия и пр.

Принципиальной основой литостратиграфического метода является выделение и прослеживание по площади естественных седиментационных пачек, характеризующихся набором специфических литологических признаков, отражающих конкретные условия седиментации (седиментационные обстановки) и позволяющих четко выделять указанные пачки в разрезах. Как правило, изменение условий седиментации связано с последовательной сменой основных этапов палеогеографического развития водного бассейна, что позволяет увязать эти седиментологические события с хроностратиграфической шкалой и произвести возрастное расчленение разреза.

Формирование *литостратиграфических единиц* обусловлено временем существования тех или иных седиментационных обстановок, которые могут отличаться в различных районах одной и той же акватории. В этом проявляется *одно из важнейших свойств литологических границ – их метакхронность*. Она связана обычно с частичным несовпадением глобального изменения климата и смены гидробиологического режима самих водоемов. *Основными литологическими критериями*, позволяющими различать литостратиграфические подразделения, являются вещественный состав, текстурные особенности, цвет осадков, наличие или отсутствие в разрезе органических остатков, аутигенные образования. Существенное значение имеет изучение цикличности разрезов, позволяющее проводить расчленение разрезов и региональные сопоставления в различных фациальных зонах. Большое значение при *литостратиграфических корреляциях* приобретает анализ *перерывов осадконакопления*. В конкретных разрезах перерывы в седиментации связаны обычно со сменой гидродинамического режима и могут быть отнесены к разряду стратиграфических. Наибольшее значение имеют регионально проявленные несогласия, такие как перерыв в осадконакоплении в основании голоценовых отложений, установленный во многих озерах гляциальной зоны.

В изучении стратификации озерных отложений все большую роль играет *высокочастотная модификация сейсмоакустического метода*, получившая название *геолокация*. Она позволяет с высокой степенью разрешения получать информацию о строении осадочных толщ и расчленять осадочные толщи на различные типы осадков (ледниковые, ледниково-озерные и озерные отложения), а также определять мощность озерных отложений, фиксировать различного вида тектонические нарушения.

Аналитическая обработка образцов донных отложений включает в себя гранулометрический, химический, минералогический, палеомагнитный, тефрохронологический, варвохронологический, биостратиграфический (диатомовый, спорово-пыльцевой, остракодологический) и радиоуглеродное датирование. *Гранулометрический анализ* является одним из основных методов изучения озерных отложений и проводится по стандартным методикам (Справочник по литологии,

1983). Гранулометрическому анализу предшествовали определение естественной и гигроскопической влажности, потеря при прокаливании. Результаты гранулометрического анализа в лимнологии используются в трех основных направлениях: 1) для выделения тех или иных разновидностей осадков, согласно принятой классификации, 2) для картирования распространения по акватории тех или иных гранулометрических разностей, 3) для определения характера изменения гранулометрического состава донных отложений по разрезу, чтобы установить характер гидрологического режима и изменение уровневого режима озера в прошлом.

Для выявления изменений в гранулометрическом составе донных отложений требуется сплошной отбор проб, не допускающий пропуска ни одной из литологических разностей осадка, так как именно изменение гранулометрических особенностей донных отложений во времени часто является наиболее показательным признаком изменений условий седиментации и сравнения озерных отложений.

Для определения валового *органического углерода* ($C_{\text{орг}}$) образцы высушиваются при температуре +105 °С, затем растираются и сжигаются в мультифазном углерод/водород/влажность анализаторе LECO RC-412. **Содержание минерального углерода в изученных донных отложениях не превышает 1 %.** В образцах донных отложений анализируется содержание органического вещества по потерям при прокаливании (П.П.П., $t = +550$ °С). Органическое вещество (ОВ) является важнейшим компонентом озерной седиментации. Оно характеризует баланс продукционно-деструкционных процессов в озерной экосистеме. Соотношение аллохтонного и автохтонного органического вещества и его содержание изменяется в соответствии с климатическими колебаниями и особенностями развития озер.

Увеличение доли ОВ в разрезах озерных отложений голоценового времени связано с усилением процессов эвтрофирования водоемов, что, в свою очередь, является производной климата и саморазвития озерных экосистем. Результаты определения П.П.П. или $C_{\text{орг}}$ в кернах изображаются в виде кривых. Форма кривых распределения ОВ позволяет выделять периоды улучшения климатических условий, а при совместном рассмотрении динамики кластогенного и карбонатного (если есть) веществ – судить о характере осадконакопления в отдельные интервалы времени.

Определение элементарного состава органического вещества дает дополнительную информацию о характере седиментации и источниках его поступления. Так, отношение C/N в их пределах широко колеблется в различных водных макрофитах (20–80) и довольно мало в планктоне (до 10), в связи с чем может служить показателем роли аллохтонного и автохтонного материала в составе ОВ донных отложений.

Определение содержания породообразующих *макроэлементов* (Si, Al, Ti, Fe, Mg, Mn, Ca, Na, K) и ряда *микроэлементов* (Co, Ni, Cu, Pb, Cr, V) изучается количественным методом эмиссионного спектрального анализа.

Для палеогеографических и палеолимнологических реконструкций используются результаты *спорово-пыльцевого, диатомового и остракодологического* анализов, а также данные *магнитостратиграфии, варвохронологии, тефрохронологии и радиоуглеродного датирования*.

Для корреляции между собой кернов озерных отложений, полученных из одного водного бассейна, используется *метод магнитостратиграфии*, при котором определяется магнитная восприимчивость (χ) и остаточная намагниченность (SIRM), позволяющие скоррелировать между собой с более высокой степенью достоверности керны донных отложений. Остаточная намагниченность и магнитная восприимчивость в большей степени связаны с составом, структурой и концентрацией магнитных минералов в осадке, чем с геомагнитным полем. Значения остаточной намагниченности и магнитной восприимчивости отражают прямо пропорционально относительное содержание магнитных минералов в осадке, а также роль аллохтонного материала в осадконакоплении.

Основным методом для относительного возрастного расчленения отложений озерных акваторий являлся спорово-пыльцевой метод. Этот метод не только обеспечивает надежное определение относительного возраста осадков, но и позволяет осуществлять корреляцию отдельных частей разреза озерных отложений вне зависимости от их генезиса и фациальных разновидностей.

Многолетние исследования отложений озер-гигантов Ладожского и Онежского, озера Ильмень, озер Северо-Запада и Северо-Востока России, Валдайской возвышенности, Южного Ура-

ла, Западной Сибири и северного Казахстана позволили реконструировать историю развития палеогеографических обстановок, обосновать возраст ледниково-озерных и озерных образований, выделить в них палеогеографические реперы и составить местные и региональные стратиграфические схемы.

Существенный вклад в изучение стратификации озерных отложений и оценку экологических обстановок самого озера на протяжении всего его развития вносит *диатомовый анализ*. Использование этого метода позволяет реконструировать историю озер, характер изменения уровня озер в прошлом, историю эволюции озерных экосистем, выделять периоды существования пресноводных и солоноватоводных фаз в развитии водных бассейнов. Образцы на диатомовый анализ отбираются через каждые 2–5–10 см, обрабатываются и по полученным результатам строятся процентные диаграммы.

Важное значение для палеолимнологических реконструкций имеет *остракодологический анализ*. Небольшие размеры кальцитовых раковин ракушковых рачков – остракод (от 0,25 до 2 мм) – дают возможность получить достаточно представительный материал из колонок донных отложений. Образцы остракод при сплошном отборе проб мощностью 5–10 см обрабатываются методом отмучивания, с последующим высушиванием порошка и отбором раковин. В каждой пробе производится количественный подсчет раковин остракод каждого вида и вычисляется их процентное соотношение. По смене таксономического состава остракод, количественного соотношения представителей различных семей, родов и видов, в том числе индикаторов температуры, солености, трофности, можно судить об изменениях глубины, термического и гидрохимического режимов озер и степени их трофности на протяжении времени их развития.

Абсолютные методы датирования четвертичных отложений, прежде всего радиоуглеродный (^{14}C) метод, позволили скорректировать недостатки относительного определения возраста биостратиграфическими методами и обосновать абсолютную геохронологическую шкалу возраста озерных отложений. Однако использование грунтовых колонок во время пробоотбора ограничивает возможности использования этого метода, прежде всего, из-за невозможности отбора представительных проб для датирования. Донные осадки озер, расположенных в условиях холодного гумидного или полярного литогенеза, содержат мало органического вещества, а вероятность попадания в грунтовую трубку отдельных обломков древесины крайне мала.

Внедрение радиоуглеродных определений по микронавескам с помощью *ускорителя в комплексе с масс-спектрометром (AMS)* позволяет существенно расширить возможности радиоуглеродного метода и повышает эффективность стратиграфических построений. Ценность AMS-датирования заключается не только в малом весе образцов, но и в возможности датировать тщательно отобранные растительные остатки, что резко повышает надежность датировок и снижает вероятность загрязнения образцов древней органикой.

Варвохронологические исследования ленточных глин – ледниково-озерных отложений – заключались в измерении мощности варв (лент, состоящих, как правило, из двух слоев – светлого, алевроитового, «летнего» слоя и темного, глинистого, «зимнего» слоя) и в изображении полученных результатов в виде *варводиagramм*, где по оси абсцисс откладывались порядковые номера слоев, соответствующие варвогодам, а по оси ординат – мощность слоев, иногда раздельно «летних» и «зимних». Отсчет слоев ведется с нижней части разреза. Варводиagramмы, полученные для разных мест, коррелируются между собой по характеру изменения кривых, а также по литологическим характеристикам (цвет, размерность частиц). Эти исследования наиболее перспективны в областях распространения в прошлом крупных приледниковых бассейнов.

В последние годы все большее распространение получают *методы абсолютного датирования молодых озерных осадков в зонах интенсивной седиментации на основе радиосвинцового (^{210}Pb) метода*.

Большое значение для датирования и корреляции озерных отложений имеют *палеомагнитные исследования*. Многочисленными исследованиями показано, что направление остаточной намагниченности донных осадков, которое определяется с помощью высокочувствительных магнитометров, совпадает с направлением локального геомагнитного поля во время образования осадков. Слой донных отложений мощностью в несколько сантиметров (именно таков обычно размер палеомагнитного

образца) образуется в течение длительного времени, поэтому направление намагниченности образца соответствует среднему направлению геомагнитного поля за этот временной интервал.

Результаты палеомагнитных исследований колонок донных отложений обычно представляются в виде графиков зависимости склонения, наклонения и величины остаточной намагниченности образцов от их положения в колонке. Первые два параметра обусловлены направлением локального древнего геомагнитного поля, изменение же величины намагниченности отражает изменения в составе, структуре и концентрации магнитных минералов, а также в какой-то степени изменения напряженности геомагнитного поля. Разрешающая способность палеомагнитного метода по возрасту обычно составляет от нескольких сотен до нескольких тысяч лет.

Заключение

При всем огромном фактическом материале, собранном в рамках палеолимнологических исследований, по-прежнему актуальным остается вопрос детального изучения с высокой степенью разрешения процессов седиментогенеза в озерах, их увязки между собой и сопоставления с палеогеографическими событиями прошлого, открытие которых продолжается и по настоящее время. Необходим переход на другой уровень исследований или методологию, а именно: на отбор послойно образцов донных отложений с разрешением до 1 см и менее, использование современных методов датирования – AMS, тефрохронология, корреляция с ледниковой стратиграфией (GRIP ice-core), использование абсолютной хронологии, выполнение дальних корреляций.

Ряд полученных данных по строению донных отложений озер включены в европейскую и глобальную базу данных (<ftp://medias.meteo.fr/paleo/> и <http://www.noaa.com/paleo>) и используются для реконструкции уровней озер в прошлом.

Вопросы для самоконтроля

1. Предмет изучения палеолимнологических исследований.
2. Опишите основные этапы истории исследования донных отложений озер.
3. Основные инструменты для отбора палеолимнологических проб.
4. Проведение палеолимнологических исследований в зависимости от сезона.
5. Основные методы изучения палеолимнологических проб.

ЦИФРОВЫЕ БАТИМЕТРИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ОЗЕР – НЕОБХОДИМЫЙ ИНСТРУМЕНТ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ЛИМНИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

М. А. Наumenko

Институт озераведения РАН, г. Санкт-Петербург

Данный материал используется при чтении магистерского курса «Термика и динамика озер» на гидрологическом факультете Российского государственного гидрометеорологического университета.

Один из первых русских лимнологов, исследователь озера Байкал и основатель Института озераведения Глеб Юрьевич Верещагин (1930) отмечал, что морфология озер является одним из самых существенных признаков, которыми может быть охарактеризована их природа. В наиболее значимых монографиях И. В. Молчанова по Ладожскому (Молчанов, 1945) и Онежскому (Молчанов, 1946) озерам имеются обширные главы о морфометрии и морфологии озерного ложа, особенностях рельефа дна и подчеркивается их значение в озерных процессах.

Размеры и форма котловины крупных озер мира, распределение глубин, уклонов дна и производные от них другие морфометрические характеристики имеют первостепенное значение для изучения лимнических процессов, организации наблюдений, лимнологической типизации и прогнозирования большинства процессов в озерах мира.

Точное количественное описание распределения глубин важно для изучения термического и светового режима, волновых процессов, процессов, ответственных за перераспределение грунтообразующего материала и его накопление в различных районах. Рельеф дна во многом определяет распространение речных вод в озере, особенно их динамику в придонных слоях.

Разные породы и осадки образуют и различные формы рельефа, которые отличаются углами склонов, относительными превышениями, ориентировкой и пространственным положением отдельных форм.

От формы и размеров озерной впадины зависят сроки замерзания и вскрытия ледостава в тех или иных районах, а также даты наступления и продолжительность различных гидрологических сезонов.

На первостепенную важность изучения распределения глубин Мирового океана указывала Г. В. Агапова (2008): «В познании природы океанов и решении практических задач опорным направлением является исследование и картографирование подводного рельефа. Для обеспечения научных изысканий и решения прикладных задач необходимы карты рельефа дна различного содержания и масштаба. Повышаются требования к детальности, достоверности, точности и наглядности карт».

Основной особенностью картирования распределения глубин водоемов является недоступность подводного рельефа для визуального наблюдения, поэтому лишь наличие точных карт позволяет судить об особенностях рельефа дна водоемов. В настоящее время дистанционные методы (авиационные и спутниковые), охватывающие большие пространства суши, делают только первые шаги в картировании дна мелководных водоемов (Gao, 2009). Все карты подводного рельефа океанов, морей и озер получены на основе прямых промеров глубин и эхолотных измерений, которые были произведены различными экспедициями и не являются обязательно синхронными, в отличие от квазисинхронной радиолокационной съемки высот поверхности суши, произведенной в течение нескольких дней 11–22 февраля 2000 г. с шаттла «Эндевор» (Shuttle Radar Topography Mission).

Главная особенность подводного рельефа – сложность строения и многообразие форм и поверхностей, во многом отличающихся от наземного рельефа обликом, происхождением, расположением в пространстве и структурными соотношениями (Агапова, 2008). Известно, что для подавляющего большинства озер мира их площадь и объем были вычислены планиметрическими методами с использованием крупномасштабных карт. И. К. Лурье (2010) отмечает ограниченность ручного анализа: «Известно, что карты обладают ограниченными аналитическими средствами по сравнению с ГИС. В отличие от данных для ГИС, форма хранения картографических данных не обеспечивает, например, возможности анализа взаимосвязей между различными феноменами, если они не отображены на карте. ... Перевод карт и других источников пространственной информации в цифровую форму и ГИС-технологии ее анализа открывают новые пути манипулирования географическими знаниями и их отображением (визуализацией)».

Применительно к задачам изучения подводного рельефа озер это означает, что получение морфометрических характеристик эффективнее осуществлять не на основе распределения стандартных линий равных глубин (изобат), проведенных на навигационных картах, а на основе цифровых моделей подводного рельефа. Будем называть их цифровыми батиметрическими моделями (ЦБМ). С появлением современных средств и методов измерения глубин водоемов с использованием прецизионных и многолучевых эхолотов, оперативных способов обработки данных промера появилась возможность создания точных цифровых батиметрических моделей водоемов. Это направление лимнологии стало быстро развиваться.

Математическое моделирование является одним из наиболее важных инструментов научного анализа и синтеза сложных систем, в том числе рельефа. Количественные характеристики озерной котловины, выраженные в удобной для моделирования форме, необходимы для экологического моделирования состояния крупных озер и их водосборов. В настоящее время на основе сформулированной К. А. Салищевым (1982) идеи о картографическом моделировании и разработанных компьютерных пакетах программ, позволяющих создавать цифровые картографические модели, появляется возможность создания батиметрических моделей крупных озер. Под картографическим моделированием следует понимать создание, анализ и преобразование картографических произведений как моделей объектов и процессов с целью их использования для приобретения новых знаний об этих объектах и процессах (Салищев, 1982; Берлянт, 1986).

Цифровая модель подводного рельефа позволяет провести тщательное изучение рельефа озер. Рельеф дна характеризуется, как известно, совокупностью измеренных глубин, отнесенных к установленному нулю глубин (Сорокин, 1980). Построение морфометрических моделей основано на использовании реальных батиметрических карт и создании цифровых массивов данных о глубинах с их координатами. Формальное картографическое изображение по самой своей сути приспособлено для создания моделей. Каждой точке карты с координатами X и Y поставлено в соответствие лишь одно значение глубины $Z = f(X, Y)$. По первой производной от данной функции выявляются линии максимальных и минимальных уклонов, т. е. кривизна поверхности дна. Эти параметры необходимы и достаточны для описания математической модели рельефа. Указанные параметры также являются непосредственными геометрическими характеристиками криволинейных объектов, что позволяет определять границы элементарных поверхностей в виде структурных кривых (структурных линий рельефа). Структурные линии также имеют свою характеристику, позволяющую классифицировать поверхности по профилю (Симонов, 1998).

При построении модели реального озера точки должны выбираться с условием возможно более равномерного покрытия акватории и отражением характерных особенностей расположения глубин. Плотность покрытия акватории исходными данными и степень взаимозависимости между глубинами будет определять принципы интерполирования.

Описание распределения множества точек в пространстве относительно друг друга заключается в измерении расстояния от каждой точки до ближайшей к ней. Параметр R_n вычисляется по формуле:

$$R_n = \frac{\bar{D}}{0,5 \times (1/\sqrt{A/N})},$$

где R_n – статистика распределения, $\bar{D}$ – среднее расстояние между ближайшими соседями, A – площадь изучаемой территории (в тех же единицах измерения, что и D), N – число точек на изучаемой территории (Clark, Evans, 1954). Значения R_n находятся в пределах от 0 до 2,15. Если точки скученны, то $R_n = 0$; если точки распределены равномерно по территории, $R_n = 2,15$; если точки распределены случайно, то $R_n = 1,0$. Такой простой подход позволяет сразу три словесных термина (скученность, равномерность, случайность) охарактеризовать одним числом на непрерывной числовой шкале в диапазоне от 0 до 2,15.

Общепринято изображение рельефа дна на карте в виде линий равной глубины – изобат. Задача интерполирования значений параметра возникает при необходимости получить промежуточные его значения в точках, где нет реально измеренных величин, с целью, например, проведения линий равного значения параметра.

Из всех форматов цифровых моделей наибольшее распространение получили модели на регулярной прямоугольной сетке (гриде). В настоящее время разработано достаточно большое количество методов интерполирования в регулярные узлы сетки по данным, заданным нерегулярно в двух-, трехмерном пространстве. Чаще всего используется так называемый метод кригинга (kriging), основанный на последовательном проведении идеи минимизации средней, в статистическом смысле, ошибки результатов интерполирования. Этот метод реализован в прикладном графическом пакете программ SURFER. Кригинг-метод интерполирования является наиболее употребимым методом в геостатистике. Вначале определяется поверхность тренда и вычитается из данных, а затем с учетом входящих в радиус интерполирования точек моделируется значение, оптимальное в статистическом смысле. Качество интерполирования определяется на основе оценки отклонений исходных точечных значений от результирующей поверхности. Следует заметить, что этот метод во многом подобен методу оптимальной интерполяции, разработанному Л. С. Гандиным.

Батиметрическая модель рельефа позволяет построить любые вспомогательные изобаты, что повышает информативность изображения подводного рельефа. Более того, методы компьютерного анализа способствуют построению и визуализации трехмерного изображения подводного рельефа озер при различной освещенности и экспозиции.

В табл. 1 приводится информация о некоторых созданных к настоящему времени цифровых моделях подводного рельефа озер Мира.

Таблица 1

Озера Мира, для которых созданы цифровые модели подводного рельефа

Озеро	Годы	Авторы
Ладожское озеро	1995	М. А. Науменко
Озеро Тахо (США)	1998–1999	J. Gardner et al.
Онежское озеро	2000	М. А. Науменко
Большое Невольничье озеро	2000	WM. Schertzer
Озеро Телецкое	2001	Селегей и др.
Озеро Байкал	2002	П. П. Шерстянкин и др.
Великие Американские озера	2000–2004	GLER NOAA
Вдхр. Камское	2002	С. В. Пьянков
Вдхр. Воткинское	2002	В. Г. Калинин, С. В. Пьянков
Озеро Албано (Италия)	2006	M. Anzidei et al.
Женевское озеро	2010	Vincent Sastre, Jean-Luc Loizeau, Jens Greinert et al.
Озеро Восток	2010	С. В. Масолов, В. В. Попов и др.

На основе уже созданных цифровых батиметрических моделей крупнейших озер Европы – Ладожского и Онежского – продемонстрируем некоторые важные этапы создания моделей рельефа дна крупных озер (Науменко, 1995, 2000, 2013; Науменко, Каретников, 2000) (табл. 2).

Таблица 2

Основные данные, на основе которых создавались батиметрические модели

Характеристика исходной информации, используемой для построения морфометрической модели	Ладожское озеро	Онежское озеро
Общее количество точек	9855	4357
Количество точек, используемое для построения рельефа дна озера	7426	3201
Количество точек, используемое для построения береговой линии	1537	1012
Среднее расстояние между ближайшими точками	882	913
Параметр равномерности распределения точек в пространстве R_d	1,32	1,24

Среднее расстояние между ближайшими соседями составляет для Ладожского и Онежского озер 882 и 913 м соответственно, а параметр равномерности распределения точек в пространстве, вычисленный по приведенной формуле, свидетельствует, что точки на данных объектах распределены почти случайно (рис. 1). Степень насыщенности (площадь, на которую приходится не менее одной точки) составляет 0,5 км².

Таким образом, для создания цифровой батиметрической модели Ладожского и Онежского озер шаг равномерной сетки (размер грида) был выбран 0,5 км.

Оптимальными были приняты параметры, при которых площадь акватории озера соответствует площади, определенной картографическими методами, с минимальной средней ошибкой интерполирования (в нашем случае 0,05 м) и наименьшей остаточной дисперсией. Таким образом, при использовании для построения цифровой батиметрической модели Ладожского озера количества базовых точек 9855 оптимальными параметрами интерполирования были приняты: шаг – 0,5 км, радиус интерполирования – 8 км. Общее количество точек эквидистантной сетки модели составило 70 190 для грида размером 425 × 345 узлов при ошибке интерполирования 0,05 ± 0,01 м.

Цифровые модели Ладожского и Онежского озер позволили получить различные статистические характеристики глубин и уклонов озера, которые крайне трудно рассчитать картографическими методами (Науменко, 1995, 2000, 2013; Науменко, Каретников, 2000). Особо следует подчеркнуть, что цифровые модели как Ладожского, так и Онежского озер позволили уточнить объемы этих озер. Современные методы вычисления объемов депрессий все больше используют цифровое представление рельефа в виде грида, что позволяет вычислять объем от какой-либо горизонтальной поверхности до известной поверхности, например, поверхности дна озера для единичной ячейки грида. Суммируя объемы всех гридовских ячеек, получаем общий объем. Такой метод гораздо точнее вычисляет общий объем депрессии, чем долгое время используемый планиметрический метод, основанный на представлении, что объем между двумя изобатами может быть вычислен как объем усеченного конуса, ограниченный этими изобатами. Использование формулы усеченного конуса оправдано для вычисления объема небольших водоемов с достаточно равномерным уклоном дна. Когда уточняется объем больших водоемов с неравномерным распределением глубин и различными уклонами

дна, преимуществом обладают цифровые батиметрические модели. Для крупнейших озер Европы рассчитаны новые батиметрические и объемные кривые. Таким образом, откорректированные объемы и средние глубины Ладожского и Онежского озер составляют $847,8 \pm 2,4 \text{ км}^3$ и $47,8 \text{ м}$ и $271,4 \pm 1,8 \text{ км}^3$ и $27,2 \text{ м}$ соответственно при неизменившейся площади озер при навигационных отметках уровней.

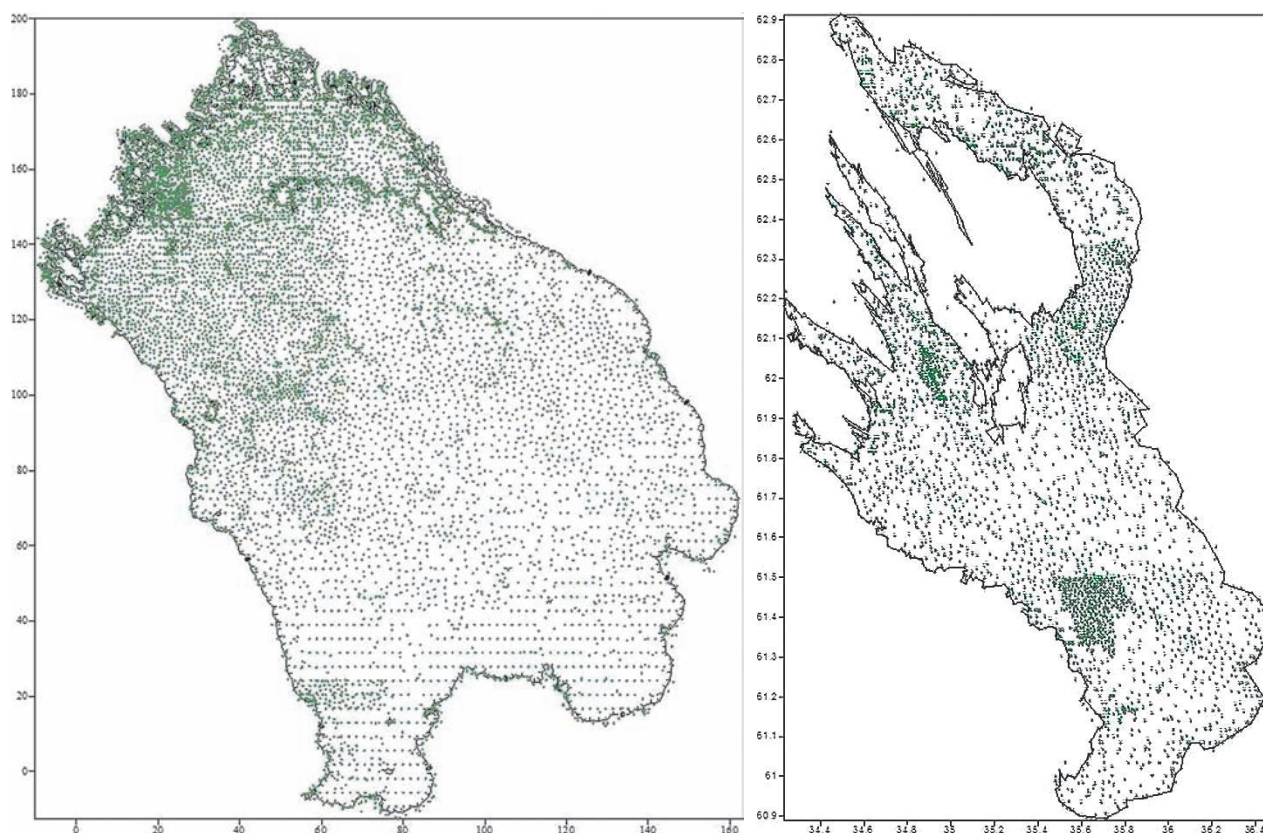


Рис. 1. Расположение исходных точек, которые были использованы для построения цифровой батиметрической модели Ладожского и Онежского озер

Важной характеристикой подводного рельефа озер является гистограмма глубин дна и гистограмма значений наибольшей крутизны склонов γ в каждом узле цифровой модели. Они характеризуют озеро по-новому, что не позволяли раньше делать картографические изображения дна. Для Ладожского озера гистограммы представлены на рис. 2.

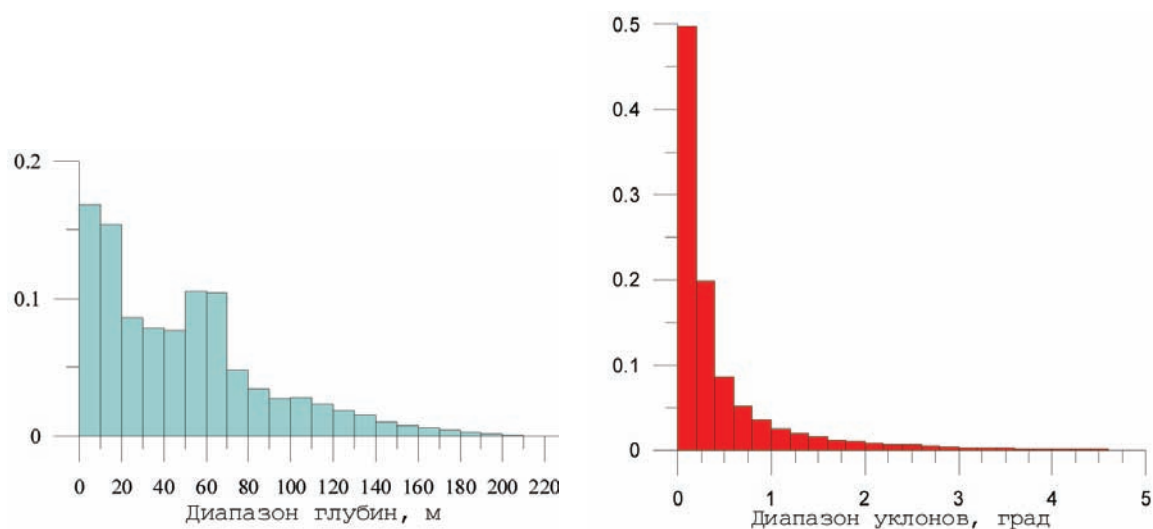


Рис. 2. Гистограммы глубин и наибольших уклонов Ладожского озера

Гистограмма глубин имеет две моды, что свидетельствует о преобладании двух характерных диапазонов глубин. Это 0–18 м – мелководная зона и 50–70 м – зона озерного уступа. Гистограмма максимальных уклонов подводного рельефа озер мономодальна и асимметрична со значительным смещением максимума в область малых величин. Функция распределения уклонов в озере подчиняется χ^2 -распределению.

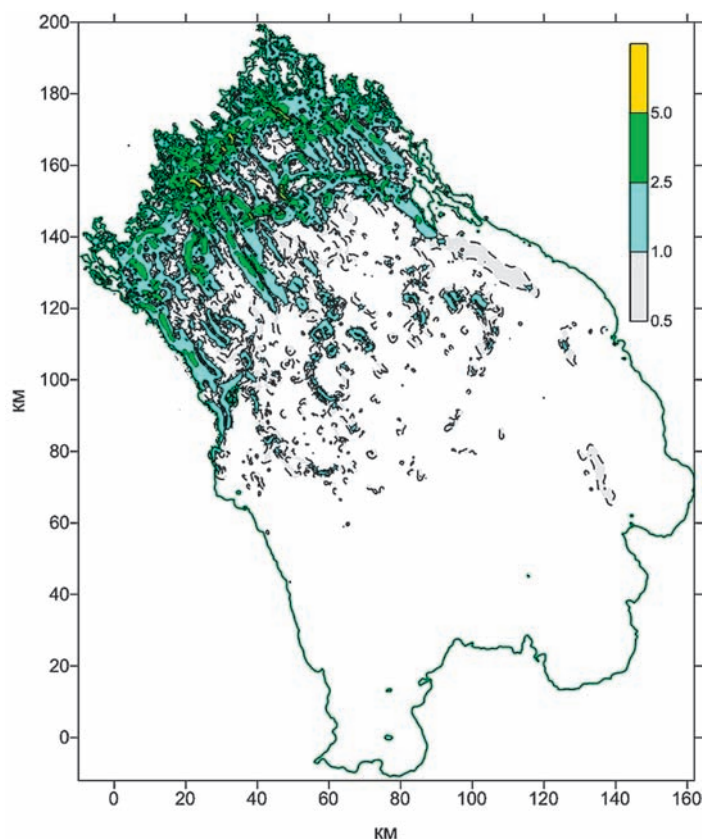


Рис. 3. Распределение уклонов дна Ладожского озера в градусах

Распределение уклонов дна (рис. 3) свидетельствует о том, что южная часть озера резко отличается от северной, где углы, вычисленные для грида 0,5 км, могут достигать 5°. В южной мелководной части озера дно практически плоское с углами склонов менее 0,5°.

На основе цифровой батиметрической модели Ладожского озера проведено лимническое районирование глубин озера, необходимое для изучения эволюции физико-химических и биологических процессов в сезонном и годовом цикле. Районирование глубин Ладожского озера способствовало выделению таких районов озера, где темпы протекания лимнических процессов в значительной мере определяются характерным распределением глубин, специфическими условиями теплонакопления и теплоотдачи в годовом термическом цикле (Науменко, Каретников, 2000; Ладожское озеро. Атлас, 2002; Ладожское озеро..., 2002).

Характер расчлененности территории является весьма информативным признаком особенностей рельефа. Вертикальное расчлененность подводного рельефа озера может быть охарактеризована средним квадратическим отклонением (СКО), которое оценивает степень рассеяния глубин относительно их средних значений и дает количественную оценку выположенности рельефа как результата аккумулятивно-абразионной переработки (Симонов, 1998; Håkanson, 1981).

Сложность рельефа дна крупных озер может быть определена амплитудой глубин различных районов. Различия в строении осадочной толщи в разных районах озера свидетельствуют о неравномерности и неоднородности осадконакопления на протяжении голоценового времени. Они определяются прежде всего морфометрическими особенностями котловины и динамическими процессами в водной толще озера. Горизонтальная и вертикальная расчлененность рельефа определяет литологические особенности донных отложений.

Использование батиметрической модели Ладожского озера позволило построить и провести анализ типичных разрезов этого озера. На рис. 4, б приведены разрезы, указанные на рис. 4, а.

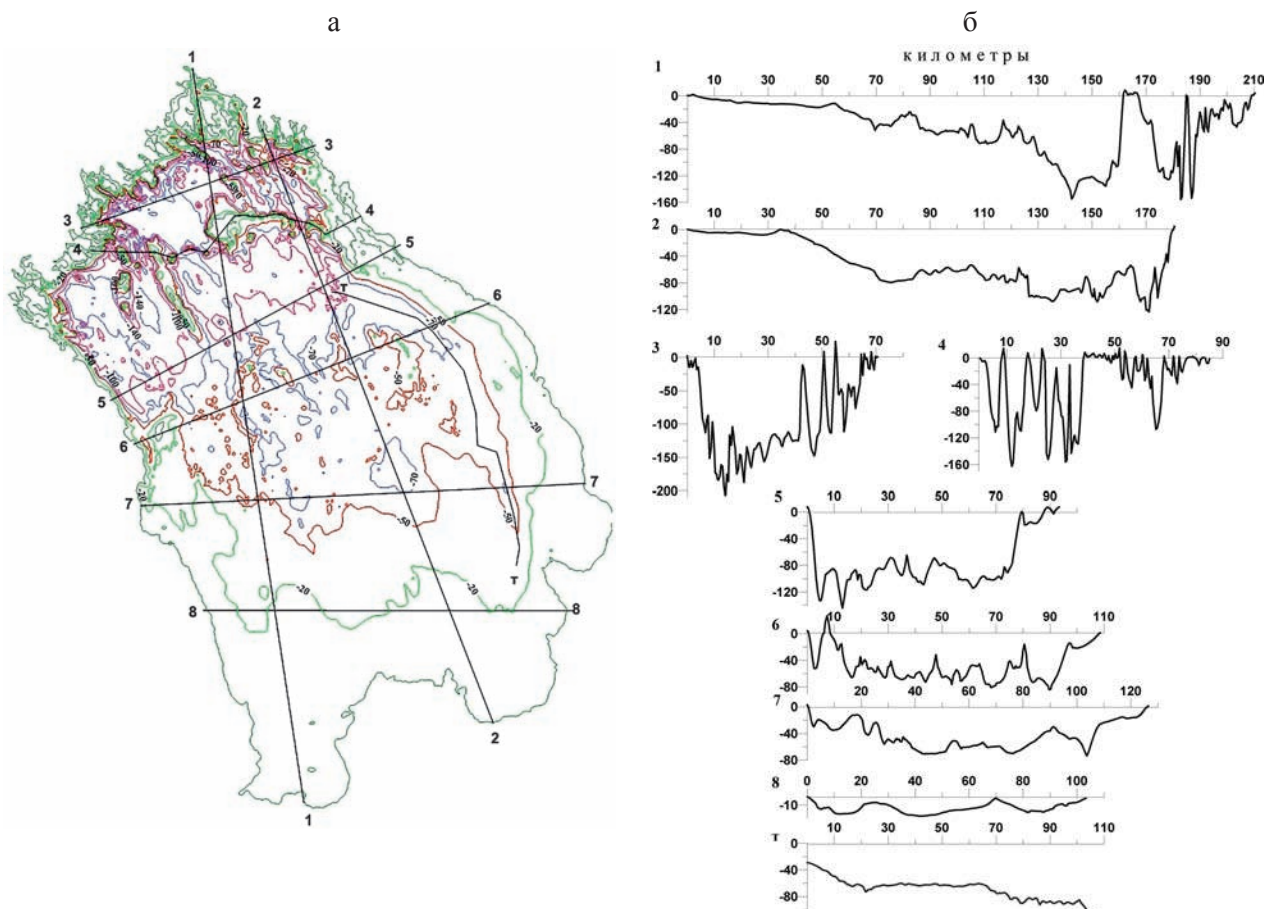


Рис. 4. Распределение глубин на характерных разрезах глубин Ладожского озера

Продольные разрезы свидетельствуют о значительной пересеченности рельефа северных районов. Максимальные уклоны дна могут достигать 100 м на 1 км, т. е. превышать средние уклоны примерно в 10 000 раз. В диапазоне глубин 106–108 м и 123–125 м склоны имеют максимальные углы от 5 до 10,2°.

Организация мониторинга крупных озер во многом определяется распределением глубин. Формирование структур с характерными масштабами в распределении глубин озера приводит к соответствующему структурированию полей гидрофизических, гидрохимических и гидробиологических параметров. Регистрация таких структур как дистанционными, так и контактными методами является крайне необходимой для решения многих лимнических задач.

По представлению Ю. Г. Пузаченко и др. (2002), пространственная структура рельефа организована как «система вложенных друг в друга иерархических уровней», связанных нелинейными автоколебаниями. Безусловно, это представление может быть крайне полезным при изучении подводного рельефа крупных озер Мира. Геологические особенности находят отражения в различных формах и масштабах подводного рельефа.

Цифровые батиметрические модели могут быть использованы для установления корреляционных связей между объемами озер и расходами вытекающих из них рек, для исследования ледовых, термических и процессов распространения примеси в озерах (Ладожское озеро..., 2002).

Следует сказать, что при исследовании озерных котловин малых озер, так же как и крупных озер Мира, цифровые батиметрические модели приобретают все большее значение. Современные эхолотные измерения позволили создать трехмерные модели малых озер с площадями около 0,1 км² (Науменко и др., 2012, 2014). Исследователями озер предпринимались попытки представить озер-

ную котловину в виде трехмерной геометрической фигуры для расчета ее характеристик аналитически (рис. 5). Идея С. Д. Муравейского о необходимости сравнения формы озерных котловин с телами вращения, имеющими вертикальную ось, позволила теоретически обосновать тесную взаимосвязь динамических процессов, протекающих в озерах разной формы, с наиболее общими чертами строения их чаши. К. К. Эдельштейн (1991) предложил геометрическую модель долинного водохранилища с использованием различных геометрических фигур, реализуя идею С. Д. Муравейского. Такой подход позволил объединить многие черты водоемов в один тип, но при неизбежной грубой схематизации в значительной мере теряются важные индивидуальные черты водных объектов (Молчанов, 1946). Более общий и вместе с тем простой подход к типизации формы котловины озер был предложен Л. Хакансоном (Håkanson, 1981). На основе определенных критериев форма котловины может быть отнесена либо к «выпуклой», либо к «вогнутой», что влечет за собой использование особых коэффициентов при вычислении объема озер.

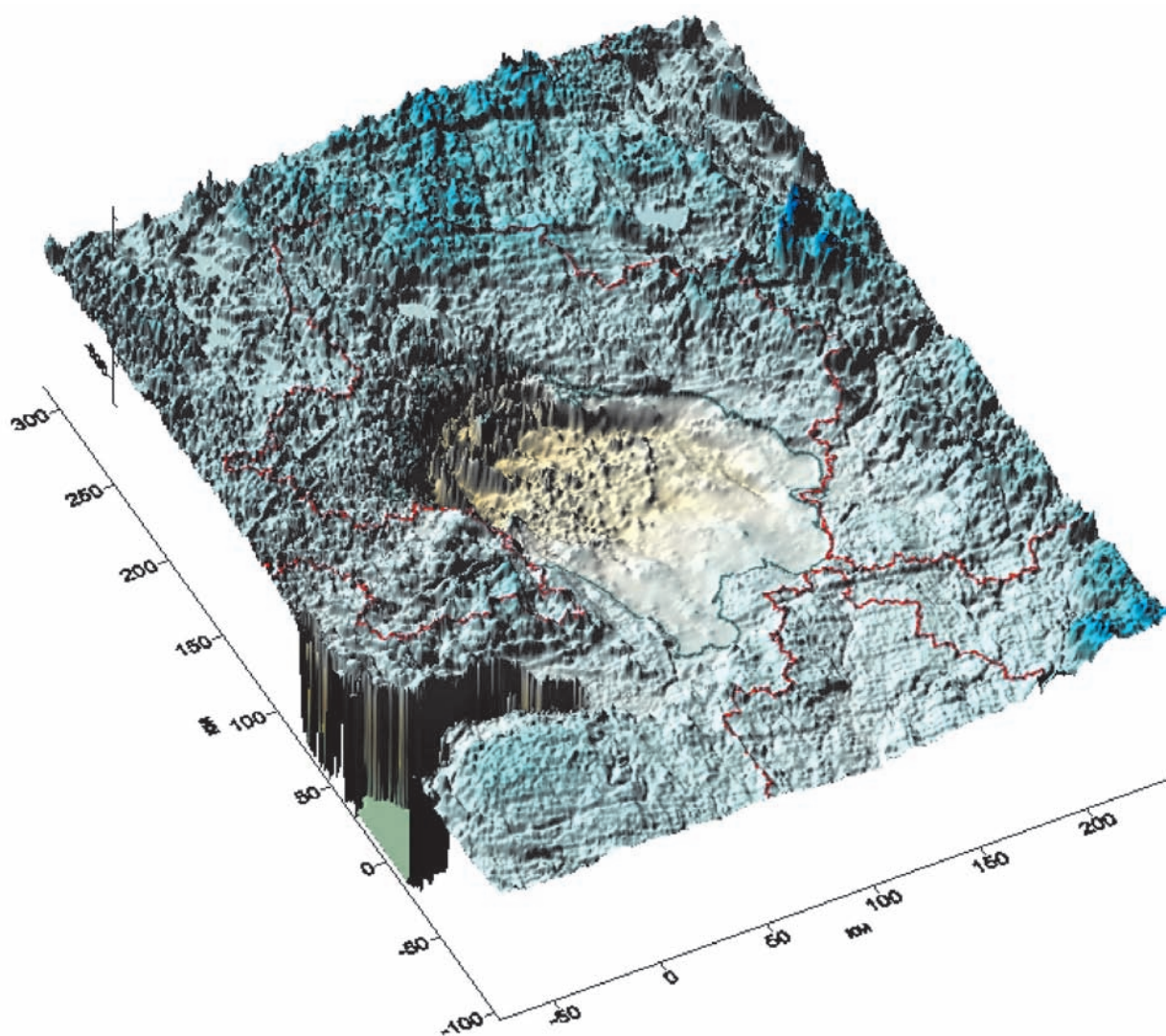


Рис. 5. Трехмерное изображение распределения глубин и высот частного водосбора Ладожского озера

Круг задач, решаемых с помощью современного цифрового моделирования, чрезвычайно обширен и позволяет развивать и получать новые знания о формах котловины озер и их происхождении. Цифровые модели дна важны как для гидрологических, так и для палеолимнологических исследований, а также для трехмерного моделирования экологических процессов в котловине озера и его водосборе.

Вопросы для самоконтроля

1. Зачем необходимо знать пространственное распределение глубин озер?
2. Отличаются ли формы подводного рельефа от форм рельефа суши? Приведите примеры.
3. При помощи каких морфометрических параметров котловины озер можно дать характеристику подводного рельефа?
4. Какие преимущества дают цифровые батиметрические модели по сравнению с представлением глубин в виде традиционных карт?
5. Цифровые батиметрические модели должны использоваться при экологическом моделировании и дистанционных измерениях из космоса. Почему?

Литература

- Агапова Г. В. Исследование и картографирование подводного рельефа в познании природы Мирового океана: Дис. ... докт. геогр. наук. М., 2008. 45 с.
- Берлянт А. М. Образ пространства: карта и информация. М.: Мысль, 1986. 239 с.
- Верецагин Г. Ю. Методы морфометрической характеристики озер // Труды Олонецкой научной экспедиции. Ч. 2, вып. 1. Л., 1930. С. 1–106.
- Ладожское озеро. Атлас. ГУНИО, 2002.
- Ладожское озеро – прошлое, настоящее, будущее / Под ред. В. А. Румянцева и В. Г. Драбковой. СПб.: Наука, 2002. 328 с.
- Лурье И. К. Геоинформационное картографирование. Методы геоинформатики и цифровой обработки космических снимков: Учебник для вузов. 2-е изд. М.: КДУ, 2010. 424 с.
- Молчанов И. В. Ладожское озеро. Л.; М.: Гидрометеиздат, 1945. 552 с.
- Молчанов И. В. Онежское озеро. Л.: Гидрометеиздат, 1946. 208 с.
- Науменко М. А. Новое определение морфометрических характеристик Ладожского озера // Докл. РАН. 1995. Т. 345, № 4. С. 514–517.
- Науменко М. А. Новое определение морфометрических характеристик Онежского озера // Докл. РАН. 2000. Т. 370, № 3. С. 393–396.
- Науменко М. А. Анализ морфометрических характеристик подводного рельефа Ладожского озера на основе цифровой модели // Изв. РАН, сер. Географическая. 2013. № 1. С. 62–72.
- Науменко М. А., Каретников С. Г. Ладожское озеро и его водосбор: цифровая модель и новые результаты // Тр. XII съезда Русского географического общества. Т. 6. СПб., 2005. С. 82–86.
- Науменко М. А., Каретников С. Г., Гузиватый В. В. Пространственно-временная термическая дифференциация вод Ладожского озера // Докл. РАН. 2000. Т. 373, № 2. С. 247–250.
- Науменко М. А., Зелионко А. В., Стрекалова З. В. Опыт создания цифровой морфометрической модели малого озера на основе высокоточного эхолотирования // Учен. зап. РГТМУ. 2012. № 25. С. 35–40.
- Науменко М. А., Гузиватый В. В., Сапелко Т. В. Цифровые морфометрические модели малых озер // Учен. зап. РГТМУ. 2014. № 34. С. 26–32.
- Пузаченко Ю. Г., Онуфрения И. А., Алещенко Г. М. Анализ иерархической организации рельефа // Изв. РАН, сер. Географическая. 2002. № 4. С. 29–38.
- Салищев К. А. Картография. М., 1982.
- Симонов Ю. Г. Морфометрический анализ рельефа. М.; Смоленск: СГУ, 1998. 272 с.
- Сорокин А. И. Гидрографические исследования Мирового океана. Л.: Гидрометеиздат, 1980. 288 с.
- Шерстянkin П. П., Алексеев С. П., Абрамов А. М. и др. Батиметрическая электронная карта озера Байкал // Докл. РАН. 2006. Т. 408, № 1. С. 102–107.
- Эдельштейн К. К. Водные массы долинных водохранилищ. М.: МГУ, 1991. 175 с.
- Clark P. J., Evans F. C. Distance to nearest neighbor as a measure of spatial relationships in populations // Ecology. 1954. N 35. P. 445–453.
- Gao J. Bathymetric mapping by means of remote sensing: methods, accuracy and limitations // Progress in Physical Geography. 2009. T. 33, N 1. P. 103–116.
- Gardner J. V., Mayer L. A., Clark J. E. H. Morphology and processes in Lake Tahoe (California-Nevada) // Geological Society of America Bulletin, GSA Bulletin. 2000. T. 112, N 5. P. 736–746.
- Håkanson L. A Manual of Lake Morphometry. Springer-Verlag, 1981. 80 p.
- Masolov V., Popov S., Lukin V., Popkov A. The bottom topography and subglacial Lake Vostok water body, East Antarctica // Earth Sciences. 2010. T. 433, N 2. P. 1092–1097. DOI: 10.1134/s1028334x10080222.
- Sastre V., Loizeau J.-L., Greinert J. et al. Morphology and recent history of the Rhone River Delta in Lake Geneva (Switzerland) // Swiss. J. Geosci. 103: 33–42. DOI: 10.1007/s00015-010-0006-4.

- Schertzer W. M. Digital Bathymetry of Great Slave Lake. 2000. NWRI Contribution No. 00-257. 66 p.
- Schwab D. J., Sellers D. L. Computerized Bathymetry and Shorelines of the Great Lakes. 1980. NOAA Data Report ERL GLERL-16, Great Lakes Environmental Research Laboratory, 2205 Commonwealth Blvd., Ann Arbor, MI 48105-1593 USA.
- Selegey V., Dehandschutter B., Klerkx J. New bathymetric map of Lake Teletskoye // V. Selegey, B. Dehandschutter, J. Klerkx, Vysotsky (Eds.). Physical and geological environment of Lake Teletskoye. Annales Sciences Geologiques. 2001. 105: 1–310. Musee Royal de l'Afrique Centrale. Tervuren, Belgique.
- Sherstyankin P. P., Alekseev S. P., Abramov A. M. et al. Computer-Based Bathymetric Map of Lake Baikal // Earth Science. 2006. T. 408, N 4. P. 564–569.

ДИАТОМОВЫЙ АНАЛИЗ И ВОЗМОЖНОСТИ ЕГО ПРИМЕНЕНИЯ ДЛЯ ПАЛЕОЭКОЛОГИЧЕСКИХ РЕКОНСТРУКЦИЙ

Т. С. Шелехова

Институт геологии КарНЦ РАН

Введение

Основной целью лекции является знакомство с одним из микропалеонтологических методов исследования четвертичных отложений и его возможностями при палеоэкологических и палеоклиматических реконструкциях условий среды, а также методиками, применяемыми при интерпретации результатов диатомового анализа.

Материал может быть использован при чтении дисциплины «Микропалеонтологические методы в четвертичной геологии» горно-геологического факультета ПетрГУ, на четвертом курсе по специальности «геология», а также в качестве общеобразовательной в курсе биологии средней школы.

В настоящее время в вопросах исследования динамики природной среды широко используются различные биоиндикаторы, захороненные в осадках. Одним из видов таких биоиндикаторов являются диатомовые водоросли.

Диатомовые водоросли, или диатомеи (от греч. «разделенные пополам»), – одноклеточные организмы, размером от 2–5 до 1500 микрон. Они могут жить одиночно или соединяться в различные причудливые колонии в виде нитей, цепочек, звездочек и т. д. Чаще они бесцветны или имеют темно-бурую или желтую окраску. Обитают в любой водной среде: морях, реках, озерах, на влажных скалах, в почве и т. д.

Благодаря кремнеземному панцирю, состоящему из двух частей, одна из которых как крышка накрывает другую, отмирая и осаждаясь на дно водных объектов, они хорошо сохраняются в осадках. Кремнеземный панцирь диатомовых водорослей имеет характерную форму и структуру, этим они легко отличаются от других видов водорослей. Диатомовые чутко реагируют на условия среды обитания, поэтому по их составу можно надежно реконструировать палеогеографическую обстановку прошлых геологических эпох. Особенно ценная информация может быть получена по осадкам, непрерывно накапливающимся на дне морей и океанов или, например, озера Байкал, где по отложениям мощностью 600 м реконструированы условия, охватывающие временной интервал 8 миллионов лет. Так появляются «геологические летописи». В условиях Карелии донные отложения озер также могут служить источником такой «геологической летописи», но для более короткого промежутка времени.

Что же такое диатомовый анализ и какие задачи можно решать с его помощью?

Диатомовый анализ – один из биостратиграфических микропалеонтологических и палеобиогеографических методов, основанный на изучении систематического, экологического состава, биогеографии и численности диатомовых водорослей (Геологический..., 1978). Применительно к Карелии с помощью диатомового анализа можно решать следующие основные задачи:

Восстановление геологической истории водоемов.

Для этого необходимо:

- 1) выяснение систематического состава диатомовых комплексов из донных отложений озер в стратиграфической последовательности и изменений, связанных со сменой природной обстановки;
- 2) выделение руководящих комплексов диатомей, сформировавшихся в различных геологических условиях и соответствующих каждому историческому этапу;
- 3) оценка роли важнейших факторов, влияющих на формирование структуры диатомовых комплексов: условия захоронения диатомей, pH среды, в которой они развивались, галобность, температурный режим водоемов, химизм воды и т. д.;
- 4) реконструкция палеоэкологической обстановки по данным диатомового анализа и сопоставление с результатами других анализов;
- 5) выделение различных фаций отложений (например, переход от морских условий к пресноводным).

В последнее время диатомовые водоросли в комплексе с другими микроостатками, захороненными в осадках, используются для выявления антропогенного влияния на природную среду. Для этого в составе диатомовых комплексов выявляются виды-индикаторы, устойчивые к определенным типам загрязнений природных объектов, устанавливаются причины изменений, связанные с деятельностью человека. Кроме этого, большое внимание ученых уделяется диатомовым как биоиндикаторам температурных условий в прошедшие эпохи.

При изучении диатомитов – осадочных пород, состоящих из кремнеземных створок диатомовых водорослей, можно выяснить пороодообразующий состав диатомитов, условия их формирования и качество.

Необходимо отметить также использование метода диатомового анализа при изучении палеосейсмодислокаций.

Методика диатомового анализа

Исследование ископаемой и современной диатомовой флоры состоит из нескольких последовательных этапов, которые включают:

- отбор образцов в полевых условиях,
- методику обработки образцов и приготовление препаратов,
- изучение и идентификацию с помощью светового и электронного микроскопов,
- составление списков выявленных видов и их принадлежности к различным условиям местобитания,
- построение диатомовых диаграмм и палеореконструкции.

Отбор образцов в полевых условиях

В настоящее время в мировой практике применяются различные способы отбора образцов. Это зависит от объекта исследования. При глубоководном бурении (морей и океанов, глубоких озер) используются специальные пробоотборники. В условиях Карелии для изучения исторической летописи природных обстановок самого молодого периода – голоцена – при бурении донных осадков озер применяются ручные пробоотборники. Главное условие – отбор проб из центральной части озера, наиболее полно отражающей историю его развития. Лучше всего отбор проб производить в зимних условиях со льда или летом с катамарана. В результате можно получить непрерывный керн донных отложений (рис. 1).

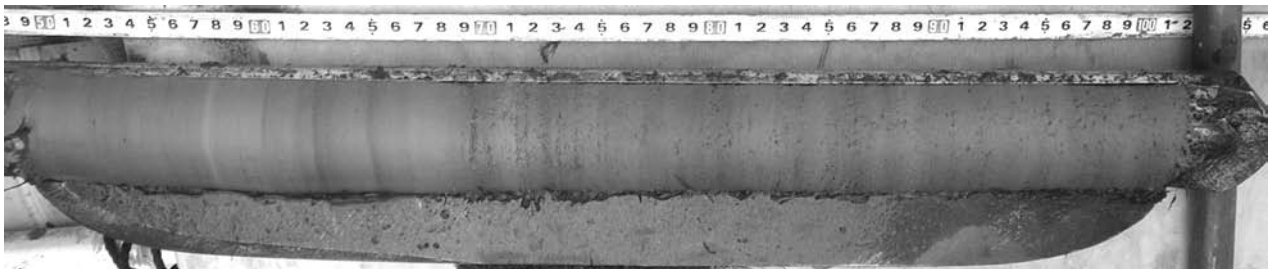


Рис. 1. Керн донных отложений, отобранный ручным пробоотборником

Для отбора поверхностных неконсолидированных осадков в настоящее время чаще применяется пробоотборник «Limnos» (рис. 2).



Рис. 2. Отбор проб пробоотборником «Limnos»

В зависимости от литологического состава отдельных слоев частота взятия образцов может быть различной, что определяется тонкостью материала, слагающего породу, и мощностью осадков. Для наиболее полной характеристики отбор проб из скважины осуществляется послойно, с интервалом 5–10 см, поверхностные осадки желательно исследовать каждые 1–2 см.

Отбор проб на диатомовый анализ необходимо осуществлять с максимальной осторожностью, чтобы гарантировать их чистоту, тщательно документировать образцы, отмечать их положение в литологической колонке.

Методика обработки образцов и приготовление препаратов

В мировой практике существуют различные методики приготовления проб на диатомовый анализ ископаемой флоры. В рамках данной лекции рассмотрим методику, которая применяется в Институте геологии Карельского научного центра РАН. Техническая обработка проб и приготовление постоянных препаратов на диатомовый анализ производятся по общепринятой методике (Диатомовый анализ, 1949–1950; Давыдова, 1985). Образцы дезинтегрируются в пиррофосфорнокислом натрии с последующей отмывкой от него методом декантации. Дальнейшая обработка и подъем диатомей производится с помощью калиево-кадмиевой тяжелой жидкости. В качестве твердой среды используется анилино-формальдегидная смола (показатель преломления 1,68). Подсчет и определение створок диатомей проводятся по горизонтальному ряду в средней части стекла до 250–500 экземпляров. По возможности створки идентифицируются до вида, разновидности и формы с использованием различной справочной литературы: Определитель пресноводных водорослей СССР. Вып. 4. Диатомовые водоросли, 1951; Molder, Tynni, 1967–1973; Tynni, 1975–1980; Krammer, Lange-Bertalot, 1986; Генкал, Трифонова, 2009 и др. Для выявления роли отдельных видов и состава доминирующих комплексов диатомей подразделяются на единичные, численность которых в осадках составляет менее 1 % (на диаграммах они обозначаются +); обычные – 1–5 %; массовые – более 5 %. Среди последних выделяются доминанты: более 10 % створок и субдоминанты: от 5 до 10 %. Результаты диатомового анализа представляются на диатомовых диаграммах.

Идентификация водорослей с помощью светового и сканирующего электронного микроскопов

Определение водорослей и подсчет створок до 250–500 экземпляров проводится в световом микроскопе, а если есть необходимость и возможность – в сканирующем электронном микроскопе (СЭМ), с помощью которого можно получить четкие изображения видов (рис. 3).

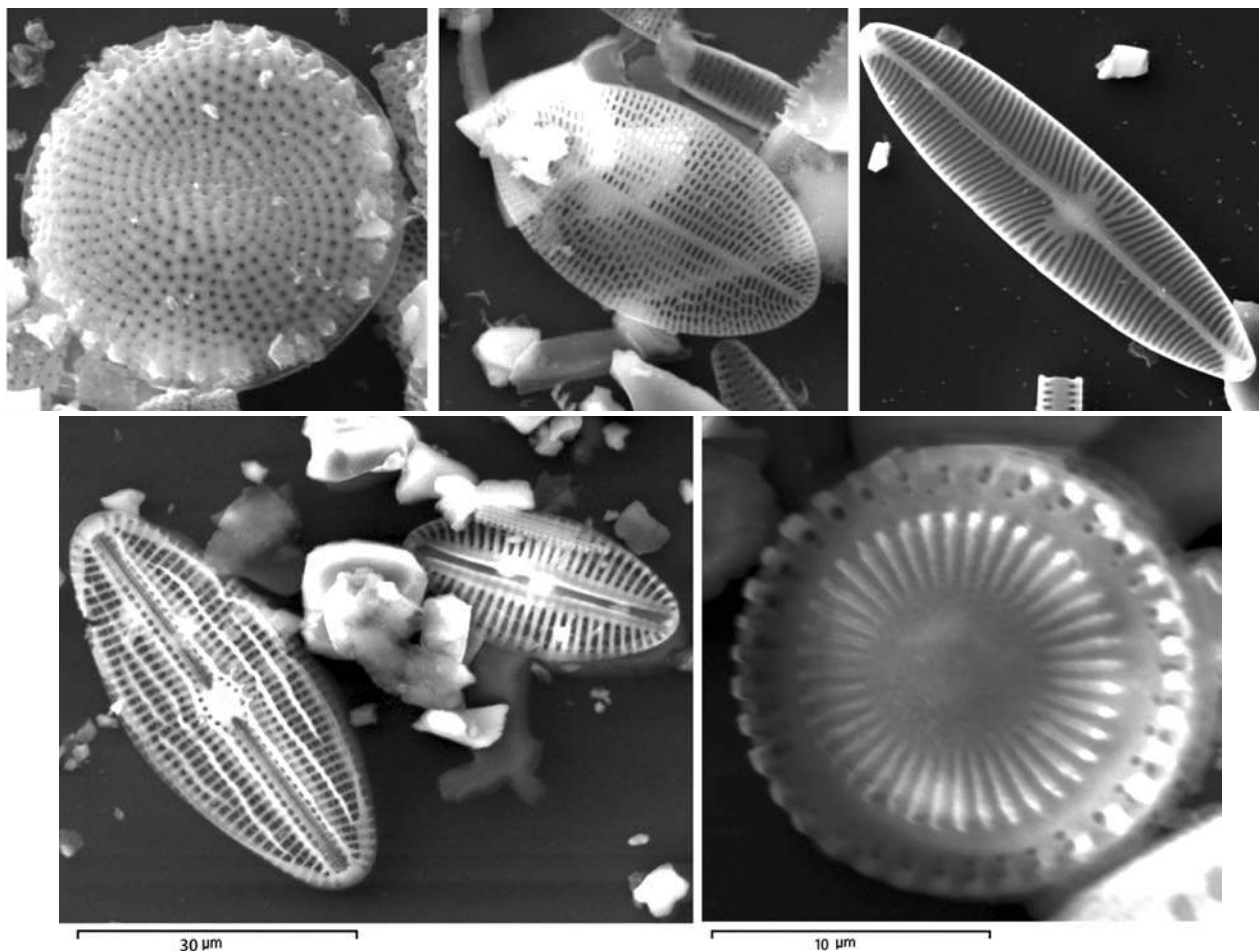


Рис. 3. Электронные микрофотографии створок (СЭМ)

Полученные после исследования каждого образца результаты идентифицированных видов заносятся в таблицу, в которой представлены все выявленные формы диатомей, их количество, а также характеристики по местообитанию, отношению к pH среды, галобности, биогеографии, сапробности и т. д. по глубинам, на которых они обнаружены (табл.).

Список диатомовых водорослей из разреза (название)

№ п/п	Таксон				Экология	Галобность	Отношение к pH	Биогеография	Гл. отбора пробы, м
1	Achnanthes	dispar	v. angustissima	(Jasnitsky) Sheshukova	о	гл	алк	б	Число створок
2	Aulacoseira	italica	v. valida	(Grun.) Sim.	п	и	ацф	а	
3	Amphora	ovalis	v. lybica	(Ehren.) Cl.	д	гл	алк	к	

В конце таблицы в примечании приводится расшифровка сокращений. Например:

Примечание. п – планктон, о – обрастатели, д – донные; пг – полигалобы, мз – мезогалобы, гл – галофилы. Гб – галофобы, и – индифференты; алк – алкалофилы, ац – ацидофилы; а – арктоальпийские, б – бореальные, к – космополиты.

По местообитанию диатомовые водоросли делятся на следующие группы:

I – соленые воды (моря и океаны)

А) солоноватые – опресненные моря и солоноватые озера;

Б) соленые (моря и океаны)

В) эвригалинные (эстуарии рек и заливы)

II – пресные воды:

А) стоячие – озера, пруды, болота и пр.

Б) текущие – реки, ручьи, источники

Сухопутные (субаэральные местообитания)

I – постоянно увлажняемый субстрат (зона прибоя, влажные камни, лед, снег)

II – периодически увлажняемый субстрат (моховые подушки, расщелины камней, поверхность почвы)

III – почва

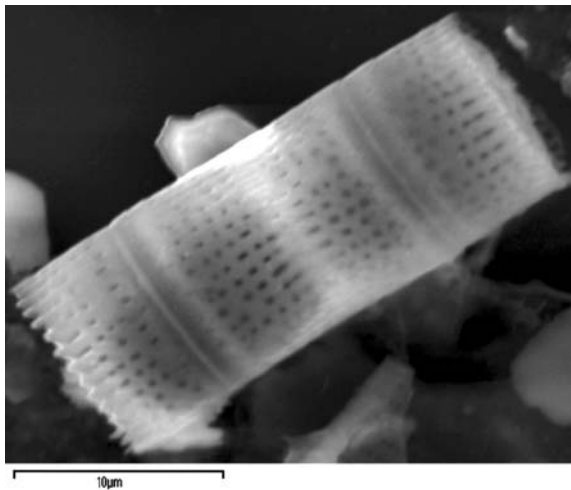
При изучении донных осадков пресноводных водоемов диатомеи подразделяются на:

– планктонные – свободно плавающие в толще воды;

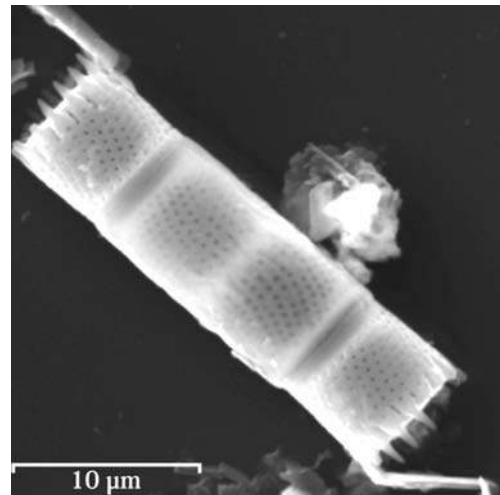
– обрастатели (или эпифиты) – прикрепляются к растениям, корягам, днищам кораблей и т. д.;

– донные (или бентосные) – обитают на дне водоема, в иле.

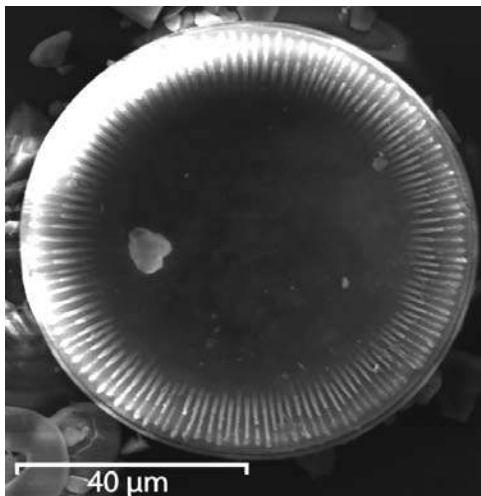
Планктонные, свободно плавающие в толще воды, в пресноводных водоемах, в частности, в Карелии представлены главным образом центрическими и цилиндрическими формами, некоторые из них показаны на микрофотографиях из СЭМ (рис. 4).



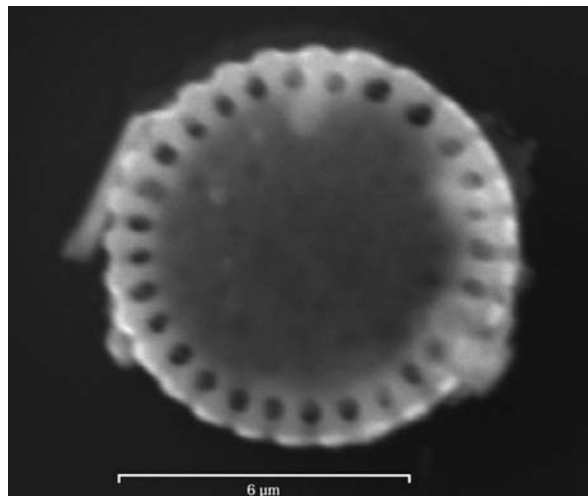
Aulacoseira lacustris



Aulacoseira italica



Ellerbeckia arenaria



Cyclotella sp.

Рис. 4. Электронные микрофотографии планктонных видов

Обрастатели (или эпифиты) – прикрепляются к растениям, корягам, днищам кораблей. Некоторые микрофотографии этой группы водорослей, представленных главным образом пеннатыми формами, приведены на рис. 5.

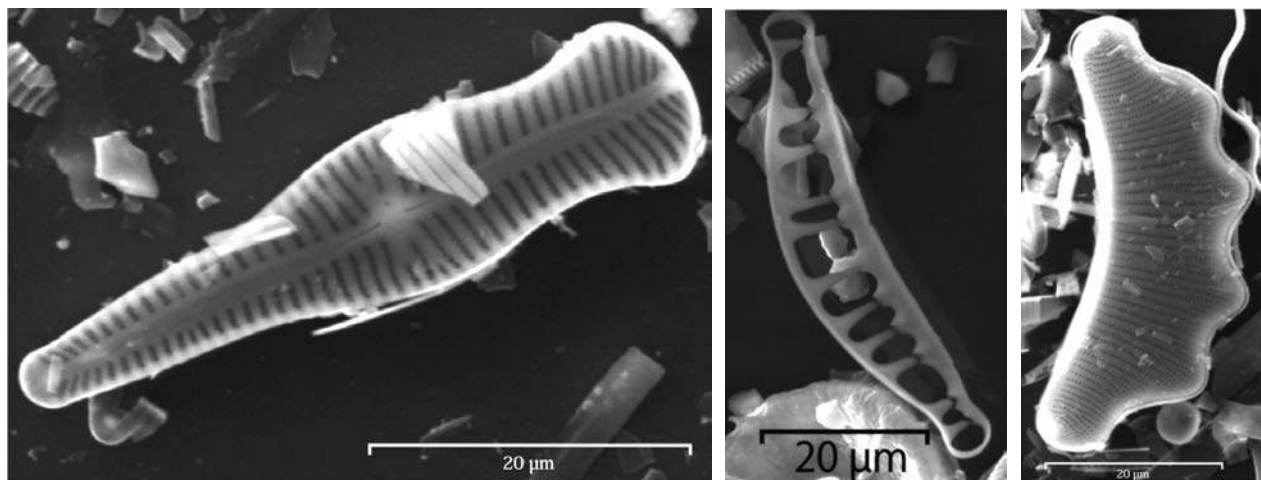
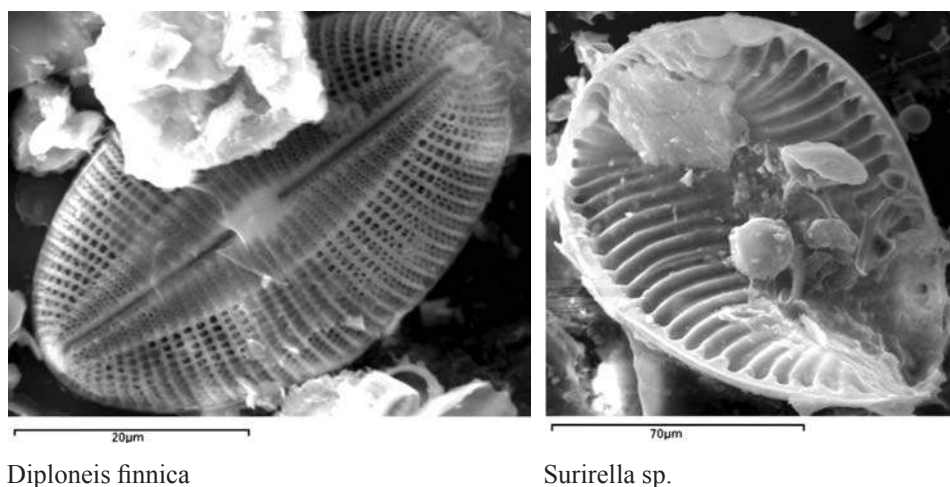


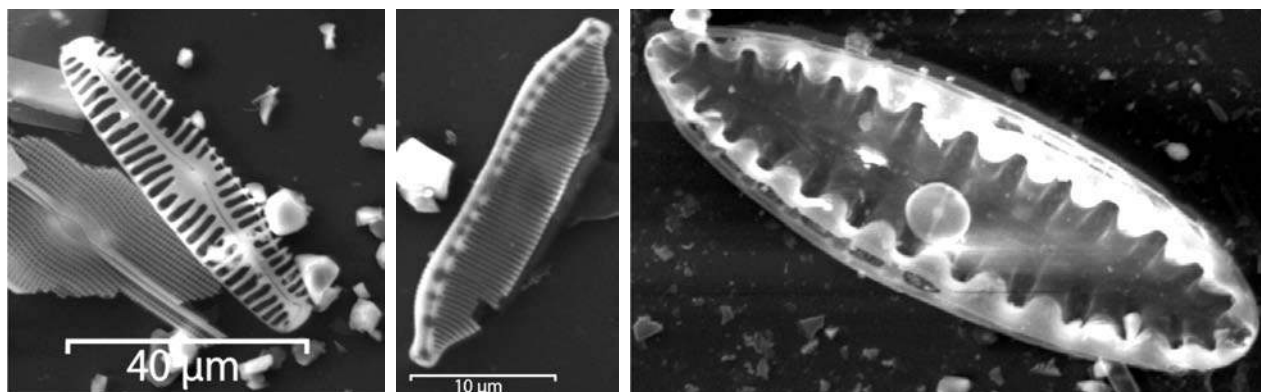
Рис. 5. Электронные микрофотографии видов из обрастаний. Слева направо: *Gomphonema constrictum*, *Epithemia* sp., *Eunotia robusta* var. *diadema*

Донные, или бентосные, диатомовые водоросли, обитающие на дне водоема, представлены также главным образом пеннатыми формами. Некоторые из большого многообразия видов изображены на микрофотографиях СЭМ (рис. 6).



Diploneis finnica

Surirella sp.



Pinnularia sp.

Hantzschia amphioxys *Cymatopleura* sp.

Рис. 6. Электронные микрофотографии донных пресноводных форм

Один из важных показателей гидрохимических условий водоема – pH среды. По отношению к этому показателю в настоящее время предложена следующая система категорий диатомей Хустедта (Hustedt, 1937–1939), в которой диатомеи делятся на:

- Алкалибионты – развиваются в щелочной среде при $\text{pH} > 7,5\text{--}8$
- Алкалифилы, $\text{pH} \geq 7$
- Индифференты, $\text{pH} = 7$
- Ацидофилы, $\text{pH} < 7$
- Ацидобионты, pH менее 5,5

При распределении диатомей в зависимости от концентрации солей в воде выделяются:

- полигалобы – обитают в ультрагалинных водоемах с соленостью выше 40 ‰;
- эвгалобы – обитают в океанах и морях с соленостью 30–40 (30–35) ‰;
- мезогалобы – обитают в солоноватых водоемах с соленостью 5–30 (5–20) ‰;
- олигогалобы – обитают в пресных водах с соленостью 0–5 ‰, среди них различают галофильные, индифферентные и галофобные виды;
- галофилы, обитающие обычно в пресной воде, но наибольшего развития достигающие при солености 0,4–0,5 ‰;
- индифференты – предпочитающие водоемы с минерализацией 0,2–0,3 ‰;
- галофобы – обитатели пресных вод, с максимальным содержанием солей до 0,02 ‰.

По отношению к географическому распространению выделяются:

- Арктоальпийские виды
- Бореальные виды
- Космополиты (виды широкого географического распространения).

Построение диатомовых диаграмм и палеореконструкции

На диатомовых диаграммах показывается общий состав всей выявленной флоры, подсчитанный в процентном отношении, а также содержание в процентах отдельных видов или родов диатомей. С левой стороны диаграммы помещают колонку с литологией разреза, на ней может быть указано место отбора пробы на радиоуглеродный анализ. Пример диатомовой диаграммы приведен на рис. 7. Кроме этого, на отдельных графиках можно отразить соотношение видов в экологических группах: по галобности, по местообитанию, по отношению к pH и географическому распространению видов (рис. 8).

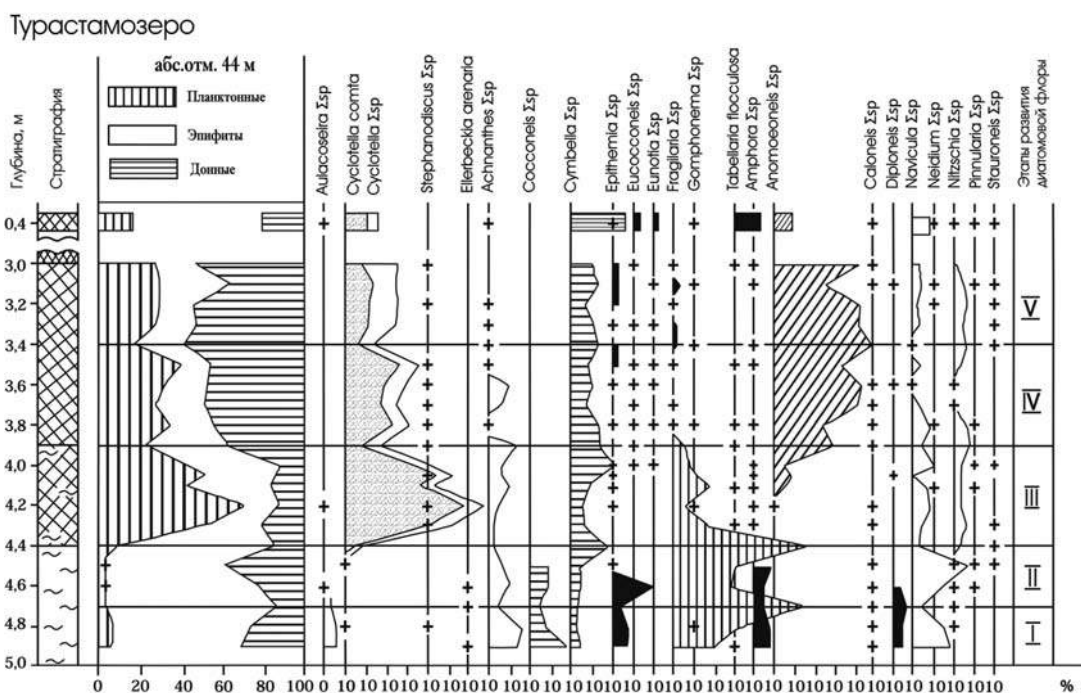


Рис. 7. Диатомовая диаграмма разреза донных отложений оз. Турастомозеро (Заонежье)

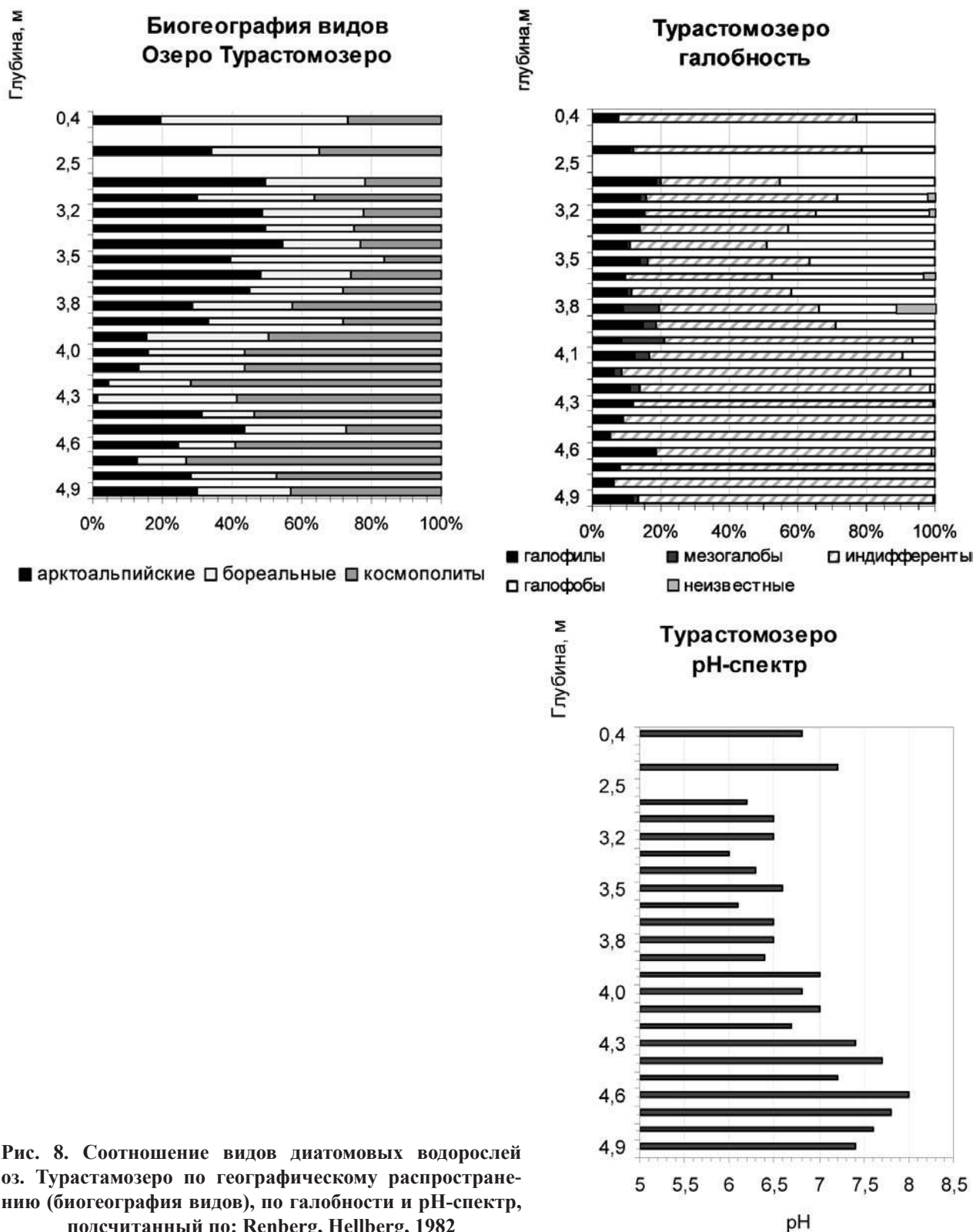


Рис. 8. Соотношение видов диатомовых водорослей оз. Турастамозеро по географическому распространению (биогеография видов), по галобности и pH-спектр, подсчитанный по: Renberg, Hellberg, 1982

Как уже отмечалось, с помощью метода диатомового анализа в совокупности с другими методами, используемыми для палеоэкологических реконструкций, можно выявлять различные катастрофические процессы (например, землетрясения (палеосейсмодислокации), цунами и т. д.). На диатомовой диаграмме донных осадков озера на г. Воттоваара хорошо видна резкая смена диатомовых комплексов, произошедшая после землетрясения на рубеже 8920 ± 60 ^{14}C лет назад, показанная на рис. 9 (Шелехова, 1999).

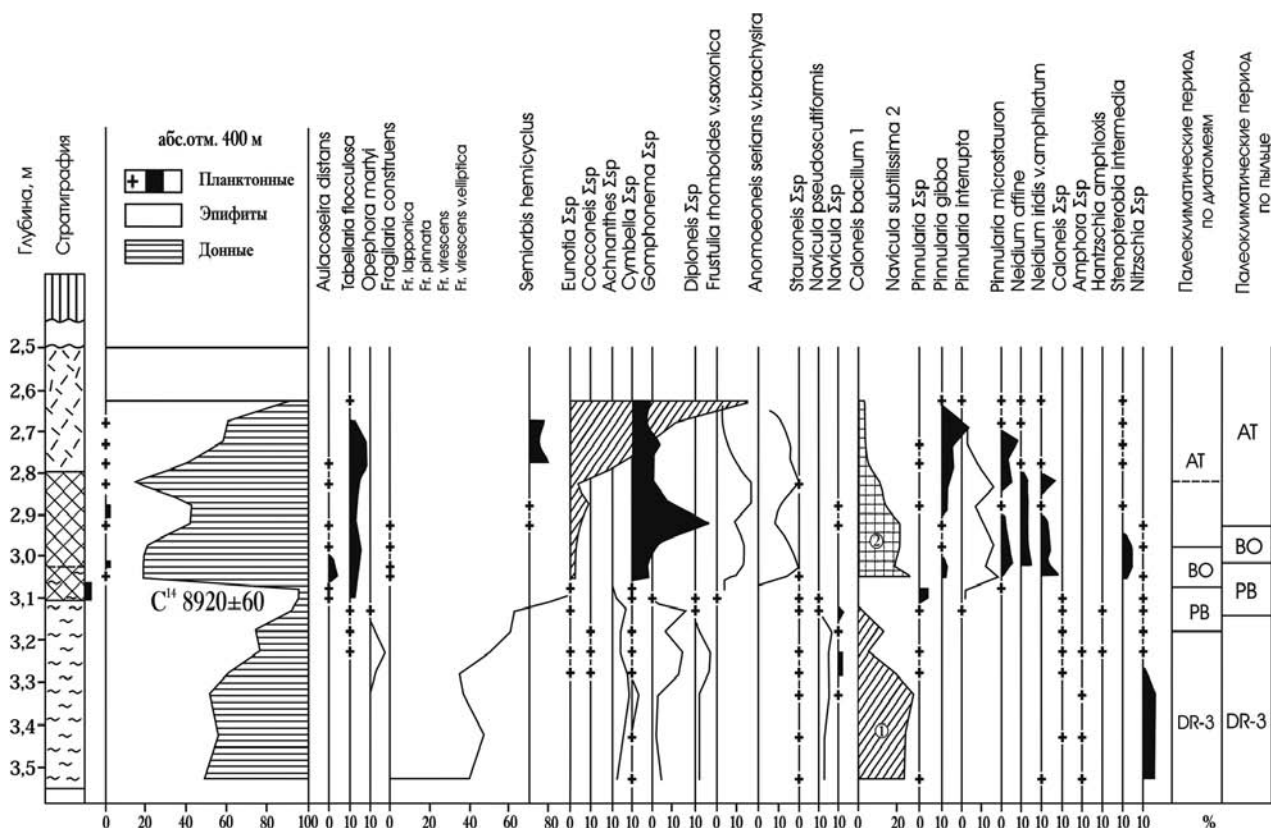


Рис. 9. Диатомовая диаграмма донных отложений из скважины безымянного малого озера на г. Воттоваара

Выделение различных фаций отложений

Как известно, диатомеи являются важным показателем фациальных обстановок (озерных, речных, морских и т. д.). Каким образом с помощью диатомового анализа удастся выделить различные фации отложений, например отделить пресноводные отложения от морских, убедимся на примере исследования донных осадков ряда малых озер на побережье Белого моря, в которых выявлены пять фаций и для каждой из них определены особенности диатомовой флоры. По литологическим признакам были установлены осадки фации позднеледниковой приледниковой водоема (I), осадки фации переходной зоны от пресноводных (приледниковой озера) к морским условиям седиментации (II); осадки фации, соответствующей морским условиям (III), осадки фации переходной зоны от морских к озерным условиям (IV), осадки фации пресноводного озера (V) (Колька и др., 2005). Однако в исследованных районах разрезы имеют значительные литологические и стратиграфические несогласия,

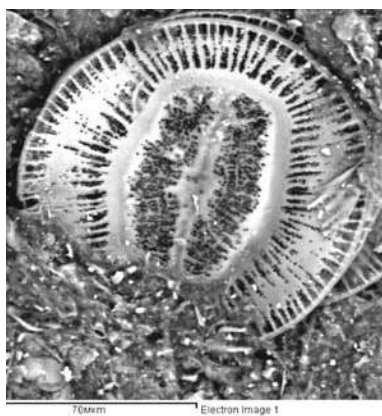
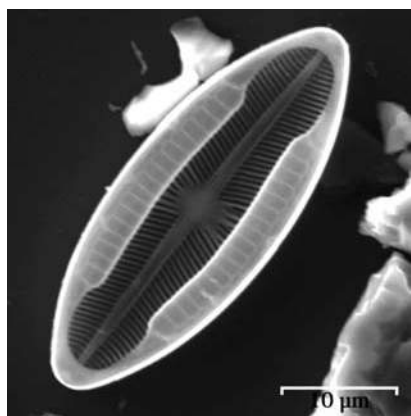


Рис. 10. Типичные представители морской диатомовой флоры в донных осадках озер на побережье Белого моря – *Mastogloia elliptica*, *Campilodiscus* sp. (СЭМ)

и часто только диатомовый анализ позволяет точно определить переход от одних условий седиментации к другим.

Полная последовательность данных фаций установлена не во всех озерах (Колька и др., 2013).

Особый интерес представляют морские и переходные отложения с различным процентным содержанием морских и солоноватоводных видов диатомей, по которым и устанавливается принадлежность осадков к той или иной фации (рис. 10).

Выявление видов-индикаторов антропогенного воздействия на природную среду

В последние годы многими учеными проводятся исследования по выявлению в составе диатомовых комплексов видов, реагирующих на загрязнение природной среды, устойчивых к различным антропогенным воздействиям. Подобные работы ведутся и в Карелии. На примере урбанизированных территорий, в частности г. Петрозаводска, в устье реки Лососинки были выявлены диатомовые, устойчивые к определенным видам загрязнений, в том числе тяжелыми металлами. Установлено, что наиболее чувствительными к изменениям условий обитания являются планктонные и планктонно-литоральные виды диатомей (*Aulacoseira lyrata* f. *lacustris*, *Surirella* sp., *Nitzschia* sp. и др.). Численность отдельных видов значительно сокращается при загрязнении вод, когда содержание Zn, Cu, Co превышает ПДК. Результаты этих исследований приводятся в работах: Слукровский, Шелехова, 2013; Шелехова, Крутских, 2013; Шелехова и др., 2013б; Рыбаков, Шелехова, 2014.

Заключение

Реконструкция палеогеографических условий прошлых эпох, особенно в их хронологической последовательности, позволяет полнее понять закономерности развития природы в настоящем и дать обоснованный прогноз их развития на будущее. В этой связи использование метода диатомового анализа для палеогеографических и палеоэкологических реконструкций приобретает не только научное, но и большое практическое значение. Выявление диатомей-индикаторов антропогенного воздействия на лимносистемы может быть включено в программы экологического мониторинга окружающей среды в регионах с высокой техногенной нагрузкой.

В рамках одной лекции невозможно полностью раскрыть все особенности и тонкости метода, однако хотелось бы показать, какие задачи можно решать с его помощью. В случае выбора студентами изучения диатомового анализа, как одного из микропалеонтологических методов, все вопросы, связанные с различными методиками подготовки проб, интерпретации результатов исследований, могут быть рассмотрены более подробно. Для получения различной информации по диатомовому анализу можно предложить некоторые научно-популярные издания: статью «Почти бессмертны и всегда молоды» в журнале «Наука из первых рук» (2006, № 4), книгу Э. И. Лосевой «Прекрасные невидимки» (Екатеринбург: УрО РАН, 2002).

Вопросы для самоконтроля

1. Что такое диатомовый анализ?
2. Как делятся диатомовые водоросли по местообитанию?
3. На какие группы делятся диатомовые водоросли в зависимости от концентрации солей в воде?
4. Какие задачи можно решать с помощью метода диатомового анализа?
5. Почему диатомовые водоросли используются для палеоэкологических реконструкций?

Литература

- Генкал С. И., Трифонова И. С. Диатомовые водоросли планктона Ладожского озера и водоемов его бассейна / Отв. ред. В. Г. Девяткин. Рыбинск: Рыбинский Дом печати, 2009. 72 с.
- Геологический словарь в 2-х томах / Под ред. Паффенгольца и др. М.: Недра, 1978.
- Давыдова Н. Н. Диатомовые водоросли – индикаторы экологических условий водоемов в голоцене. Л., 1985. 244 с.
- Диатомовый анализ. Определитель ископаемых и современных диатомовых водорослей. Л., 1949. Кн. 1. 240 с.; Кн. 2. 288 с.
- Диатомовые водоросли. Определитель пресноводных водорослей СССР. Вып. 4. М., 1951. 619 с.
- Колька В. В., Евзеров В. Я., Мёллер Я. Й., Корнер Д. Д. Послеледниковые гляциоизостатические поднятия на северо-востоке Балтийского щита // Новые данные по геологии и полезным ископаемым Кольского полуострова (ред. Ф. П. Митрофанов). Апатиты: КНЦ РАН, 2005. С. 15–25.
- Колька В. В., Корсакова О. П., Шелехова Т. С. и др. Реконструкция относительного положения уровня Белого моря в голоцене на Карельском берегу (район поселка Энгозеро, Северная Карелия) // ДАН. 2013. Т. 449, № 5. С. 587–592.
- Рыбаков Д. С., Шелехова Т. С. Диатомеи в донных осадках – индикаторы загрязнения водных экосистем в условиях урбанизации // Экология. 2014. № 1. С. 45–52.

Слуковский З. И., Шелехова Т. С. Взаимосвязь химического состава и диатомовых водорослей донных отложений озера Четырехверстного (г. Петрозаводск, Республика Карелия, РФ) // Экологическая геология: теория, практика, региональные проблемы: Материалы 3-й междунар. науч.-практ. конф., г. Воронеж, 20–22 ноября 2013 г. Воронеж: Цифровая полиграфия, 2013. С. 207–210.

Шелехова Т. С. Эволюция природы ландшафтного комплексного заказника «Воттоваара» в позднеледниковье и голоцене // Вопросы геологии и экологии Карелии: По материалам конф. молодых ученых. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 1999. С. 39–44.

Шелехова Т. С. Диатомовые водоросли – индикаторы естественной ацидофикации малых водоемов Карелии // Геология и полезные ископаемые Карелии. Вып. 9. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2006. С. 189–196.

Шелехова Т. С. Диатомовые водоросли в донных осадках озер побережья Белого моря и их палеогеографическое значение // Материалы I палеоальгологической конф. М., 2013. С. 152–153.

Шелехова Т. С., Крутских Н. В. Геохимические особенности и состав диатомовых комплексов донных осадков р. Шуи // Тр. КарНЦ РАН, сер. Экологические исследования. 2013. № 6. С. 76–90.

Шелехова Т. С., Колька В. В., Корсакова О. П. Диатомовые водоросли в донных осадках озер побережья Белого моря (район поселка Сумский Посад, Карелия, Россия) // Материалы XIII Междунар. науч. конф. альгологов «Диатомовые водоросли: современное состояние и перспективы исследований». Кострома, 2013а. С. 98–99.

Шелехова Т. С., Рыбаков Д. С., Слуковский З. И. Оценка состояния водных экосистем в условиях урбанизации по диатомовым комплексам и концентрации химических элементов в донных осадках // Водные объекты города Петрозаводска: Учебное пособие / Ред. А. В. Литвиненко, Т. И. Ретеранд. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2013б. С. 59–66.

Krammer K., Lange-Bertalot H. Bacillariophyceae. T. 1. Die Susswasserflora von Mitteleuropa. Stuttgart, 1986. P. 1–876.

Molder K., Tynni R. Uber Finnlands rezente und subfossile Diatomeen. I–VII. Bull. Geol. Soc. Finland. 39: 199–217 (1967); 40: 151–170 (1968); 41: 235–251 (1969); 42: 129–144 (1970); 43: 203–220 (1971); 44: 141–149 (1972); 45: 159–179 (1973).

Renberg I., Hellberg T. The pH history of Lakes in Southwestern Sweden, as calculated from subfossil diatom flora of the sediments // Ambio. 1982. Vol. 11, N 1. P. 30–33.

Tynni R. Uber Finnlands rezente und subfossile Diatomeen. VIII–XI. Geol. Surv. Finland Bull. 274: 1–55 (1975); 284: 1–37 (1976); 296: 1–55 (1978); 312: 1–93 (1980).

ИЗУЧЕНИЕ ГИДРОНИМОВ В КУРСАХ ОБЩЕЙ И РЕГИОНАЛЬНОЙ ГЕОГРАФИИ

Р. Ф. Антонова, И. В. Щеколдина

Петрозаводский государственный университет

Введение

Среди средств обучения географии одно из ведущих мест занимают карты. «География и географическая карта связаны между собой неразрывно. Едва ли будет преувеличением, если мы скажем, что без карты нет и не может быть географии» (Половинкин, 1952). Освоение географических дисциплин невозможно без знания географической карты, которую географ должен свободно читать и понимать. Работа с картой требует некоторых навыков. Для начала необходимо вспомнить, как на физической карте изображаются объекты. Для этого следует обратиться к условным обозначениям, которые есть на любой карте. Студенты должны безошибочно различать на карте изображения гор, возвышенностей, равнин и низменностей, относительную глубину Мирового океана. В этом поможет шкала глубин и высот. Затем следует переходить к определению местоположения географических объектов и их запоминанию. Этот процесс невозможен без понимания и знания географической номенклатуры. *Под географической номенклатурой понимается совокупность (перечень) названий географических объектов, в том числе и гидрографических: океанов и их частей, а также гидросферы суши.*

Знание географической номенклатуры – необходимое условие при подготовке специалистов-географов. Оно важно для наиболее быстрого понимания и восприятия теоретического материала, связанного непосредственно с географическими объектами, способствует ориентации в географическом пространстве.

Географическая номенклатура (топонимия) является одной из частей структуры обязательного минимума содержания курсов общей и региональной географии, неотъемлемой частью курсов общего землеведения, физической географии материков и океанов, физической географии России. Географические названия (топонимы) используются при изложении материала для пространственной привязки природных явлений, приводятся в качестве примеров, освещающих географические закономерности, и рассматриваются как самостоятельные понятия.

Материалы предлагаемой лекции используются авторами при изучении таких дисциплин, как «Общее землеведение» (1–2-й курс), «Физическая география России» (3–4-й курс), «География Карелии» (4-й курс).

Изложение материала

Географические названия (топонимы) можно разделить на классы, такие как: *оронимы* (названия поднятых форм рельефа), *гидронимы* (названия водных объектов), *ойконимы* (названия населенных мест), *астионимы* (названия городов) и др.

Под *гидронимом* принято понимать собственное имя водного географического объекта: водоема (море, озеро, пруд), потока (река, ручей) или его части (залив, плёс). Гидронимы классифицируются на *пелагонимы* (названия морей), *лимнонимы* (названия озер), *потамонимы* (названия рек), *гелонимы* (названия болот, заболоченных мест). Изучению водных объектов, происхождению их названий и определению местоположения в пространстве и на карте уделяется большое внимание в курсе вузовской подготовки учителей географии. Объекты гидрологии являются составной частью географической номенклатуры, и их изучение – важнейшая задача студентов-географов. Гидрологические объекты составляют практически половину всех изучаемых объектов. Гидрология подразделяется на общую гидрологию и другие разделы (гидрография, гидрометрия, гидрофизика, гидрохимия, инженерная геология). В общую гидрологию входят океанология (гидрология океанов и морей), гидрология подземных вод (почти то же, что гидрогеология) и гидрология водных объектов суши – гидрология рек, озер, водохранилищ, болот, ледников (почти то же, что гляциология). В соответствии с объектами гидрологии формируются и гидронимы.

Известна воспитательная и познавательная роль топонимов. Многие исторические факты и современные события общественной жизни воспринимаются нами через географические названия. Свободное владение географической номенклатурой характеризует высокий уровень квалификации будущего учителя. В составе номенклатуры есть большое количество физико-географических названий, связанных с областью искусства, культуры, политики и необходимых для общего образования студента.

Русская и зарубежная литература знакомит нас со многими географическими названиями. Поэтому топоним о. Цусима невольно связывается с названием исторического романа А. Новикова-Прибоя «Цусима», а название одной из рек Испании – Гвадалквивир – со знаменитым стихотворением А. С. Пушкина «Шумит, бежит Гвадалквивир...». Гора Броккен в Гарце, где был устроен «шабаш ведьм в Вальпургиеву ночь», ассоциируется с поэмой И. Гете «Фауст». Небольшая река Клондайк на Аляске известна, прежде всего, по рассказам Джека Лондона. Ее топоним стал нарицательным словом, обозначающим «золотую лихорадку». К числу названий физико-географических объектов, ставших местом исторических или современных политических событий, относятся река Халхин-Гол, Синайский полуостров, остров Окинава, остров Гренада и др. (Рассказова, 2009).

Программа по географии предусматривает изучение нормативных географических названий, необходимых для формирования географических понятий и развития общего культурного уровня студентов. Во всем мире особое внимание обращается на нормализацию наименований, т. е. выбор наиболее распространенных названий и определение их написания на том языке, на котором они употребляются. В нашей стране нормализация проводится в соответствии с правилами и традициями русского языка и других языков народов России. В словарях, справочниках и каталогах, на картах и в атласах должны публиковаться только нормализованные наименования географических объектов.

Проблемами нормализации географических наименований обычно занимаются специальные государственные и международные органы. При Организации Объединенных Наций существует специальная Группа экспертов по географическим названиям. ООН регулярно проводит всемирные и региональные конференции по этой тематике – все это свидетельствует о важности и постоянной актуальности

проблемы нормализации географических названий. В России нормализация географических наименований является задачей специализированного подразделения Центрального научно-исследовательского института геодезии, аэросъемки и картографии им. Ф. Н. Красовского (ЦНИИГАиК). В нем разрабатываются инструкции по нормализации наименований, публикуются руководства, нормативные словари, списки переименований (Нормализация... [электронный ресурс]).

Принят особый Федеральный закон, который создал правовую базу для наименования и переименования географических объектов. Закон и принимаемые на его основе нормативные правовые акты (нормы, правила, инструкции, руководства) определяют, кроме того, порядок регистрации, учета и сохранения наименований. Закон устанавливает, что наименование, присваиваемое географическому объекту, должно отражать его характерные признаки, особенности жизни и деятельности населения на данной территории и к тому же вписываться в существующую систему топонимов (Федеральный закон... [электронный ресурс]).

Новые названия географических объектов, взамен устаревших или ошибочных, вводит на справочные карты зарубежных стран и карты материков Главное управление геодезии и картографии. Они становятся обязательными для всех ведомств и организаций нашей страны. Почти все справочные карты никаких пояснений к изменению географической номенклатуры по сравнению с предыдущим изданием не дают. Исключение составляют некоторые выпуски Атласа мира, обновляемые в среднем каждые два года. Но справочный материал в них обесценивается несоответствием ссылок с картами. Отсутствие справочного материала об изменении номенклатуры не позволяет отличить ошибочное искажение топонима, иногда встречаемое на картах, от его нового написания.

При изучении номенклатуры по курсу физической географии материков и океанов необходимо учитывать все имеющиеся и возможные изменения на физической карте мира, своевременно вводить их в учебный процесс, не пользоваться устаревшими географическими названиями, осваивать нормативное написание и произношение топонимов. Правильное произношение географических названий является обязательным не только для дикторов радио и телевидения, но и для учителей географии. К сожалению, все учебные географические атласы не дают представления о произношении топонимов, так как в указателе географических названий не поставлены ударения.

Кафедрой географии Карельской государственной педагогической академии в 2007 г. было выпущено учебное пособие «Географическая номенклатура». Брошюра предназначена для студентов педагогических университетов, изучающих учебные дисциплины физико-географического направления: «Общее землеведение», «Физическая география материков и океанов», «Физическая география России», а также курс национально-регионального компонента «География Карелии». В 2013 г. возникла необходимость в переиздании учебного пособия в связи с изменениями в структуре основных образовательных программ высшего образования и изменениями, происходящими в природе и в обществе. В обновленном учебном пособии изменена структура (включены разделы по общей и региональной социальной и экономической географии), внесены изменения в содержание минимумов географических названий по отдельным курсам, уточнены ударения и правописание некоторых топонимов (гидронимов). Назначение данного пособия – помочь студентам в изучении географической номенклатуры в период обучения по программам бакалавриата по направлению «Педагогическое образование».

В учебном пособии выделено девять разделов. Названия географических объектов объединяются по курсам «Общее землеведение», «Физическая география материков и океанов», «Физическая география России», «Политическая география», «Этногеография и география религий», «География Карелии», «Экономическая и социальная география России», «Экономическая и социальная география зарубежных стран». Номенклатуру по курсу «География Карелии» дополнили названия монастырей, муниципальных образований, городов и поселков городского типа, теплоэлектростанций, волоконно-оптических линий передачи, международных автомобильных пунктов пропуска и др. Названия крупнейших этносов (народов) России и мира, историко-культурных провинций, мест паломничества составляют основу номенклатуры по курсу «Этногеография и география религий». Знание названий субъектов Российской Федерации, городов, крупных месторождений полезных ископаемых, автодорог, электростанций, аэропортов, судоходных каналов и др. – одно из основных требований изучения экономической и социальной географии России.

В курсах по физической географии список номенклатуры выстроен с учетом географического положения объектов в пределах материков и океанов и политико-административных единиц. Географические названия объединены в группы, например: «береговая линия», «горы», «реки», «пустыни». В «Географии Карелии» и курсах общественной географии обычно используется алфавитный и /или географический принцип подачи номенклатуры. Величина объектов (от большего к меньшему) учитывалась при составлении списков городов и поселков городского типа Республики Карелия, городов, месторождений природного газа и нефти, тепловых и гидравлических электростанций России, эксклавов. Отдельно дается список этнонимов (студентам следует находить основные места проживания каждого народа) по курсу «Этногеография и география религий». Некоторые перечни топонимов применимы более чем в одном учебном курсе. Так, государства с их столицами и крупнейшие эксклавы необходимо знать при изучении как «Политической географии», так и «Экономической и социальной географии зарубежных стран».

В педагогическом географическом образовании важным является изучение курсов так называемого национально-регионального компонента – «География России», «География Европейского Севера», «География Карелии», «Историческая география Карелии». В процессе обучения широко используются местные топонимы. Информация об их происхождении помогает выяснить территории расселения народов, пути их передвижения, важные вехи этнической истории, особенности освоения и хозяйственной деятельности в течение нескольких тысячелетий. Топонимия Карелии складывалась в основном на протяжении II тысячелетия н. э. В ней выделяются саамский, прибалтийско-финский (карельский и вепсский) и русский исторические пласты. Среди географических терминов, входящих в состав местных топонимов, выделяется ряд наиболее часто встречающихся, например, «ваара», «мяки», «селькя», «ярви», «йоки», «суо» и др. Из них к гидронимам относятся «ярви», «йоки», «лахти», «салми», «лампи», «оя», «коски» и др.

Заключение

При изучении географической номенклатуры студентам необходимо придерживаться следующих рекомендаций:

1. Изучение географической карты должно осуществляться в соответствии с теоретическим курсом, поэтому при слушании лекции или при работе с учебником необходимо акцентировать внимание на упоминаемых географических объектах (в тексте лекции – подчеркнуть, выделить другим цветом, выписать на поля и т. п.).

2. При изучении географической номенклатуры необходимо пользоваться географическими атласами и настенными картами, чтобы находить географические объекты на картах разных масштабов.

3. Лучшему запоминанию географической номенклатуры способствует знание происхождения названия (топонима). Познакомиться с происхождением названий географических объектов можно в топонимическом словаре Е. М. Поспелова «Географические названия мира» (2002), Э. М. Мурзаева «Словарь народных географических терминов» (1984) и в других изданиях.

4. При отчете по карте необходимо правильно показывать географические объекты: материки, океаны, моря, заливы, острова, равнины – по контуру; линейные – по направлению протяженности; реки – от истока к устью и т. д.

5. При изучении гидронимов необходимо уметь определять исток и устье рек, правые и левые притоки, притоки разных порядков, принадлежность к бассейнам.

6. При изучении социально-экономических и страноведческих дисциплин в качестве самостоятельной работы рекомендуется определить, на территории какой страны расположен тот или иной природный объект. Здесь используется прием сопоставления физико-географических и политико-административных карт.

7. При изучении географических названий необходимо следовать общим правилам использования номенклатуры, таких как принятые сокращения, написание вариантов названий одного и того же объекта, водных объектов разного ранга и т. д.

Для проверки знания географической номенклатуры преподавателями и студентами могут использоваться специализированные письменные задания, а также отдельные тесты (вопросы) в прак-

тических и контрольных работах, географические диктанты, работа с контурными картами и опорными схемами по соответствующим дисциплинам.

Вопросы для самоконтроля

1. Что понимается под определением «географическая номенклатура»?
2. Что такое «гидронимы» и как их классифицируют?
3. С какой целью изучают гидронимы в курсах физической географии, а с какой – в общественной географии?
4. Приведите примеры гидронимов (по классам) для территории Карелии.
5. Приведите примеры гидронимов для района своего проживания (или обучения).

Литература

Географическая номенклатура: Учебное пособие / Сост. С. Б. Потахин и др. Петрозаводск: КГПУ, 2007. 32 с.
Мурзаев Э. М. Словарь народных географических терминов. М., 1984.
Половинкин А. А. Общая физическая география. Основы общего землеведения. М., 1952.
Поспелов Е. М. Географические названия мира. Топонимический словарь. М.: Астрель, 2002. 512 с.
Рассказова Н. М. Географические названия и их изучение в курсе «Физическая география материков и океанов» // Материалы II Междунар. науч.-практ. конф. «Непрерывное географическое образование: новые технологии в системе высшей и средней школы». Гомель: ГГУ им. Ф. Скорины, 2009. 190 с.

Нормализация географических наименований [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.mobigeo.ru/normalizatsiya-geograficheskikh-naimenovaniy.html>.

Федеральный закон «О наименованиях географических объектов» [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://ru.wikisource.org/wiki/Федеральный_закон_«О_наименованиях_географических_объектов».

КЛИМАТ КАРЕЛИИ

Л. Е. Назарова

Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН

Введение

В статье приводятся сведения из истории развития метеорологических наблюдений на территории Карелии, а также общая характеристика климатических условий республики. Подробно рассмотрены ветровой и температурный режимы, режим атмосферных осадков и повторяемость атмосферных явлений, изменение продолжительности солнечного сияния и количества облачности, приведены примеры экстремальных значений различных метеорологических параметров. В тексте даны определения основных метеорологических терминов. Представленный материал может быть использован при подготовке лекций для студентов географических специальностей ПетрГУ и при изучении курса географии в общеобразовательных школах Карелии.

Вопросы формирования и динамики климата изучаются в рамках науки климатологии, которая, в свою очередь, является звеном более общей и древней науки – метеорологии. Метеорология – это наука о погоде, т. е. наука, изучающая процессы, происходящие в атмосфере, и разрабатывающая прогнозы будущих изменений. Слово «метеорология» появилось в IV веке до нашей эры. Зарождение этой науки связано с именем великого греческого мыслителя Аристотеля. Он занимался не только вопросами философии, но и биологии и физики. В те времена считалось, что все изменения на небе происходят в одной природной сфере и должны изучаться одной наукой. Аристотель был убежден, что дожди, кометы, град, радуги, различные сияния – это все предметы, находящиеся в воздухе. В соответствии со своими представлениями он подобрал название тому, что видел – предметы в воздухе, на греческом языке «*та метеора*» (та метеора). Свои знания и представления он обобщил в трактате «Метеорологика, или трактат о небесных явлениях». Именно с этой работой связано рождение науки об атмосфере и погоде – метеорологии.

Сказать, когда появились первые прогнозы погоды, сложно, поскольку первыми прогнозами по сути своей являются народные приметы погоды. Метеорологический словарь определяет приметы погоды как эмпирические правила, относящиеся к ожидаемым изменениям погоды, возникающие в результате многовекового народного опыта и передаваемые в порядке фольклорной традиции, часто в виде пословиц. Еще античные ученые отмечали связь между отдельными явлениями погоды, но дальше этого они не пошли. Первые прогнозы, основанные на инструментальных наблюдениях, появились в середине XIX в. и связаны они с именем английского моряка, капитана Роберта Фицроя (в другом написании – Фиц Роя). Он впервые обратил внимание на связь между атмосферным давлением и характером погоды. В своей работе он использовал наблюдения по барометру. При повышении атмосферного давления погода была ясная, а при низких значениях давления наступало ненастье. К сожалению, его прогнозы не всегда были удачны, но у него появились последователи, стала развиваться наука синоптическая метеорология. Синоптики – это метеорологи, специализирующиеся на анализе атмосферных физических процессов и предсказании будущего состояния погоды. По-гречески «синоптикос» – обозревающий все вместе.

В России в середине XVII в. в царствование Алексея Михайловича стали фиксировать погоду в «Дневальных записках приказа тайных дел». Позднее эти записки послужили примером для Петра I при составлении дневников и походных журналов, в которые заносились сведения о состоянии погоды. Также по завещанию Петра I в декабре 1725 г. в Санкт-Петербурге приступили к наблюдениям на первой в Российской Империи метеорологической станции.

Для территории Карелии сведения о первых метеорологических наблюдениях относятся к 1810-м гг. (Повенец, Петрозаводск, Сердоболь), но интерес они представляют, скорее, для историков, так как были весьма отрывочны. А постоянные наблюдения стали проводиться в 1830-х гг. в г. Кеми, позднее – на острове Валаам, в Петрозаводске, Паданах и т. д. В Петрозаводске первая метеорологическая станция была открыта в 1857 г. в центральной части города при врачебном управлении, затем она была перенесена в северо-западную часть города, потом во двор гимназии, расположенной в 3 км к востоку-северо-востоку. Так станцию перемещали по территории города, пока в июне 1949 г. на территории плодово-ягодного питомника в районе Сулажгоры не была организована новая станция, которую в 1954 г. перенесли на 1 км к северо-западу, где она и находится в настоящее время.

В середине 1980-х гг. метеорологическая сеть Карелии включала в себя 35 метеорологических станций и около 200 метеорологических постов. К настоящему времени наблюдения ведутся лишь на 17 метеорологических станциях.

Данные многолетних инструментальных наблюдений метеорологических станций являются основой для работ, направленных на изучение климата Республики Карелия. При этом нужно помнить, что, говоря о климате, мы имеем в виду многолетний режим атмосферных условий (условий погоды), характерный для каждого данного места Земли, а говоря о погоде – непрерывно меняющееся состояние атмосферы в данном месте в данный момент времени.

Карелия расположена в северо-западной части умеренного климатического пояса. Климатический режим республики можно охарактеризовать как переходный от морского к континентальному; по классификации Б. П. Алисова, в основу которой положена зависимость возникновения различных типов климата от условий общей циркуляции атмосферы, климат Карелии относится к атлантико-арктической зоне умеренного пояса. Это означает, что в течение года для Карелии характерно преобладание воздушных масс атлантического и арктического происхождения. С установлением западной формы переноса наблюдается усиленная активизация циклонической деятельности, что приводит к изменению погодных условий в сторону пасмурных. Воздушные массы с Атлантики делают климат республики существенно более теплым и влажным, чем климат других районов России, расположенных восточнее на этой же широте. Летом циклоны, сформировавшиеся над Атлантикой, приносят в Карелию затяжные дожди и прохладную погоду, плотную низкую облачность. При господстве западного переноса зимой устанавливается теплая мягкая погода, температура воздуха во все зимние месяцы может подниматься выше нуля. Циклоны возникают не только над Атлантическим океаном, но и в районе Средиземного моря и низких среднеазиатских широт. С приходом этих циклонов летом связана необычная для севера жара. Наиболее яркий пример прихода таких воздушных масс – жаркое и сухое лето 1972 г. Температура воздуха во все летние месяцы поднималась до +30 °C и выше, что вме-

сте с отсутствием осадков послужило причиной многочисленных лесных пожаров, понижения уровня озер, резкого уменьшения стока рек. Циклоны, образовавшиеся над Баренцевым и Карским морями, над просторами Центральной Арктики, приносят арктический воздух, что вызывает зимой резкое похолодание при безоблачном ясном небе. Летом устанавливается ясная, сухая и холодная погода с устойчивыми северными ветрами. Гораздо меньше проявляется над территорией Карелии восточная форма циркуляции. При этой форме переноса наблюдается перемещение барических образований с востока или северо-востока. Продолжительность и устойчивость восточной циркуляции обычно меньше, чем западной. Восточный тип циркуляции в основном проявляется в зимний период, что приводит к установлению низких температур воздуха, уменьшению облачных дней, малому количеству осадков. К апрелю этот тип циркуляции заметно ослабевает и сменяется на меридиональный. К началу летнего сезона устанавливается господство западного переноса воздушных масс.

Особенности циркуляционного режима, а также количество солнечной радиации, поступающее соответственно географической широте территории, близость Балтийского, Белого и Баренцева морей, интенсивная циклоническая деятельность во все сезоны года, комплекс местных, крайне разнообразных природных условий (рельеф, обилие озер и болот, значительная лесистость и т. п.) обуславливают продолжительную, но не суровую зиму; позднюю весну с частыми возвратами холодов; прохладное, короткое лето; высокую относительную влажность воздуха; значительное количество осадков и неустойчивые погодные условия в течение всех сезонов.

В среднем за год на территории Карелии, относящейся к зоне избыточного увлажнения, выпадает 550–750 мм осадков. Годовое их количество возрастает в направлении с севера на юг. Однако на распределение осадков большое влияние оказывают орографические особенности местности и характер подстилающей поверхности, ведущие к нарушению плавного хода изменения количества осадков. Довольно заметно уменьшаются годовые суммы осадков вблизи крупных водоемов, таких, как Белое море, озеро Ладожское, Онежское, Топозеро, Пяозеро и т. д. В районе побережья Белого моря в границах Карелии отмечаются наименьшие в республике годовые суммы осадков (500–550 мм). Равнинная, покатая к Белому морю территория побережья в средней и северной части покрыта огромными массивами болот, открыта для воздействия ветров на значительные расстояния, вплоть до возвышенностей западной Карелии. При таких условиях рельефа влияние Белого моря сказывается здесь в смягчении среднегодовых температур воздуха, а также в создании минимума осадков в северной приморской полосе. Летом Белое море холоднее суши, и воздух, поступающий с моря на сушу, нагревается и при этом не только не выделяет свою влагу, а наоборот, поглощает образовавшуюся на суше влагу (Романов, 1961) (рис. 1).

Внутри года осадки распределены неравномерно – их количество за теплый период (май–октябрь) колеблется от 350 до 400 мм, за холодный – от 150 до 350 мм. Максимум количества осадков на большей части республики приходится на июль–август, иногда на сентябрь. В эти месяцы выпадает от 70 (по Северной Карелии) до 80–90 мм (по остальной территории). Жидкие осадки отмечаются в каждом месяце и составляют 60–65 % от годовой суммы, твердые осадки составляют 24–25 %, смешанные – 10–15 % годовых. В отдельные годы месячные суммы осадков могут значительно отклоняться в ту или иную сторону от многолетних величин. Например, в июле 1973 г. в Юшкозере выпало 0,0 мм осадков за месяц при климатической норме 66 мм, станция Петрозаводск в сентябре 1970 г. зарегистрировала месячную сумму осадков 182,1 мм при норме 77 мм. Величина суточных максимумов количества осадков также может быть довольно значительной. Так, в г. Пудожье в июле 1965 г. за сутки выпало 110,7 мм осадков (двухмесячная норма), а в июле 1993 г. в д. Черный Порог Сегежского района было отмечено выпадение 89,6 мм осадков за 12 часов.

Относительная влажность воздуха изменяется от зимы к лету в среднем от 90 до 50 %. Число дней с влажностью в течение суток более 80 % составляет в среднем 150–170 дней, с влажностью менее 30 % – всего 3–9 дней. Наиболее высокая относительная влажность воздуха наблюдается в холодный период с ноября по январь (более 85 %), наименьшая – в мае–июне, но и тогда среднее значение на суше не опускается ниже 50–55 %; в этот же период относительная влажность у водоемов достигает 60 % (на островах – до 70 %), ночью – до 80 %. Суточный ход относительной влажности наиболее резко выражен в теплое время (апрель–сентябрь). В это время максимум относительной влажности воздуха наблюдается в 4–5 часов, а минимум – в 14–16, суточная амплитуда составляет 15–30 %. Зимой суточная амплитуда относительной влажности не превышает 1–5 %.

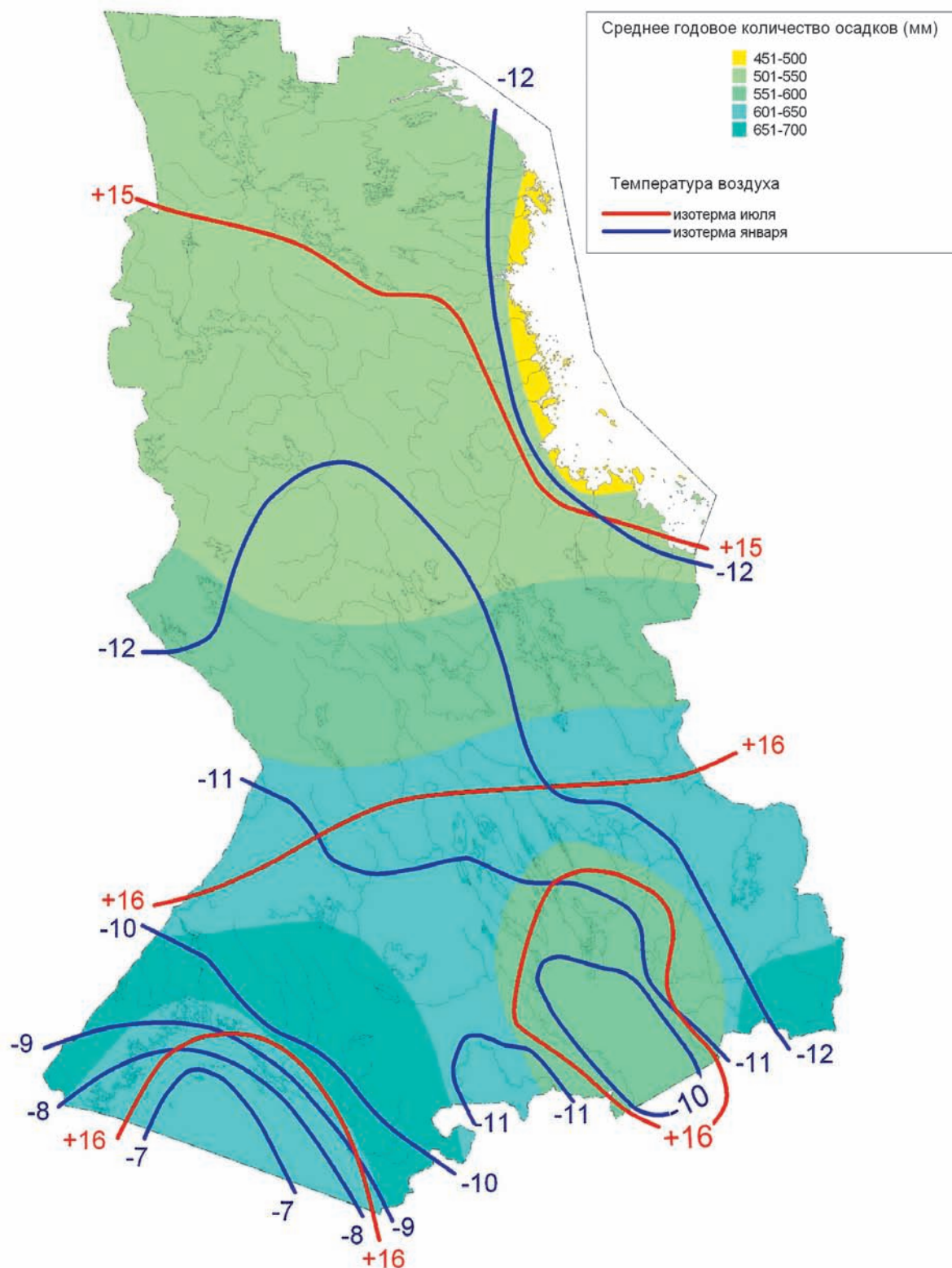


Рис. 1. Климатическая карта-схема Карелии

Карелия расположена в зоне относительно малого испарения, которое обусловлено значительной облачностью и невысокими летними температурами. На испарение затрачивается 50–60 % атмосферных осадков, поступающих на поверхность водосборов. Годовая величина испаряемой влаги с поверхности почв уменьшается с юга на север от 420 до 310 мм.

Над территорией республики преобладающими в течение года являются ветры южного, юго-западного и западного направлений, за исключением тех районов, где под влиянием особенностей рельефа ветровое поле искажается. На климат многих районов Карелии заметное влияние оказывают сельги и другие грядовые образования. В районе Кондопоги наибольшей повторяемостью отличаются ветры северного и юго-восточного направлений, что вызвано влиянием цепи холмов, ориентированных с северо-запада на юго-восток. Именно всхолмления, защищающие северное побережье Ладожского озера от северных ветров, позволяют господствовать здесь ветрам южной четверти. Особенности рельефа и влияние Ладожского озера привели к образованию в районе Сортавалы микроклимата, отличного от климата соседних районов Карелии. Это наиболее теплый район республики, средняя годовая температура воздуха выше $+3^{\circ}\text{C}$. Устойчивость и величина скорости ветров зависят от времени года. В холодный период благодаря большим горизонтальным градиентам давления ветры наиболее устойчивы по направлению и наибольшие по силе (3–4 м/с). На открытых побережьях крупных водоемов среднемесячные скорости ветра составляют 4–5 м/с, на островах Ладожского и Онежского озер достигают 7–8 м/с. В летнее время скорости ветров уменьшаются до 2,5–3,5 м/с в среднем по территории республики и до 4–5 м/с на островах. В различные годы метеорологические станции Карелии фиксировали усиления скорости ветра до 25–30 м/с, порывы до 40 м/с. Суточный ход скорости ветра наиболее выражен в теплое время года, особенно с мая по август. Наибольшие скорости отмечаются в дневные часы.

Такие крупные водоемы, как Ладожское и Онежское озера, способны создавать местную циркуляцию, которая, проявляясь в прибрежной зоне, вызывает частую смену направлений ветра. В летнее время вследствие неравномерного суточного нагревания воды и суши над озерами образуются бризовые ветры. Они наблюдаются в береговой зоне открытого плеса, в заливах и губах. Над Онежским озером бризы распространяются на расстояние на 3–10 км в озеро и до 20 км в глубь побережья.

В любые сезоны года для климатических условий Карелии характерна частая смена воздушных масс. В целом для территории республики наблюдается 215 дней с циклонами в течение года (для сравнения – в районе Москвы циклоны наблюдаются в течение 150–160 дней за год). Интенсивная циклоническая деятельность, относительно быстрая смена синоптических процессов обуславливают значительную изменчивость, порой даже в течение суток, значений метеорологических элементов и параметров. Так, именно прохождение глубокого ныряющего циклона вызвало повышение температуры воздуха в Петрозаводске с 7 часов 31 января до 7 часов 1 февраля 1956 г. на $28,2^{\circ}\text{C}$. Прохождением циклона было обусловлено и падение атмосферного давления 8 января 1973 г. на 38,3 гПа за сутки. Приведенные примеры, конечно, являются экстремальными, однако и средняя межсуточная изменчивость метеоземента в Карелии довольно значительна. Для Петрозаводска средние значения колебаний температуры воздуха от суток к суткам составляют $2\text{--}3^{\circ}\text{C}$ с мая по октябрь и $3\text{--}4^{\circ}\text{C}$ с ноября по апрель. Для атмосферного давления межсуточная изменчивость наибольшая в зимние месяцы (в среднем 6,6–7,2 гПа), в летние – наименьшая (3,6–4,3 гПа). Интенсивная циклоническая деятельность приводит к развитию значительной облачности во все сезоны года. Среднегодовые величины общей облачности для Карелии – 7–8 баллов (по десятибалльной шкале). По данным И. В. Молчанова (1946), наименьшей по сравнению с другими районами облачностью отличается Ладожское озеро. Среднегодовые значения общей облачности над Ладогой и прилегающими территориями составляют около четырех баллов. Вероятность пасмурного неба в летнее время равна 46–50 %, в весеннее и осеннее – 65 %, в зимнее – 80 %. Наибольшие значения количества облачности для территории Карелии в целом наблюдаются в осенние месяцы с максимумом в ноябре (8,8–9,2 балла общей облачности). Повторяемость пасмурного состояния неба (8–10 баллов по общей облачности) в этот период составляет 83–88 %. К марту количество облачности заметно убывает, а в период с марта по июль не превышает 6,5 балла. Преобладание пасмурного состояния неба приводит к уменьшению продолжительности солнечного сияния в Карелии до 34–37 % от возможного (в Ленинградской, Новгородской и Псковской областях 41–45 %). В районе Петрозаводска теоретически возможное число часов с солнцем составляет 4530 за год. Но вследствие часто повторяющегося пасмурного состояния неба действительная продолжительность солнечного сияния значительно уменьшается, до 1674 часов за год, что составляет 37 % от возможного. По данным ГМС Сортавала (Климат Сортавалы, 1988) с увеличением облачности на 1 балл суммарная радиация уменьшается на 15 % в январе-марте, на 13–20 %

в сентябре-ноябре, на 17 % в июне-июле и на 9 % в апреле, августе и декабре. В среднем за год с увеличением облачности на 1 балл величина суммарной радиации уменьшается на 15 %. На территории Карелии продолжительность солнечного сияния распределяется довольно равномерно, постепенно увеличиваясь с севера (Лоухи – 1560 часов в среднем за год) на юг (Сортавала – 1749) (рис. 2).

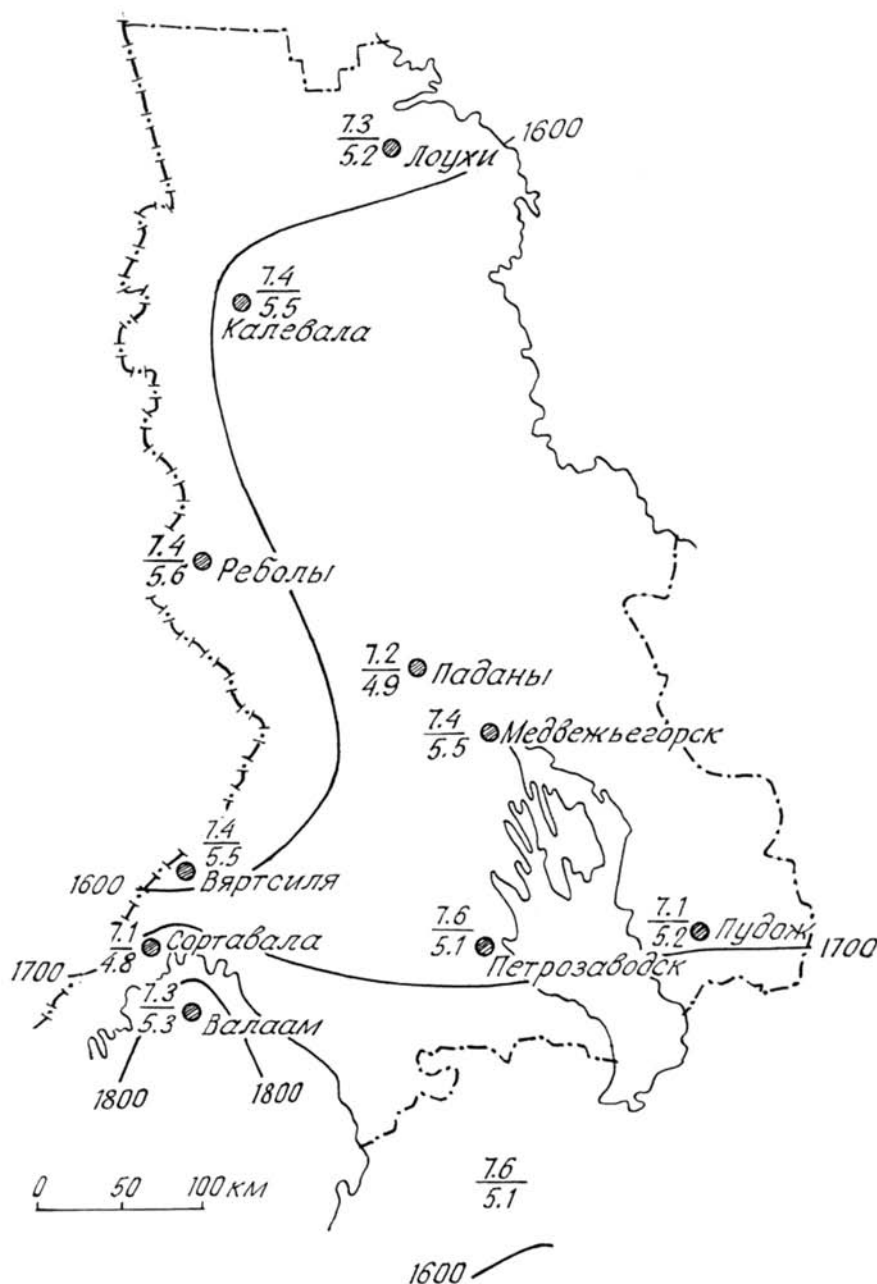


Рис. 2. Продолжительность солнечного сияния (часы) и среднегодовое количество облачности общей/нижней (баллы) на территории Карелии за 1951–1990 гг.

На побережьях крупных водоемов число часов с солнцем несколько увеличивается. Это обусловлено уменьшением количества облачности в теплое время года над районами, непосредственно прилегающими к Ладожскому и Онежскому озерам. Продолжительность солнечного сияния имеет хорошо выраженный годовой ход. Максимум часов с солнечным сиянием за месяц приходится на июль на севере республики (280–290 часов), на юге – на июнь (290–300 часов). Минимальное число часов солнечного сияния отмечается в декабре (0–14 часов). В отдельные годы вследствие изменчивости циркуляционных процессов в атмосфере могут наблюдаться значительные отклонения от сред-

них многолетних значений продолжительности солнечного сияния. Так, для Петрозаводска в декабре 1984 г. был отмечен абсолютный минимум продолжительности солнечного сияния – за месяц солнце наблюдалось в течение 42 минут при норме 8,3 часа, абсолютный максимум часов с солнцем за месяц для Петрозаводска составляет 407 часов (май, 1978 г., норма – 294,5 часа). Число дней без солнца в Карелии составляет 120–130 дней за год, на севере республики – 140 дней (для сравнения, в Павловске под Санкт-Петербургом – 111 дней за год, в Бресте – 93, в Омске – 57). В период с ноября по январь пасмурная погода в Карелии является преобладающей. В Северной Карелии в этот период солнечное сияние практически отсутствует, число дней без солнца составляет 27–31 день за месяц. В южных районах республики солнце не появляется в течение 20–25 дней за месяц. Значительно реже дни без солнца отмечаются в весенний и летний сезоны. Наименьшее число дней без солнца приходится на июнь, в среднем 1 день за месяц.

Средняя годовая температура воздуха на территории Карелии изменяется от 0 °С на севере до 3 °С на юге. Самый холодный месяц – январь (–12...–13 °С в северной части, –9...–10 °С – в южной). В отдельные годы минимальные годовые температуры воздуха могут отмечаться в любой из зимних месяцев. Так, понижение температуры до –47 °С, отмеченное на МС Лоухи, было зарегистрировано в феврале (1946 г.). Вблизи крупных водоемов и на островах Ладожского и Онежского озер февраль холоднее января в среднем на 0,2–0,5 °С. Понижение температуры до –40 °С наблюдается 1–2 раза в 10 лет, до –50 °С и менее – 1 раз в 80–100 лет. Абсолютный минимум температуры воздуха для Карелии был зафиксирован в январе 1940 г. в Олонце и составил –54 °С.

Самым теплым месяцем является июль (14–15 °С на севере и 16–17 °С на всей остальной территории республики). Абсолютный максимум температуры воздуха составил +36 °С (июль 1972 г. – Пудож и июль 2010 г. – Олонец).

Переход средней суточной температуры воздуха через ноль в сторону повышения (наступление весны) происходит на севере в конце апреля, на юге – 10–15 апреля. Период с положительными средними суточными температурами составляет соответственно 175–190 и 190–200 дней. Весна характеризуется частыми возвратами холодов, а иногда и кратковременным установлением снежного покрова. В среднем к концу апреля вся территория освобождается от снега. Но в некоторые годы в северных районах снежный покров может сохраняться до третьей декады мая.

Лето (устойчивый переход средней суточной температуры воздуха через 10 °С) наступает в конце мая на юге и в середине июня на севере республики. Средняя продолжительность летнего сезона 2,5–3,5 месяца. Летний сезон в Карелии короткий и относительно прохладный. Устойчивый период времени со среднесуточной температурой воздуха выше 15 °С по северу Карелии бывает только в теплые годы (обеспеченность менее 50 %), в Центральной и Южной Карелии этот период составляет от 30 до 50 дней. В конце августа – первой половине сентября повсеместно отмечаются заморозки. Безморозный период по республике составляет 80–130 дней, на островах Ладожского озера (Валаам) – 150 дней в году.

Осень наступает на севере в конце августа, на юге – в конце первой – начале второй декады сентября и продолжается около двух месяцев. Осенние месяцы, как правило, теплее весенних. Сентябрь теплее мая, а октябрь – апреля в среднем на 2–3 °С.

Зима в Карелии продолжительна. Начало зимнего сезона (устойчивый переход средней суточной температуры воздуха через –5 °С в сторону понижения) совпадает со средней датой образования устойчивого снежного покрова. Период со среднесуточной температурой воздуха ниже –5 °С составляет 125–135 дней на севере и 115–125 дней на юге, а ниже –10 °С, соответственно, 70–80 и 50–60 дней. Устойчивого периода времени с температурой воздуха ниже –15 °С не наблюдается. В зимний период часто могут наблюдаться оттепели до 2–5 °С, которые нередко сменяются резкими похолоданиями, когда минимальная температура воздуха может достигать –30 °С. Переход температуры через –5 °С осуществляется в середине ноября в северных и в конце ноября в южных районах. Обратный переход – в последние числа марта на севере и 20–25 марта – на юге Карелии.

Несколько иные сроки наступления сезонов года отмечаются на островах Ладожского озера, в частности на островах Валаамского архипелага. Медленно нагреваясь и медленно остывая, Ладога на две недели задерживает смену времен года на островах по сравнению с южным побережьем. Безморозный период на Валааме длится на месяц дольше, чем в Петрозаводске.

Не редкое явление в Карелии – туманы. Возникновение туманов связано главным образом с изменением температуры и влажности воздуха. Среднее за год число дней с туманом составляет от 21 в районе п. Паданы до 81 для Олонца. В отдельные годы число дней с туманом может достигать 103 за год. Наименьшая повторяемость туманов отмечается в период с мая по июль (1–4 дня), наибольшая – в августе и октябре (5–9 дней).

Частые туманы, дымки и выпадение жидких осадков в холодный период способствуют образованию гололедно-изморозевых отложений на проводах, опорах линий связи и электропередачи, деревьях, телемачтах, высотных кранах и т. д. Выделяют пять видов обледенения: гололед, зернистая и кристаллическая изморозь, отложение мокрого снега и сложные отложения. Инструментальные наблюдения за гололедно-изморозевыми явлениями в Карелии начали проводить с середины 50-х гг. XX в. с помощью гололедного станка. Гололедно-изморозевый сезон в Карелии наблюдается ежегодно с сентября по май (в северных районах республики с августа по май). Из всех видов обледенения наиболее часто отмечается кристаллическая изморозь (в среднем от 20–35 дней в Центральной Карелии до 61 дня в северных районах). Образование кристаллической изморози происходит в результате сублимации водяного пара из мелкокапельного тумана или дымки и в большинстве случаев при температуре воздуха ниже -10°C . Значительно реже наблюдаются гололед (5–12 дней за год) и сложное отложение (6–13 дней). Атмосферные явления, способствующие образованию гололеда, очень разнообразны. Чаще всего он образуется при выпадении мороси, реже – при дожде, ледяном дожде и мокром снеге. Отложение мокрого снега встречается редко, в среднем 0,2–5 дней в течение года для разных районов республики, и наблюдается обычно при обильных и непродолжительных снегопадах, при температуре воздуха от 0 до -5°C .

Грозовая деятельность в нашей республике наиболее развита в теплый период – с мая по август. Ее можно оценить по количеству дней с грозой за месяц и за год. Первые грозы отмечаются в апреле, но явление это редкое. Не ежегодно грозы отмечаются в сентябре, еще реже – в октябре. Исключительно редкое явление – зимние грозы. Так, в Петрозаводске за период наблюдений с 1949 по 1990 г. были зарегистрированы всего три случая с зимней грозой (в декабре 1961 г., в январе 1970 г., в феврале 1968 г.). Наибольшего развития грозовая деятельность достигает в июле (4–6 дней с грозой). В отдельные годы наблюдается до 15–18 дней с грозой за месяц. В целом за год грозы в Карелии отмечаются в течение 10–17 дней.

Выпадение града на территории Карелии наблюдается не каждый год и преимущественно в теплое время (с мая по сентябрь). Обычно град сопровождается сильными ливнями, грозами и шквальным усилением ветра. Среднее многолетнее число дней с градом за год составляет 0,6–2,1. В годовом ходе наиболее часто град отмечается в июне. Наибольшее число дней с градом за год в Карелии (8 дней) было отмечено в Петрозаводске в 1950 г.

В период с сентября по июнь на территории Карелии возможно возникновение метелей. В среднем за год в разных районах республики наблюдается от 25 до 55 дней с метелью. Повторяемость метелей возрастает к середине зимнего сезона и становится максимальной в январе, что обусловлено интенсивной ветровой деятельностью и наибольшим в году количеством дней в году с твердыми осадками, а также наибольшей сухостью снега. В это время может наблюдаться до 10–13 дней с метелью, в отдельные годы до 20 дней за месяц. К апрелю повторяемость метелей значительно уменьшается – до 1–3 дней за месяц. В редкие годы по северу республики возможно возникновение метелей в июне. Так, на станциях Лоухи, Юшкозеро, Кемь, Паданы были зарегистрированы по одному дню в июне с этим явлением.

К исключительно редким явлениям на территории Карелии следует отнести наблюдавшийся в июле 1972 г. в районе Юшкозера смерч, прошедший со скоростью ветра 40 м/с.

Вопросы для самоконтроля

1. Изучением каких вопросов занимается наука метеорология?
2. Чем отличается погода от климата?
3. Какие климатообразующие факторы влияют на формирование климата Карелии?
4. Где на территории Карелии выпадает наименьшее количество атмосферных осадков?
5. Ветры какого направления являются господствующими на нашей территории?

Литература

- Будыко М. И. Климат в прошлом и будущем. Л., 1980. 350 с.
- Дроздов О. А., Васильев В. А., Кобышева Н. В. и др. Климатология. Л.: Гидрометеиздат, 1989. 568 с.
- Климат Карелии: изменчивость и влияние на водные объекты и водосборы. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2004. С. 55–63.
- Климат Петрозаводска / Под ред. Ц. А. Швер. Л., 1982. 212 с.
- Климат Сортавалы / Под ред. Ц. А. Швер и Л. С. Раковой. Л., 1988. 117 с.
- Молчанов И. В. Ладожское озеро. Л., 1946. 559 с.
- Назарова Л. Е. Климат: определение понятия, основные компоненты // Изучение водных объектов и природно-территориальных комплексов Карелии. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2007. С. 37–40.
- Назарова Л. Е. Изменчивость средних многолетних значений температуры воздуха в Карелии // Известия Русского географического общества. 2014. Т. 146, вып. 4. С. 27–33.
- Романов А. А. О климате Карелии. Петрозаводск, 1961. 139 с.

ОЛОНЕЦКАЯ НАУЧНАЯ ЭКСПЕДИЦИЯ Г. Ю. ВЕРЕЩАГИНА 1918–1924 гг.

А. В. Собисевич

Институт истории естествознания и техники им. С. И. Вавилова РАН

Введение

Олонецкая научная экспедиция была первым опытом комплексного исследования большой группы озер на территории Республики Карелии. Участниками экспедиции проводилось изучение как гидрологических, так и гидрохимических характеристик водоемов. Данные о ходе этого изучения могут быть использованы для оценки динамики изменения состояния водных объектов и степени их современной антропогенной нагрузки. Материалы, представленные в этой лекции, могут быть использованы для обучения студентов географических специальностей по таким дисциплинам, как учение о гидросфере, общая гидрология и озераведение.

Изложение материала

До середины XIX в. исследования озер на территории Карелии проводились эпизодически отдельными учеными и путешественниками, представляя собой попутные наблюдения. С 60-х гг. XIX в. было начато подробное изучение отдельных водоемов, в ходе которого описывались такие морфометрические характеристики, как очертания берегов, площадь и глубины. Малые и средние озера изучались преимущественно с целью поиска запасов железных руд, большие – для обеспечения безопасности судоходства (Собисевич, 2014). Это послужило основой комплексных лимнологических исследований на территории Карелии, которые стали проводиться с начала XX в. В 1911 г. на территории Петрозаводского уезда гидрологическая экспедиция под руководством В. Ф. Пиотровского детально изучила морфометрические характеристики кончезерской группы озер. Полученные результаты были учтены при подготовке Государственным гидрологическим институтом подробного исследования озер южной и средней части Карелии, проведение которого было поручено талантливому гидрологу Глебу Юрьевичу Верещагину (Потахин, 2008).

Подготовка к началу Олонецкой научной экспедиции была начата весной в 1918 г. Сначала Г. Ю. Верещагиным была совершена ознакомительная поездка на территорию Пудожского уезда. Цель поездки он объяснял так: «Отправляясь в поездку, я имел в виду произвести более подробное исследование одного какого-либо типичного для местности озера с тем, чтобы иметь возможность впоследствии сравнивать с ним добытые для других озер более отрывочные сведения» (Верещагин, 1921, с. 147). Таким образом, данные подробных гидрологических наблюдений на этом озере могли быть в дальнейшем использованы для последующего сравнительного анализа с результатами краткого изучения других озер. Для детального изучения было выбрано оз. Свиное, находящееся в северо-восточной части Пудожского уезда.

В ходе наблюдений, продолжавшихся с 17 июня по 5 ноября 1918 г., Г. Ю. Верещагин составил план озера, а затем начал проводить его систематическое гидрологическое исследование. Всего на оз. Свином было создано 50 профилей, позволивших детально выяснить рельеф дна. Четыре раза в день проводились метеорологические наблюдения, раз в день измерялась температура поверхности воды, периодически делались термические измерения на глубине. Биологические наблюдения включали исследование состава планктона, также выяснялось распределение донной фауны по дну озера (Верещагин, 1921).

Сама же работа Олонецкой научной экспедиции были начата в 1919 г. Под руководством Г. Ю. Верещагина работали топографическая, геологические и лимнологические группы. Первая лимнологическая партия исследовала озера: Хижезеро, Ведлозеро, Волозеро, Узкое северное и Узкое южное. Делались промеры, в ходе которых изучался рельеф дна и характеристики грунта. Проводилось измерение температур на разных глубинах, определялось содержание кислорода, измерялась прозрачность и цвет воды, изучался состав планктона и донных организмов. При изучении распределения грунтов обращалось особое внимание на характер залегания озерных руд (Олонецкая..., 1924).

Вторая лимнологическая партия исследовала озера в северной части Онего-Беломорского водораздела и Выгозера. При исследовании Маткозера и прилегающего к нему оз. Телекинского были описаны и нанесены на карту очертания берегов и заросли прибрежной растительности, выполнены промеры на 137 линиях, собрано 27 образцов грунта и озерной руды. В рудоносных озерах было обнаружено кольцеобразное расположение донных залежей руды на границе прибрежной и открытой части озер, также драгированием изучалась донная фауна.

Всего же за период с 1918 по 1924 г. были отобраны 43 пробы для полигонного химического анализа; сделаны 353 определения количества растворенного в воде кислорода (на разных глубинах, в разное время дня, в открытом озере и в различных участках прибрежной области) (Широкова, 2010). Проведенные исследования донных железных руд в походной химической лаборатории позволили доказать, что они образовались в результате биологических процессов.

Помимо гидрологических исследований проводились другие виды работ. Картографирование озер и территорий водосборов выполнялись шестым Военно-топографическим отрядом Корпуса Военных Топографов. Весь район между железной дорогой и Петровским путем, с одной стороны, и Онежским озером и Выгозером, с другой стороны, был пройден девятью инструментальными ходами. В ходе съемок было уточнено положение всех основных водных объектов и определены высоты их берегов. Особенно большое внимание было уделено инструментальным съемкам древних террас на берегу Онежского озера, где широко применялось нивелирование.

Геологические работы проводились под общим руководством профессора В. М. Тимофеева тремя отрядами. Первым отрядом была изучена местность между Повенцом и Медвежьей Горой, вторым – геологическое строение берегов Белозера, Вадлозера, Узких и Хижезера и выполнено два поперечных маршрута между Хижизером и железной дорогой до станции Масельской и между станцией Урос до деревни Телекино. Третий отряд выяснял геологическое строение берегов Маткозера, Телекино, Чарнозера и ряда южных озер: был сделан один поперечный маршрут от села Морская Масельга и озера Кончозеро в восьми верстах от станции Масельской, а также исследован участок Беломорского тракта от города Повенца до деревни Морская Масельга.

В 1924 г. Олонецкая научная экспедиция была расформирована, и в вышедших из печати 11 выпусках «Трудов Олонецкой научной экспедиции» была опубликована только часть материалов. В опубликованных работах были приведены гидрохимические анализы воды озер Олонецкой губернии, но они имеют статистический, а не аналитический характер (Широкова, 1998).

Заключение

В ходе Олонецкой научной экспедиции было успешно проведено комплексное изучение озер Южной и Средней Карелии. Значительным достижением этой экспедиции было то, что она включала в свою программу подробные гидрохимические исследования. Это было во многом обусловлено улучшением лабораторной базы, позволяющей проводить измерение содержания растворенного в воде кислорода и определять особенности ее ионного состава в полевых лабораториях. Совершенствование гидрохимических и гидробиологических исследований было очень важно при последующем решении задач водоснабжения Петрозаводска.

Вопросы для самоконтроля

1. Какие гидрологические исследования на территории Карелии предшествовали Олонецкой научной экспедиции?
2. Почему для проведения подробных гидрологических исследований Г. Ю. Верещагиным было выбрано оз. Свиное?
3. Какие гидрологические характеристики определялись в ходе экспедиции?
4. Перечислите гидрохимические параметры воды, которые определялись в полевых лабораториях.
5. Назовите основные результаты Олонецкой научной экспедиции.

Литература

- Верещагин Г. Ю. Из результатов исследования озер Пудожского уезда Олонецкой губернии летом 1918 г. // Известия Государственного Гидрологического Института. Петроград, 1921. С. 145–157.
- Олонецкая научная экспедиция // Известия Российского гидрологического института. № 8. Петроград, 1924. С. 67–69.
- Потахин М. С. Основные этапы исследования озер в Карелии // Экологические и социальные проблемы Северо-Запада России и стран Балтийского региона: Материалы общественно-научной конф. с междунар. участием 27–28 нояб. 2008 г. Псков, 2008. С. 28–30.
- Собисевич А. В. Лимнологические исследования на территории Карелии с 1860 по 1920-е гг. // Институт истории естествознания и техники им. С. И. Вавилова. Годичная научная конференция-2014. М., 2014. С. 517–520.
- Широкова В. А. История гидрохимии: Поверхностные воды суши России (начало XVIII – середина XX вв.). М., 1998. 196 с.
- Широкова В. А. История гидрохимии в России: Очерки истории. М., 2010. 274 с.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ АНТРОПОГЕННЫХ ФАКТОРОВ НА ЭЛЕМЕНТЫ ВОДНОГО БАЛАНСА ЕВРОПЕЙСКОГО СЕВЕРА РОССИИ

Н. А. Мясникова

Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН

Климатические и метеорологические факторы играют важную роль в изменении испарения в результате хозяйственной деятельности. Рост солнечной энергии и осадков приводит к повышению продуктивности древостоя. Изменение испарения зависит как от продуктивности, так и от возраста удаляемого древостоя. Сооружение практически водонепроницаемых участков приводит к снижению испарения с территории. При продвижении с севера на юг величина изменения испарения возрастает.

Введение

Проблема изменения водных ресурсов приобретает в последние десятилетия острый социально-экономический характер. Это обусловлено возрастанием роли антропогенных факторов, связанных с водопотреблением на нужды населения, промышленности и сельского хозяйства, а также с воздействием на условия формирования речного стока и отмечаемыми изменениями глобального и регионального климата, вызываемыми, в частности, и деятельностью человека.

Цель исследования – оценка влияния рубок леса, лесных пожаров и практически водонепроницаемого покрытия на изменение элементов водного баланса Европейского Севера России – является актуальной.

Территория Европейского Севера России (ЕСР) включает в себя площади пяти субъектов Российской Федерации: Архангельской, Мурманской и Вологодской областей, республик Карелия и Коми (рис. 1).

Лес – один из основных природных ресурсов рассматриваемых территорий, которые являются сырьевой базой для развития деревообрабатывающей и целлюлозно-бумажной промышленно-

сти региона и других районов европейской территории России. Площадь покрытых лесом земель на Северо-Западе России составляет 88,2 млн га (около 11 % лесного фонда Российской Федерации и свыше 40 % – европейской части России) (Белое море..., 2007).



Рис. 1. Территория Европейского Севера России (ЕСР)

Особенность климата ЕСР – это избыточное увлажнение, что определяется сравнительно небольшим приходом тепла и умеренным испарением. Подробная физико-географическая характеристика данного региона приведена в работах (Леса..., 1966; Атлас..., 1997; Белое море..., 2007). Исследования в данной работе выполнены для таежной зоны. На данной территории в основном произрастают зеленомошные, долгомошные и сфагновые группы типов леса (Леса..., 1966).

Данная лекция может быть использована для преподавателей и студентов, обучающихся по специальностям *геоэкология, гидрология суши и лесное хозяйство*.

Влияние рубок и пожаров на изменения элементов водного баланса

Лесозаготовки и лесные пожары вызывают существенные изменения ландшафтов и оказывают влияние на формирование стока с водосборов. Верховые повальные пожары приводят к значительным преобразованиям биоценоза, по своим гидрологическим последствиям даже превосходят сплошные рубки, вследствие полного уничтожения растительного покрова на гари. Это вызывает значительное снижение суммарного испарения из-за прекращения транспирации. Причинами возникновения лесных пожаров могут быть как природные, так и антропогенные факторы. Лесные

пожары различной интенсивности – неотъемлемая часть функционирования лесного биогеоценоза. В отдельные годы с засушливыми жаркими летними сезонами площадь образовавшихся гарей на лесных территориях может составлять значительную их долю и быть соизмеримой с площадью, пройденной сплошными рубками. Гидрологическая роль лесных пожаров до настоящего времени практически не изучена, одной из причин такого состояния является сложность организации полевых исследований. Следовательно, изучение их гидрологической роли является важной научной проблемой для лесной зоны.

Так как по своим последствиям верховые повальные пожары близки к сплошным рубкам, то для оценки изменения элементов водного баланса в обоих случаях можно использовать одинаковые подходы.

Испарение в первый год после сплошных рубок и крупных верховых лесных пожаров определяется влагооборотом в наземном покрове. По данным ряда исследователей (Федоров, 1979; Федоров и др., 1981; Крестовский, 1986), в первый год после сплошных рубок испарение составляет менее 50 % бывшего и окружающего леса, и оно несколько больше, чем было под пологом леса. Это связано с увеличением поступления солнечной энергии, что приводит к возрастанию испарения с почвы и транспирации травянистой и кустарничковой растительностью по сравнению с тем, что наблюдалось под пологом леса.

На сегодняшний день существуют различные эмпирические методы (Крестовский 1986; Карпечко, Бондарик, 2010), для разработки которых был использован ограниченный объем данных, в силу этого остаются открытыми вопросы о влиянии таксационных характеристик древостоя и условий его произрастания на изменение испарения. Основываясь на существующих методах расчета элементов водного баланса в лесу, можно оценить их изменение после воздействия с учетом различий в характеристиках лесов.

Изменение испарения за год оценивается как разница между испарением с вырубki или гари (E_{cl}) и испарением с леса до воздействия (E_f):

$$dE = E_{cl} - E_f \quad (1)$$

Испарение с леса определяется по традиционной схеме как сумма трех составных частей:

$$E_f = E_t + E_i + E_s, \quad (2)$$

где E_t – транспирация древостоя, мм; E_i – испарение задержанных пологом леса атмосферных осадков, мм; E_s – испарение с наземного покрова, мм.

Испарение непосредственно с нарушенного участка определяется из равенства:

$$E_{cl} = k_s E_s, \quad (3)$$

где k_s – переходный коэффициент от испарения под пологом леса к испарению с вырубki или гари.

Подставив (2) и (3) в (1), получаем уравнение для оценки изменения испарения после рубки или пожара в следующем виде:

$$dE = E_s (k_s - 1) - (E_t + E_i). \quad (4)$$

Уравнение для оценки изменения годового стока получено как разность воднобалансовых уравнений, решаемых относительно стока для периодов после и до воздействия. После соответствующих преобразований оно приобретает следующий вид:

$$dY = Y_{cl} - Y_f = (P_{cl} - P_f) - (E_s (k_s - 1) - (E_t + E_i)) + dY_{clf} + dY_w, \quad (5)$$

где Y_{cl} и Y_f – сток с вырубki или гари и с этого же участка леса до воздействия, соответственно, мм; P_{cl} и P_f – осадки, выпадаемые на рассматриваемый участок леса после и до воздействия, соответственно, мм; dY_w – дополнительный сток, вызванный изменением приращений влагозапасов за расчетный период на участке после и до воздействия, равных разности между начальными и конечными запасами влаги, мм; dY_{clf} – дополнительный сток, вызванный нарушениями водно-физических свойств почвогрунтов лесоуборочной техникой.

После пожаров изменений водно-физических свойств можно ожидать на богатых органикой почвогрунтах, где в отдельных случаях органическая часть верхних слоев почвы в значительной степени выгорает (Ковалева и др., 2011). Характеристики минеральных почвогрунтов с меньшим содержанием органического материала после пожаров не меняются, что позволяет принимать в большинстве случаев величину dY_{clf} равной нулю.

Наличие данных наблюдений за осадками и влагозапасами почвогрунтов на лесном участке до и после воздействия позволяет, используя уравнение (5), определять изменение стока после рубок и пожаров для конкретного года. В случае отсутствия наблюдений возможно определение осредненной для многолетнего периода величины изменения стока. При решении этой задачи влиянием рубок и пожаров на атмосферные осадки можно пренебречь, а изменение приращений влагозапасов можно принять равным нулю. В этом случае уравнение (5) представляется в следующем виде:

$$dY = -(E_s(k_s - 1) - (E_t + E_i)) + dY_{clf}. \quad (6)$$

Коэффициент k_s можно определять по данным наблюдений за испарением с одних и тех же видов наземного покрова под пологом леса и на открытых участках. Следует отметить, что в настоящее время уже имеется достаточно много данных, оценивающих это соотношение испарений (Протопопов, 1975; Экологический режим..., 1988).

При одинаковых величинах массы и проективного покрытия наземной растительности до воздействия и после, что можно принять справедливым для первого года после рубок (Молчанов, 1960), возрастание транспирации на открытом участке будет лимитироваться физиологическими свойствами растения, а кроме того, на соотношение E_{cl} и E_s будут влиять еще и условия формирования испарения под пологом леса. Поскольку поступление энергии, влияющей на наличие и разнообразие растений и определяющей суммарное испарение под кронами древостоя, лимитируется его густотой, то, следовательно, коэффициент k_s для конкретных поверхностей можно рассматривать как функцию листового индекса леса до воздействия. Для усредненных условий было получено экспоненциальное уравнение в следующем виде:

$$k_s = E_{cl} / E_s = \exp(0.18LAI), \quad (7)$$

где LAI – листовой индекс, га/га.

Приведенные в литературных источниках данные о соотношениях испарения, полученные в различных природных условиях и для различных видов испаряющей поверхности (виды растений и их отсутствие), составляют в среднем от 1,5 до 3. При лесных пожарах, при которых существенно повреждается наземная растительность, испарение с гари можно принять равным испарению с почвы без растительного покрова.

Транспирация древостоем за год определяется по зависимости (Крестовский, 1986):

$$E_t = k_{tr} m, \quad (8)$$

где m – масса листвы в свежем виде, т/га; k_{tr} – коэффициент транспирационной активности, равный для сосны и ели 19 и 8,5 мм/т, соответственно (Карпечко, Саковец, 1997).

Испарение с наземного покрова рассчитывается по эмпирической формуле (Карпечко, Бондарик, 2010):

$$E_s = 0,8 E_0 \exp(-0,3 LAI), \quad (9)$$

где E_0 – испаряемость, рассчитанная по методу Будыко-Зубенок (Рекомендации..., 1976), мм.

Годовая величина испарения осадков с полога леса определяется по уравнению (Карпечко, Бондарик, 2010):

$$E_i = E_{il} + E_{iws} + E_{ia}, \quad (11)$$

где E_{il} – испарение осадков с крон древостоя в теплый период, мм; E_{iws} – испарение снега с полога леса, мм; E_{ia} – испарение осадков с полога леса в переходный период, когда равновероятно выпадение жидких и твердых осадков, мм.

Для расчета суммарного испарения осадков с крон за весь теплый период используется формула (Карпечко, Бондарик, 2010):

$$E_{il} = k_{Ei} P_{il} \ln(m+1), \quad (12)$$

где E_{il} – количество задержанных кронами деревьев жидких осадков, мм; P_{il} – количество осадков за расчетный период, мм; k_{Ei} – коэффициент, равный для сосняка и ельника соответственно 0,105 и 0,100.

В период, когда снег лежит на кронах, что наблюдается в таежной зоне практически в течение большей части зимнего периода, испарение с полога хвойного древостоя определяется по формуле (Карпечко, Бондарик, 2010):

$$E_{iws} = 0,065 d LAI n, \quad (13)$$

где d – дефицит влажности воздуха, гПа; n – продолжительность расчетного периода, сут.

В переходный период, когда равновелика вероятность выпадения жидких и твердых осадков, испарение с хвойного леса рассчитывается по формуле, предложенной О. И. Крестовским (1986):

$$E_{ia} = a m P_{ia}, \quad (14)$$

где a – коэффициент, равный 0,01.

Изменение годового испарения после рубок или пожаров в лесу связано с типом леса, возрастом и продуктивностью древостоя. Эти параметры в той или иной степени определяют испарение и соотношение его частей, поэтому прослеживается довольно тесная связь между суммарным испарением и его изменением после воздействия (рис. 2–3). Чем выше транспирация и испарение осадков с полога леса и в целом суммарное испарение, тем больше меняется его величина после удаления древостоя.

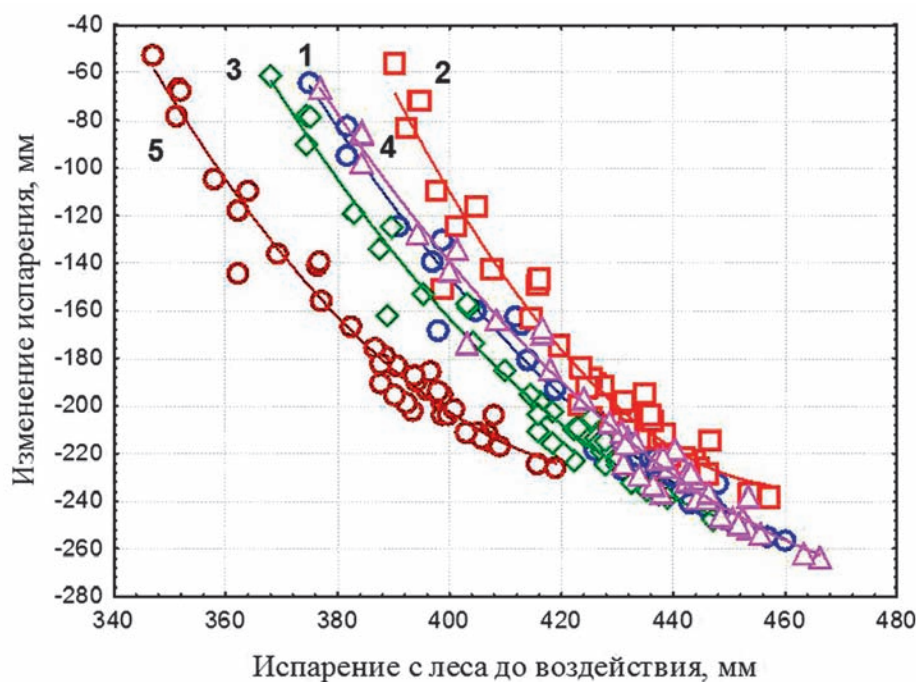


Рис. 2. Зависимость изменения испарения с елового леса от величины испарения до воздействия:
1 – Вологодская область, 2 – Республика Коми, 3 – Архангельская область, 4 – Республика Карелия, 5 – Мурманская область

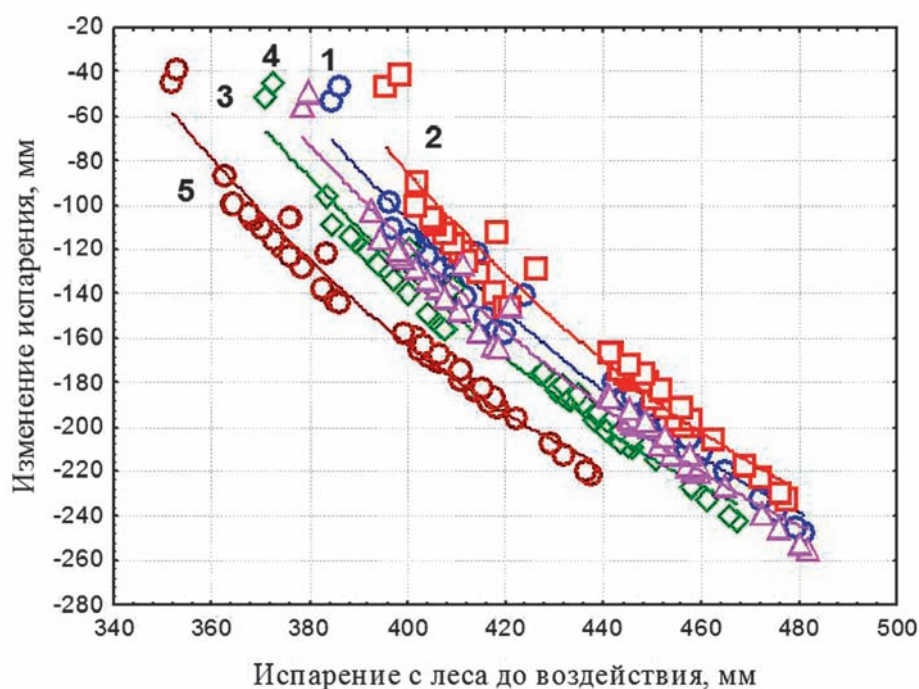


Рис. 3. Зависимость изменения испарения с соснового леса от величины испарения до воздействия:
1 – Вологодская область, 2 – Республика Коми, 3 – Архангельская область, 4 – Республика Карелия, 5 – Мурманская область

Влияние продуктивности древостоя на изменение испарения в результате лесозаготовок показано в табл. 1. Поскольку лесозаготовки осуществляются, в основном, в спелом древостое, то расчеты выполнены для 100-летних сосняков и ельников. В работе (Карпечко, Бондарик, 2010) показано, что возрастная динамика испарения зависит от условий произрастания и продуктивности леса.

Таблица 1

Изменение испарения после воздействия в различных по продуктивности и по условиям произрастания лесах в возрасте рубки 100 лет

Класс бонитета	Сосняк			Ельник		
	Подзона тайги					
	северная	средняя	южная	северная	средняя	южная
Va	–132,8	–136,8	–146			
V	–150,3	–154,8	–152,6	–198,8	–208,1	–223,4
IV	–170,5	–177,9	–191,4	–211,3	–221,5	–237,3
III	–184,9	–170,8	–184,4	–218,8	–230,2	–246,2
III	175,0	–183,8	–197,8	–196,0	–206,4	–222,0
II	–198,6	–157,7	–170,8	–188,2	–198,1	–213,2
I	–180,5	–192,0	–205,4	–155,9	–163,6	–177,7

В древостое, растущем в лучших условиях, максимальное испарение и его максимальное изменение после воздействия отмечается в возрасте 30–50 лет, худшие условия определяют замедленный рост, поэтому возрастание испарения здесь продолжается до 100–120 лет. В этой связи нужно отметить, что приведенные значения изменения испарения в табл. 1 представляют собой некоторую часть всего спектра возможных изменений испарения в различных лесах после воздействия.

Разделение по подзонам северной, средней и южной тайги сделано на основе физико-географического районирования Европейского Севера России (Корчагин, Нейштадт, 1966).

Влияние практически водонепроницаемого покрытия на изменение испарения

Объекты суши с практически водонепроницаемым покрытием (дороги, проезды, аэродромы и т. д.) составляют незначительную по площади часть суши, однако играют заметную роль в преобразовании элементов водного баланса территорий, процессов формирования поверхностных и подземных вод, трансформации максимального весеннего и дождевого стока. Изменение испарения с таких участков оценивается по равенству:

$$dE_r = E_r - E_p \quad (15)$$

где dE_r – изменение испарения с практически водонепроницаемого участка суши, мм; E_1 – среднее испарение с окружающей дорожную территорию, мм; E_r – испарение с практически водонепроницаемой поверхности, мм.

Испарение с практически водонепроницаемой поверхности рассчитывается по равенству:

$$E_r = E_{rs} + E_{rw} \quad (16)$$

где E_{rs} – испарение с практически водонепроницаемой поверхности в теплый период времени, мм; E_{rw} – испарение с практически водонепроницаемой поверхности в холодный период времени, мм.

Испарение для теплого периода года может быть рассчитано с использованием уравнения водного баланса:

$$E_{rs} = P(1 - \alpha), \quad (17)$$

где P – осадки, мм; α – коэффициент поверхностного стока, равный отношению стока к осадкам (P).

Уравнение (17) справедливо для дорог с асфальтобетонным покрытием проезжей части. Для этих условий коэффициент стока принимается 0,95 (Дикарский, Таубин, 1980). Для брусчатых мостовых и дорог с черновым покрытием значение коэффициента стока рекомендуется принимать равным 0,6. Пониженное его значение объясняется большими потерями влаги на заполнение микропонижений и частичного просачивания. В ранее проведенных лабораторных исследованиях для расчетов по-

терь на испарение с большого числа существующих дорог в Республике Карелия принималось среднее из этих двух величин значение коэффициента стока.

В зимний, ранневесенний и позднесенний периоды в районах со снежным покровом можно считать, что влага во всех ее видах присутствует на дорожном полотне, поэтому для расчета испарения следует использовать формулу (Рекомендации..., 1976):

$$E_{rw} = 0.37 dn, \quad (18)$$

где d – средняя величина дефицита упругости водяного пара за расчетный период, гПа; n – продолжительность расчетного периода, сутки.

С использованием формул (15)–(18) было рассчитано испарение с практически водонепроницаемых поверхностей в таежной зоне Европейского Севера России при значении величины поверхностного стока $\alpha = 0,78$.

В ходе урбанизации создается новая антропогенная среда, что приводит к изменению условий формирования водного баланса территории. Роль населенных пунктов в преобразовании водного баланса зависит от доли практически водонепроницаемых участков и от климатических характеристик.

Для расчета испарения с территорий при различных долях практически водонепроницаемого покрытия (E_s) используется уравнение:

$$E_s = E_l \gamma + E_r \sigma, \quad (19)$$

где E_l – среднее испарение с окружающей территории, мм; γ – доля поверхности, близкой к естественной (парки, скверы и т. д.); E_r – испарение с дороги, мм; σ – доля практически водонепроницаемой поверхности.

Для определения природной зоны можно использовать радиационный индекс сухости, предложенный М. И. Будыко (1980). Радиационным индексом сухости называется отношение радиационного баланса к затратам энергии, необходимой для испарения осадков. Величина радиационного индекса сухости от 0,3 до 1 соответствует зоне тайги, от 1 до 2 – степи, от 2 до 3 и выше – пустыни. На рис. 4 представлена зависимость относительной величины изменения испарения (относительно осадков) в результате строительства дорог от радиационного индекса сухости. Зависимость построена для различных климатических зон, рассматриваемая в данной лекции таежная зона выделена прямоугольником.

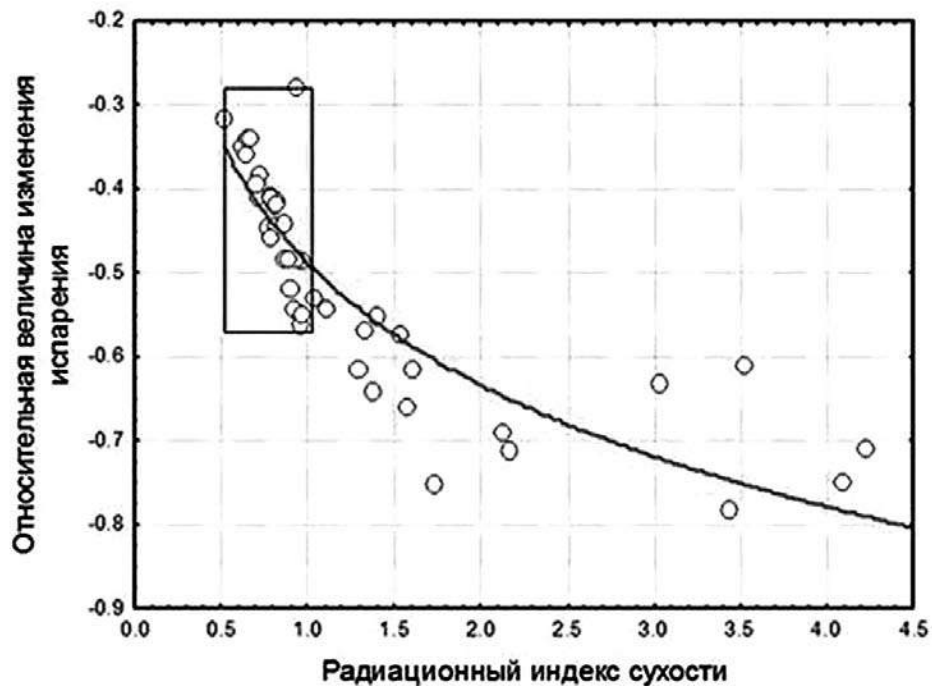


Рис. 4. Зависимость относительной величины изменения испарения в результате строительства дорог от радиационного индекса сухости

Влияние практически водонепроницаемого покрытия на изменение испарения с территории в различных подзонах тайги представлено в табл. 2.

Таблица 2

Изменение испарения с территории после строительства практически водонепроницаемого покрытия в различных подзонах тайги, мм

Населенный пункт	Подзона тайги	Изменение
Архангельск	Северная	–172
Лоухи	Северная	–168
Умба	Северная	–153
Кандалакша	Северная	–150
Юшкозеро	Северная	–197
Сыктывкар	Средняя	–274
Каргополь	Средняя	–285
Петрозаводск	Средняя	–280
Вологда	Южная	–338
Никольск	Южная	–305
Тотьма	Южная	–312

С продвижением с севера на юг (увеличением радиационного индекса сухости) и возрастом поступающей солнечной радиации величина изменения испарения растет. В северной подзоне тайги она составляет от –150 до –197 мм, в среднем –168 мм, в средней подзоне – от –274 до –285 мм, в среднем –280 мм, в южной – от –305 до –338 мм, в среднем –318 мм.

С увеличением доли водонепроницаемых участков разница между испарением со всей территории населенного пункта и средней по району величиной возрастает.

Наименьшие изменения абсолютных величин испарения при равной доле практически водонепроницаемых участков отмечаются в северной подзоне тайги, с продвижением на юг изменение испарения возрастает (рис. 5).

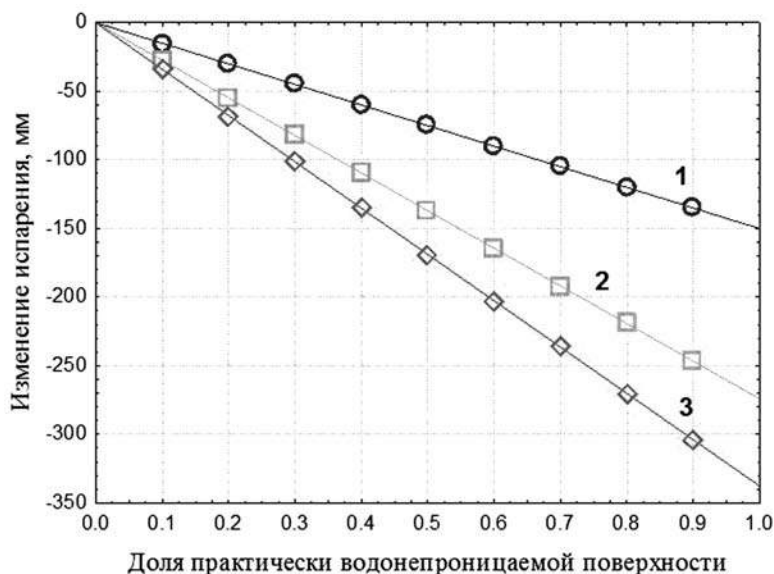


Рис. 5. Изменение испарения в зависимости от доли водонепроницаемой территории:

1 – северная подзона тайги, 2 – средняя подзона тайги, 3 – южная подзона тайги

Заключение

Уменьшение испарения (следовательно, увеличение стока) после рубок или пожаров для таежной зоны Европейского Севера России в большой степени зависит от продуктивности древостоя, определяемой зональными и а зональными факторами.

Наличие практически водонепроницаемых участков суши приводит к снижению испарения с территории. С увеличением индекса сухости происходит возрастание изменения испарения.

Гидрологическая роль населенного пункта во многом зависит от доли площади, занимаемой практически водонепроницаемой поверхностью. С увеличением на территории доли такой поверхности в переувлажненных местностях происходит наименьшее снижение испарения, что связано с недостатком солнечной энергии.

Вопросы для самоконтроля

1. Что понимается под суммарным испарением с леса?
2. Как изменяется испарение после рубок и лесных пожаров?
3. В какой подзоне тайги наблюдаются наибольшие изменения испарения после рубок и лесных пожаров? Почему?
4. Почему при продвижении с севера на юг наблюдается увеличение изменения испарения?
5. Почему наименьшие изменения абсолютных величин испарения при равной доле практически водонепроницаемых участков отмечаются в северной подзоне тайги?

Литература

- Атлас Республики Коми по климату и гидрологии / Отв. ред. А. И. Таскаев. М.: Дрофа, 1997. 115 с.
- Белое море и его водосбор под влиянием климатических и антропогенных факторов / Под ред. Н. Н. Филатова, А. Ю. Тержевика. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2007. 335 с.
- Будыко М. И. Климат в прошлом и будущем. Л.: Гидрометеиздат, 1980. 352 с.
- Дикарский В. С., Таубин А. П. Расчет дождевых сетей канализации с помощью ЭВМ. М.: Стройиздат, 1980. 146 с.
- Карпечко Ю. В., Бондарик Н. Л. Гидрологическая роль лесохозяйственных и лесопромышленных работ в таежной зоне Европейского Севера России. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2010. 225 с.
- Карпечко Ю. В., Саковец В. И. Постмелиоративные изменения элементов водного баланса водосборов Карелии // Водные ресурсы. 1997. Т. 24, № 3. С. 266–269.
- Ковалева Н. М., Иванова Г. А., Кукавская Е. А. Восстановление напочвенного покрова после низовых пожаров в среднетаежных сосняках // Лесоведение. 2011. № 5. С. 30–35.
- Корчагин А. А., Нейштадт М. И. Растительность // Север Европейской части СССР. М.: Наука, 1966. С. 212–256.
- Крестовский О. И. Влияние вырубок и восстановления лесов на водность рек. Л.: Гидрометеиздат, 1986. 118 с.
- Леса СССР. Т. 1. Леса северной и средней тайги Европейской части СССР / Отв. ред. В. З. Гулисашвили и др. М.: Наука, 1966. 458 с.
- Молчанов А. А. Гидрологическая роль леса. М.: АН СССР, 1960. 488 с.
- Протопопов В. В. Средообразующая роль темнохвойного леса. Новосибирск: Наука, 1975. 328 с.
- Рекомендации по расчету испарения с поверхности суши. Л.: Гидрометеиздат, 1976. 96 с.
- Федоров С. Ф. О влиянии вырубки леса на изменение элементов его водного баланса // Труды ГГИ. 1979. Вып. 258. С. 30–44.
- Федоров С. Ф., Марунич С. В., Буров А. С., Ральцевич Н. Д. Изменение структуры водного и теплового баланса залесенных территорий под влиянием вырубок // Тр. ГГИ. 1981. Вып. 279. С. 20–31.
- Экологический режим основных биогеоценозов. Минск: Наука и техника, 1988. 160 с.

ОСНОВЫ ПАЛИНОЛОГИИ. НОВЫЕ ДАННЫЕ ПО ПАЛИНОЛОГИИ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ КАЛИНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ В ГОЛОЦЕНЕ

Т. В. Напреенко-Дорохова

Атлантическое отделение института океанологии им. П. П. Ширшова РАН (Калининград)

Введение

Палинология является специальной учебной дисциплиной в формировании у студентов географических и геологических знаний. Она выступает как самостоятельная наука и отрасль палеонтологии и как метод научных исследований. Как научная дисциплина палинология изучает растительный мир прошлого, устанавливает систематический состав ископаемых организмов, выявляет закономерности, хронологию и этапы развития биосферы (преимущественно таких компонентов природной среды, как растительность, флора, климат, миграция растений и природных зон, условия развития палеоводоемов и др.). Как метод она помогает разрабатывать вопросы геохронологии

и био- и климатостратиграфии, производит реконструкции условий существования и эволюции растительных микрофоссилий (пыльцы, спор и пр.), осуществляет корреляции отложений, восстанавливает палеогеографию этапов развития Земли.

Данный материал может быть использован для лекций на геологическом факультете, на кафедре палеонтологии и для студентов-археологов по дисциплине «Основы палинологии».

Раздел *основы палинологии* включает общие сведения о спорово-пыльцевом анализе, историю развития метода, знакомство с методикой проведения спорово-пыльцевого анализа, графическим оформлением и интерпретацией данных анализа, использование палинологии для биостратиграфического расчленения вмещающих пород, восстановления растительности, климата, рельефа и других палеогеографических условий, применение спорово-пыльцевого анализа в различных областях геологии, палеогеографии и палеофлористики.

Изложение материала

Палинология – раздел ботаники, изучающий пыльцу, споры и другие палиноморфы, их строение, развитие, закономерности рассеивания и захоронения. Палинологический, или спорово-пыльцевой, анализ – один из методов палеоботанических исследований, который применяется для реконструкции растительного покрова и климата прошлых эпох. Кроме этого, палинологический анализ может служить инструментом для установления стратиграфических границ в геологических разрезах и археологических раскопах. Палинологический анализ в последние десятилетия широко используется в археологических работах, причем данные, полученные с помощью этого метода, часто являются определяющими при решении вопросов палеоэкологии человека в древности и Средневековье (Рудая, 2010).

Объектами палинологического анализа являются палиноморфы. В первую очередь это пыльца покрытосеменных и голосеменных растений, а также споры растений и грибов, растительные устьица, остатки клеток водорослей, микроскопические остатки животных (например, яйца тихоходок) и т. д.

Способность растений производить пыльцу и споры изумительна. Одна мужская шишка сосны образует около шести миллионов пылинки, одно соцветие дуба – 500 тысяч (Березина и др., 2014). Громадное количество пыльцы уносится ветром и оседает на почву, на поверхность рек, озер, морей и болот. Но лишь в донных отложениях и в болотах оно сохраняется там, куда попало первоначально.

Споры и пыльца – наиболее неизменные из остатков живших когда-то растений. На дне водоемов, в толще ила и песка, пыли, глины или торфа спорово-пыльцевые комплексы сохраняются тысячи и даже миллионы лет.

Преимущества палинологического метода (Faegri, Iversen, 1989):

- пыльцевые зерна хорошо сохраняются и могут быть найдены в отложениях, где остальные ископаемые подвергаются диагенетическим преобразованиям;
- растения продуцируют пыльцу в огромных количествах;
- пыльца более широко и равномерно распространяется в отложениях, чем макроостатки продуцирующих ее растений;
- пыльцевые зерна могут быть извлечены из отложений в больших количествах, следовательно, результаты палинологического анализа могут подвергаться статистической обработке и являться достоверными.

История развития метода

Первые упоминания об ископаемой пыльце принадлежат немецкому ученому Гепперту и относятся к 1836 г. Собственно палинологический анализ был впервые применен Леннартом фон Постом в 1916 г. для озерных и болотных отложений с целью реконструкции позднечетвертичных изменений растительного покрова (Faegri, Iversen, 1989).

В 1950 г. датский ботаник и палеоэколог Йоханнес Иверсен и ученик Л. фон Поста норвежец Кнут Фаегри издали руководство по палинологическому анализу «Textbook of Modern Pollen Analysis».

В начале XX в. спорово-пыльцевой анализ использовался в основном в североевропейских странах, и многие ранние публикации печатались на скандинавских языках (Faegri, 1973). Эта изоляция закончилась в 1921 г. публикацией на английском языке диссертации шведского ученого Гуннара Эрдтмана, после чего палинологический метод начал свое распространение в Европе и Северной Америке.

В России метод спорово-пыльцевого анализа начал развиваться с работы известного болотоведа Владимира Семеновича Доктуровского «Метод анализа пыльцы в торфе», вышедшей в 1923 г. Параллельно с ним внедрению и развитию палинологии в России отдали много времени и сил известные советские ученые В. Н. Сукачев, К. К. Марков и С. А. Яковлев. М. И. Нейштадтом построены региональные спорово-пыльцевые диаграммы, отражающие закономерности развития растительности в некоторых районах России в голоцене (Пыльцевой анализ, 1950).

Огромное значение для российской палинологии сыграл палеогеограф и палинолог Владимир Поликарпович Гричук, который выявил основные типы спорово-пыльцевых спектров (степной, лесной, тундровой), соответствующие типам современной растительности (Гричук, 1989). В 1948 г. В. П. Гричук в сотрудничестве с Е. Д. Заклинской опубликовали работу «Анализ ископаемых пыльцы и спор и его применение в палеогеографии», которая стала первым в России наиболее полным руководством по спорово-пыльцевому анализу. В 1950 г. В. П. Гричук с соавторами выпустили книгу «Пыльцевой анализ», которая и сейчас активно читается российскими палинологами.

Палинологический метод нашел применение в археологии довольно рано. Одним из первых ученых, использовавшим метод, был американец Пол Сирс, который уже в 1932 г. пытался реконструировать изменения климата и связанное с этим распространение сельскохозяйственных культур с юга на север Северной Америки в позднем голоцене, основываясь на данных изучения состава пыльцы отложений реки Огайо (Sears, 1932). В пятидесятые годы прошлого века палинологический метод начинает активно применяться для изучения археологических памятников. Классическим руководством по использованию спорово-пыльцевого метода в археологии является книга G. W. Dimbleby «The palynology of archaeological sites» (1985). В нашей стране с середины XX в. спорово-пыльцевой метод успешно применяется для стратиграфии археологических памятников и реконструкции палеосреды. Примером тому могут служить палинологические исследования известного верхнепалеолитического памятника Костенки (Воронежская область), начатые еще в 1955 г. палинологами М. П. Гричук, В. П. Гричуком и Р. Ф. Федоровой (Природа и древний человек, 1981). В это же время в России начало развиваться направление палинологии, связанное с изучением пыльцы культурных злаков в геологических отложениях, позволяющее восстанавливать особенности земледелия древнего человека (Федорова, 1959, 1965).

Как проводится спорово-пыльцевой анализ?

Отдельные пыльцевые зерна имеют небольшую величину, которая колеблется от 7–10 до 250 микрон. Форма пылинки и спор у разных растений различна, каждому семейству, роду, а иногда и виду растений соответствует пыльца и споры определенной формы, размеров и строения (рис. 1).

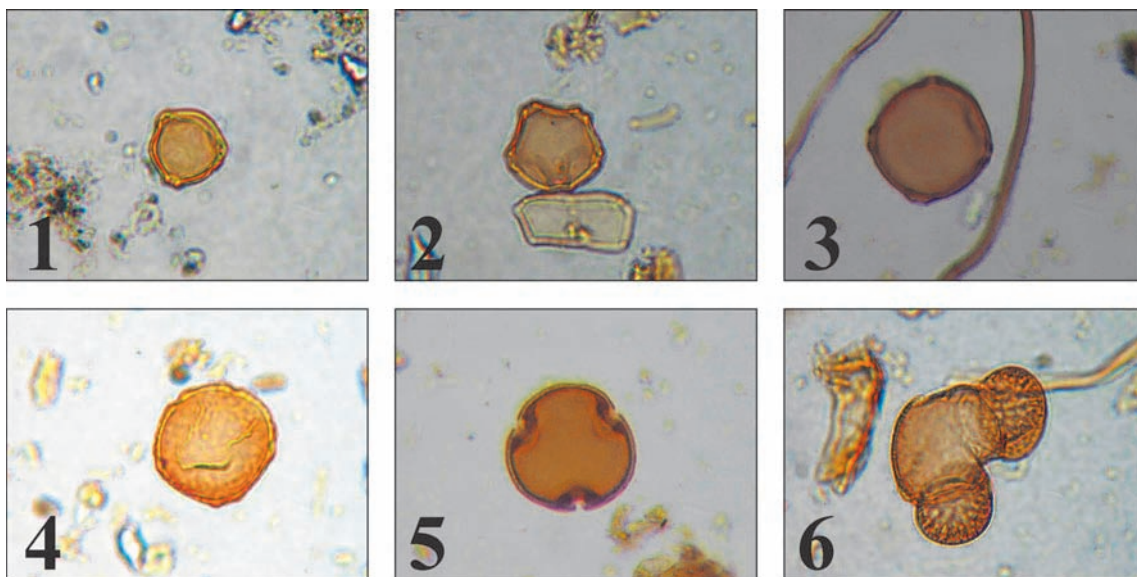


Рис. 1. Пыльца некоторых древесных растений (фото автора):

- 1 – пыльцевое зерно березы; 2 – пыльцевое зерно ольхи; 3 – пыльцевое зерно граба; 4 – пыльцевое зерно вяза;
5 – пыльцевое зерно липы; 6 – пыльцевое зерно сосны

Оболочки пыльцы и спор удивительно устойчивы к внешним воздействиям. Они выдерживают нагревание до 300°, обработку щелочами и концентрированными кислотами. Их не повреждают механические воздействия – удары, перетирания и т. п. Правда, все, что находилось когда-то внутри оболочки, – цитоплазма, ядро, различные органоиды клетки – не сохраняется. Неизменными остаются лишь оболочки – своеобразные наружные скелеты пылинок.

Растения очень чутко реагируют на любое изменение природной среды. Одни виды начинают испытывать угнетение и даже исчезают за сравнительно короткий срок, другие приходят им на смену. Образуются новые растительные группировки. Остатки тех и других сохраняются в залежи и свидетельствуют о минувших событиях.

Поскольку размеры пыльцы и спор ничтожно малы, их изучают с помощью оптических и электронных микроскопов. Существует целый ряд методик извлечения спор и пыльцы из вмещающих их пород и подготовки для дальнейшего определения их систематического положения.

С одной из методик проведения спорово-пыльцевого анализа, графическим оформлением и интерпретацией данных анализа познакомимся на конкретном примере – исследовании отложений небольшого заболочивающегося озера (оз. Малое Оленье, рис. 2), расположенного в центральной части Калининградской области на озерно-ледниковой равнине.

В доголоценовое время территория Калининградской области была покрыта ледниковым панцирем, в связи с этим значительный интерес представляет вопрос о развитии растительного покрова на территории области в послеледниковый период, когда складывались ее современные природные условия. Ответ на этот вопрос может дать спорово-пыльцевой анализ.

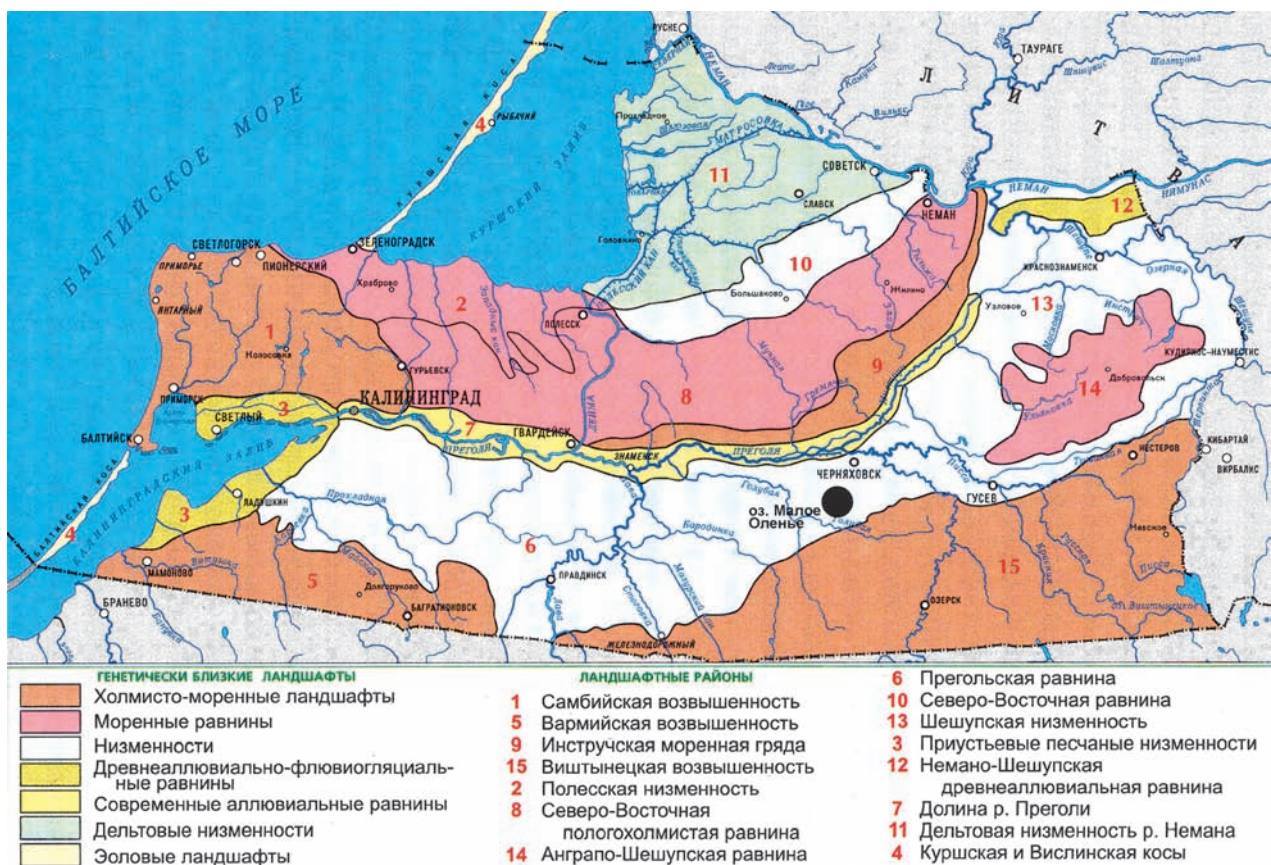


Рис. 2. Карта ландшафтных районов Калининградской области и расположение объекта исследования

Методика проведения спорово-пыльцевого анализа

Обработка проб для приготовления препаратов пыльцы и спор осуществлялась по методу Фаегри-Иверсена (Faegri, Iversen, 1989) и состояла из нескольких этапов.

1. Из каждого исследуемого горизонта был взят 1 см³ пробы.
2. Для проверки образцов на карбонатность в пробы добавляли соляную кислоту (10%-HCl).

3. Затем пробы двое суток выдерживались в плавиковой кислоте (38%-HF) для растворения силикатов.

4. Далее варились в щёлочи (10%-KOH) с целью растворения гуминовых кислот, диспергирования пробы и окраски пыльцевых зерен.

5. Пробы несколько раз промывались дистиллированной водой и центрифугировались.

6. Затем доливали ледяную уксусную кислоту.

7. Далее готовили смесь для ацетоллиза, в которой нагревали пробу на водяной бане для разрушения сохранившихся растительных (целлюлозных) остатков.

8. После всего проделанного добавляли глицерин и готовили препараты для просмотра.

Методика Фаегри-Иверсена хорошо применяется для отложений, содержащих большое количество органики и богатых пылью, разработана для торфов и озерных отложений.

Препараты просматривались под микроскопом Микромед-3 при увеличении в 400 раз (рис. 3). При определении пыли и спор использовались определители (Куприянова, Алешина, 1972, 1978; Göttlich, 1990; Faegri, Iversen, 1993; Beug, 2004), а также справочные пособия для курса палинологии экологического центра Кильского университета (Nelle, 2006).

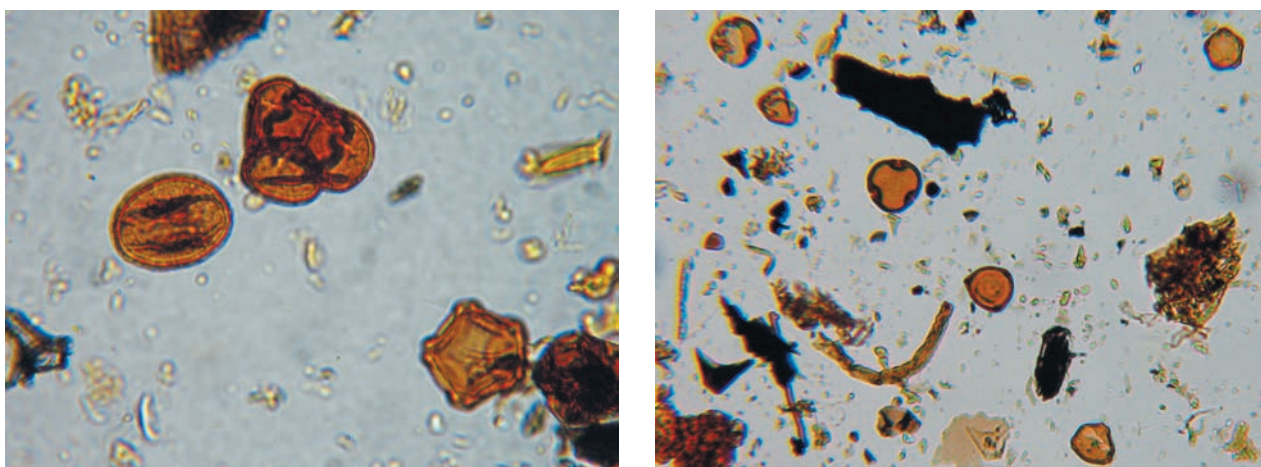


Рис. 3. Вид пыли под микроскопом в изучаемых образцах (фото автора)

Подсчет количества пыли и спор в препарате велся до суммы пыли древесных растений не менее 300 зерен.

На основании полученных количественных значений была составлена спорово-пыльцевая диаграмма. Построение спорово-пыльцевой диаграммы сделано с использованием программы C2. Процентное содержание таксонов высчитывалось от общей суммы пыли и спор растений.

Результаты и обсуждение

Анализ распределения спор и пыли на диаграмме, построенной для колонки отложений озера Малого Оленьего, позволил выделить в разрезе четыре палинологические зоны (LPAZ) (рис. 4).

Палинозона 1 *Betula – Pinus* (1175–920 см). Данная палинозона характеризуется бедным видовым составом: преобладает пыльца березы от 55 до 67 %, высокое содержание пыли сосны 27–40 %, в незначительном количестве присутствует пыльца вяза, ольхи, ели, лещины, ивы и некоторых травянистых растений. Важно отметить, что в этой палинозоне наблюдается высокое процентное содержание зеленой водоросли *Pediastrum*, что указывает на то, что накопление осадков происходило в водной среде, а постепенное уменьшение содержания водоросли *Pediastrum* и ее полное исчезновение вверх по разрезу свидетельствует об изменении условий осадконакопления.

Палинозона 2 *Corylus – Ulmus* (920–800 см). Нижняя граница палинозоны проводится по увеличению количества пыли *Corylus* (до 23 %) и *Ulmus* (до 4,6 %) и одновременному уменьшению содержания пыли *Betula*. Данная палинозона, по-видимому, не представлена в полной мере из-за отсутствия осадочного материала.

Палинозона 3 *Carpinus* (340–80 см). В общем составе преобладает пыльца древесных растений (97–99 %), что свидетельствует о значительном облесении окружающих озеро территорий. Древесные представлены в основном пыльцой березы, граба, сосны, дуба, липы, лещины и ольхи, в небольших количествах присутствует пыльца вяза и бука. В нижней части палинозоны высокое содержание пыльцы ольхи (29–35,4 %), а в верхней – количества пыльцы ели (7–17 %). На основании этого внутри данной палинозоны выделены две подзоны: 3 а – *Alnus* (340–210 см) и 3 б – *Picea* (210–80 см).

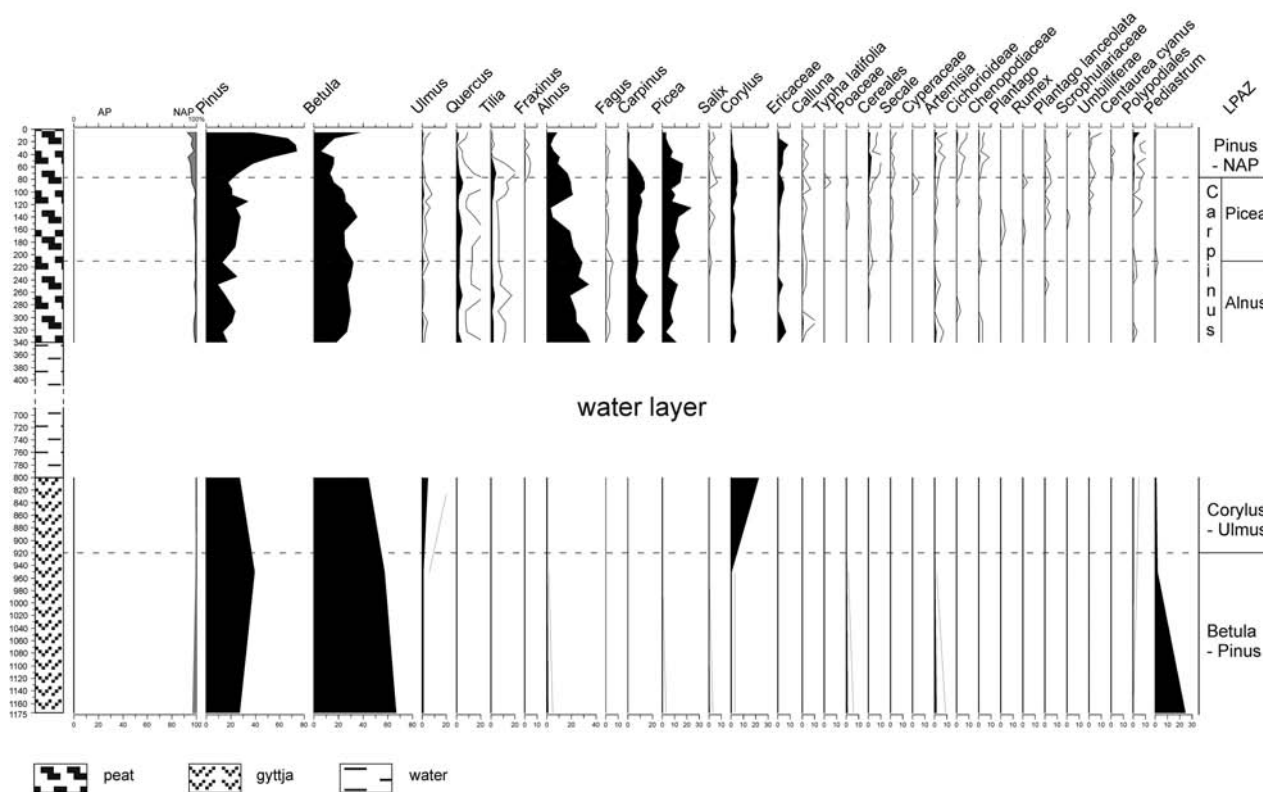


Рис. 4. Спорово-пыльцевая диаграмма оз. Малое Оленьё

Палинозона 4: *Pinus* – *NAP* (пыльца недревесных видов) (80–5 см). В общем составе данной палинозоны, как и в предыдущих, преобладает древесная пыльца, но значительный процент составляет пыльца травянистых растений (до 7,5 %), среди которых господствуют злаки, растения из рода *Artemisia*, семейства *Chenopodiaceae* и подсемейства *Cichorioideae*. В составе древесных значительно увеличивается количество пыльцы *Pinus* (до 74,3 %). Количество пыльцы *Betula*, *Carpinus*, *Picea*, *Quercus*, *Alnus*, *Corylus* резко уменьшается, почти полностью исчезает пыльца *Fagus* и *Tilia*.

Спорово-пыльцевой статус самой нижней части диаграммы (800–1120 см, палинозоны *Betula* – *Pinus* и *Corylus* – *Ulmus*) пока не ясен, требуются дополнительные исследования.

Палиноспектры палинозон *Carpinus* с подзонами *Alnus*, *Picea* и *Pinus* – *NAP* (0–350 см) подробно отражают развитие и смену растительности субатлантического периода.

Палиноспектры палинозоны *Carpinus* с подзоной *Alnus*, по-видимому, характеризуют растительность начала и первой половины субатлантического периода. В данный период в составе рассматриваемого ландшафтного района преобладали типичные для региона в среднем и позднем голоцене широколиственные леса с основой из видов «неморального комплекса» (*Quercus*, *Ulmus*, *Tilia*, *Corylus*), обозначаемые немецкими авторами (Gams, Ruoff, 1929; Steffen, 1931; Benrath, 1934) термином «Eichenmischwald». Но в их составе уже значительную роль играл граб, что подтверждает принадлежность палиноспектра к субатлантическому периоду. Участие ели, напротив, было еще незначительным.

Необходимо также отметить более низкий процент пыльцы сосны и березы в данной палинозоне, что дополнительно подтверждает доминирование широколиственных лесов на данной территории в первой половине субатлантики.

Довольно богатый видовой состав широколиственных лесов в первой половине субатлантического периода говорит о благоприятных климатических условиях, теплом и влажном климате.

Палиноспектры **палинозоны *Carpinus* с подзоной *Picea***, по-видимому, характеризуют растительность второй половины субатлантического периода. Увеличивается содержание пыльцы хвойных, ели и сосны, уменьшается количество пыльцы березы, граба и липы, почти полностью исчезает пыльца бука.

Резкое сокращение некоторых термофильных видов, увеличение доли хвойных в общем составе растительности свидетельствует о некотором похолодании климата.

Распространение ели, вероятно, привело к внедрению ее в структуру доминировавших здесь широколиственных лесов. Именно в этот период, очевидно, формируются и получают большее распространение типичные ныне для региона елово-широколиственные сообщества как особый подтип неморальных лесов. Тогда же, видимо, на изучаемой территории складываются характерные для данного ландшафтного района и в прошлом типичные, зональные, для обширного региона Восточной Европы (Растительность..., 1980) дубово-грабово-липовые леса, ныне являющиеся реликтовыми экосистемами.

Палиноспектры **палинозоны *Pinus* – NAP**, по-видимому, характеризуют растительность конца субатлантического периода. Преобладает древесная пыльца, уменьшается количество пыльцы ели, лещины, дуба, липы, граба и ольхи, почти полностью исчезает пыльца вяза и бука. В то же время в составе древесных спектров значительно увеличивается количество пыльцы сосны. Наблюдается плавный рост концентрации пыльцы березы и травянистых растений, среди которых господствуют злаки с преобладанием культурных зерновых и растения синантропных местообитаний.

Палиноспектры четко отражают следы значительно усилившейся хозяйственной деятельности человека. При этом особых изменений в составе коренной растительности и, соответственно, климатических изменений на диаграмме не выявлено, если не считать сокращения общей площади распространения зональных фитоценозов в результате хозяйственного освоения территории и вытеснения их вторичными сосновыми и березовыми древостоями.

Столь высокая концентрация пыльцы травянистых синантропных растений (*Chenopodoaceae*, *Cichorioideae*, *Rumex*, *Centaurea*, *Artemisia*, *Plantago lanceolata*, *Cereales*) свидетельствует о сокращении первоначально значительной площади лесов в районе Прегольской озерно-ледниковой равнины, что в целом согласуется с имеющимися историческими данными о развитии хозяйственной деятельности здесь и увеличении плотности заселения в течение последних четырех столетий.

Заключение

Анализируя полученную диаграмму, для территории восточной части Прегольской озерно-ледниковой равнины можно выделить ряд этапов в развитии растительного покрова в позднем голоцене и сделать следующие выводы.

1. Количественное соотношение и видовой состав пыльцы и спор во всех палинозонах свидетельствует о ярко выраженном лесном характере растительности в данном районе, ядро которой во временном диапазоне формирования исследуемых осадков представляли широколиственные сообщества «неморального комплекса» с доминированием *Quercus*, *Ulmus*, *Tilia*, *Corylus* («Eichenmischwald» в понимании немецких авторов).

2. Широколиственные сообщества «неморального комплекса», очевидно, сложились на данной территории значительно раньше, вероятно, еще в атлантическом периоде (судя по указаниям Gams, Ruoff, 1929), и просуществовали здесь в качестве основной растительной формации с некоторыми изменениями во второй половине субатлантического периода вплоть до XVII столетия.

3. Начало и первая половина субатлантического периода – SA1, 2700–1300 л. н. Температурные условия, вероятно, сходны с суббореалом, но увлажнение выше. Господствуют широколиственные леса «неморального комплекса», богатые по видовому составу, со значительной примесью граба и возможным рассеянным участием бука. Участие ели невелико. Хозяйственное освоение территории слабое.

4. Вторая половина субатлантического периода – SA2, 1300–400 л. н. Происходит похолодание климата, вызвавшее сильное сокращение доли термофильных видов и увеличение доли хвойных в составе растительности. Значительно увеличивается распространение ели и внедрение ее в структуру

широколиственных лесов с формированием типичных для региона елово-широколиственных сообществ. Широколиственные леса «неморального комплекса» преобразуются в особый зональный для Восточной Европы подтип дубово-грабово-липовых лесов.

5. Позднейший голоцен – начало XVII в. по настоящее время. Значительно сокращается площадь лесов, с одновременным ростом площади сельскохозяйственных угодий и синантропных местообитаний (увеличение концентрации пыльцы травянистых растений). Коренные широколиственные и елово-широколиственные сообщества вытесняются вторичными сосновыми и березовыми древостоями.

Полученные результаты могут быть уточнены данными радиоуглеродного анализа и исследованием макроостатков растений в изученных отложениях.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 14-35-50125_мол_нр.

Вопросы для самоконтроля

1. Определение палинологии, суть палинологического метода исследований.
2. История развития спорово-пыльцевого анализа.
3. Преимущества палинологического метода.
4. Методика Фаегри-Иверсена.
5. Применение спорово-пыльцевого анализа.

Литература

- Гричук В. П. История флоры и растительности Русской равнины в плейстоцене. М., 1989. 183 с.
- Куприянова Л. А., Алешина Л. А. Пыльца и споры растений флоры СССР. Л.: Наука, 1972. Т. 1. 171 с.
- Куприянова Л. А., Алешина Л. А. Пыльца двудольных растений флоры Европейской части СССР. Lamiaceae~Zygophyllaceae. Л.: Наука, 1978. 183 с.
- Природа и древний человек / Лауков Г. И., Гвоздовер М. Д., Рогинский Я. Я. и др. М.: Мысль, 1981. 224 с.
- Пыльцевой анализ. М.: Гос. изд-во геол. лит-ры, 1950. 571 с.
- Растительность Европейской части СССР / С. А. Грибова, Т. И. Исаченко, Е. М. Лавренко. Л.: Наука, 1980. 429 с.
- Рудая Н. А. Палинологический анализ: Учебно-методическое пособие. Новосибирск: Новосибирский гос. ун-т, Институт археологии и этнографии СО РАН, 2010. 48 с.
- Федорова Р. В. Некоторые особенности морфологии пыльцы культурных злаков // Тр. Института географии АН СССР: Материалы по геоморфологии и палеогеографии. Работы по спорово-пыльцевому анализу. 1959. Вып. 77. С. 166–186.
- Федорова Р. В. Применение спорово-пыльцевого анализа в изучении археологических объектов лесостепной и степной зон // Советская археология. 1965. Вып. 2. С. 121–131.
- Benrath W. Untersuchungen zur Pollenstatistic und Mikrostratigraphie von Tonen und Torfen in Randgebieten des Kurischen Haffs unter Berücksichtigung metodischer Fragen. Königsberg, 1934. 124 s.
- Beug H.-J. Leitfaden der Pollenbestimmung für Mitteleuropa und angrenzende Gebiete. München: Verlag Dr. Friedrich Pfeil, 2004.
- Dimbleby G. W. The Palynology of Archaeological Sites. London: Academic Press, 1985. 176 p.
- Faegri K. In memoriam O. Gunnar E. Erdtman // Pollen et Spores. 1973. N 15. P. 5–12.
- Faegri K., Iversen J. Textbook of Pollen Analysis. The Blackburn Press, 1989. 328 p.
- Faegri K., Iversen J. Bestimmungsschlüssel für die nordwesteuropäische Pollenflora. 1993.
- Gams H., Ruoff S. Geschichte, Aufbau und Pflanzendecke des Zehlaubbruches // Schriften der Phys.-ökon. Gesellschaft zu Königsberg i. Pr., 1929. B. 66, H. 1. S. 1–193.
- Göttlich K. Moor- und Torfkunde. Stuttgart: E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung (Nägele u. Obermiller), 1990.
- Nelle O. Übung Pollenanalyse. Kiel, 2006 (Anweisungen zum Laborpraktikum in der Pollenanalyse, Ökologiezentrum, Universität Kiel).
- Sears P. B. The archaeology of Environmental in Eastern North America // American Antropologist. 1932. P. 610–622.
- Steffen H. Vegetationskunde von Ostpreußen. Jena, 1931. 406 s.
- Березина Н., Лисс О., Самсонов С. Мир зеленого безмолвия [Электрон. ресурс]. 2014. Режим доступа: <http://www.activestudy.info/bolota-letopis-prirody>.

ПРИМЕНЕНИЕ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ДЛЯ РЕКОНСТРУКЦИЙ ОБСТАНОВКИ СЕДИМЕНТАЦИИ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ОЗЕР НА СЕВЕРЕ КАРЕЛИИ (ПОБЕРЕЖЬЕ БЕЛОГО МОРЯ)

З. И. Слуковский

Институт геологии КарНЦ РАН

Введение

Особенности распределения редкоземельных элементов (РЗЭ, лантаноидов) в осадочных горных породах позволяют судить об условиях среды, в которой образовались изучаемые отложения (Интерпретация..., 2001). Лантаноиды, которые чаще всего принято подразделять на легкие (от La до Nd), средние (от Sm до Dy) и тяжелые (от Ho до Lu, плюс Y), довольно инертны в процессе литогенеза, что обуславливает их способность аккумулироваться в разного рода осадочных формациях и служить надежными индикаторами геологического прошлого (Юдович, Кетрис, 2011).

Ранее проведенные исследования, основанные на литологическом, диатомовом и спорово-пыльцевом анализах (т. е. чисто геологические и биологические подходы), помогли установить основные фации изучаемых донных отложений, а также условия разных седиментационных обстановок, которые менялись в зависимости от таких факторов, как гляциоизостатическое поднятие суши, перемещение линии берега Белого моря и тектонические перемещения земной коры (Колька и др., 2012; Шелехова и др., 2012). Изучение геохимии лантаноидов в тех же самых донных отложениях нацелено выявить специфические особенности каждой фации относительно содержания редкоземельных элементов при помощи методик, используемых в основном для исследования более древних осадочных формаций (Шатров, 2004; Шатров, Войцеховский, 2009), для четвертичных образований на территории Карелии.

Объекты исследования – донные отложения, накопившиеся в котловинах малых безымянных озер, расположенных на побережье Белого моря (Кузема-6, Кузема-9, Чупа и Энгозеро-8) (рис. 1). Цель исследований – оценить возможности использования редкоземельных элементов для анализа условий осадконакопления донных отложений озер севера Республики Карелии и установить отличия в содержании этих элементов в осадках разных фаций.

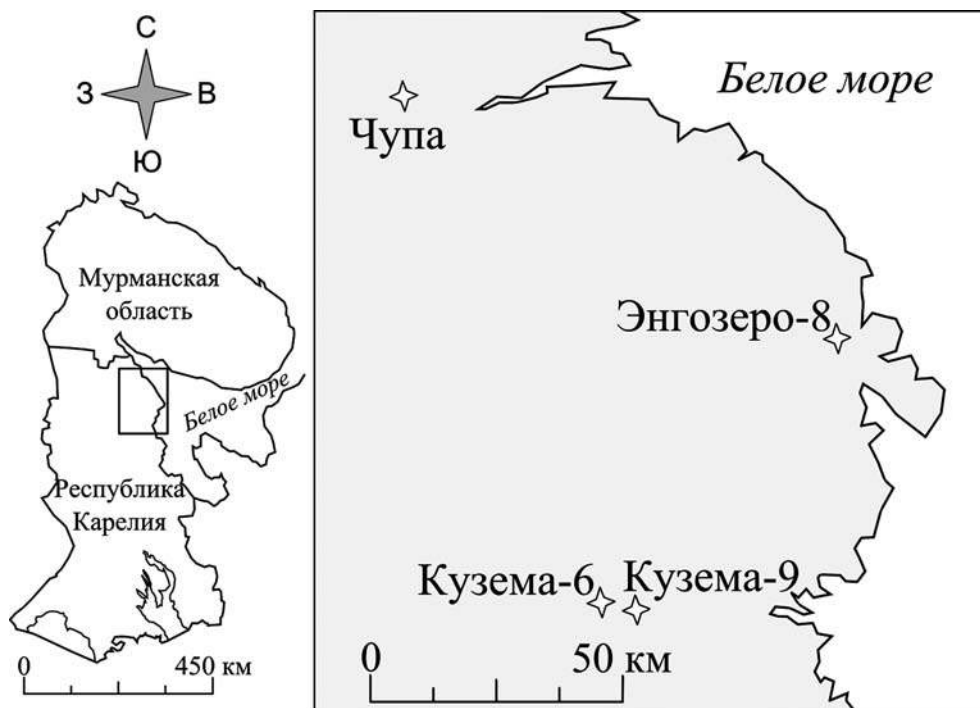


Рис. 1. Карта-схема расположения объектов исследования

Материалом для данной статьи послужили результаты ИСР-анализа донных отложений озер Кузема-6, Кузема-9, Чупа и Энгозеро-8, предоставленные старшим научным сотрудником, кандидатом географических наук Т. С. Шелеховой.

Приводимые лекционные материалы могут быть полезны для студентов, обучающихся по специальностям «Лимнология» и «Палеолимнология».

Изложение материала

Ключевой проблемой литологии являлся и является анализ фаций осадочных толщ. Геохимическим методам отводится определенная роль в фациальном анализе, рассмотрим на примере применения геохимии редкоземельных элементов возможности некоторых из таких методов.

– **Графики распределения** нормированных по хондриту (Sun, McDonough, 1989) редкоземельных элементов в различных слоях донных отложений исследуемых озер представлены на рис. 2 (нормирование – это стандартная процедура проведения геохимических исследований, заключающаяся в делении концентрации химического элемента в изучаемой горной породе на концентрацию этого же элемента в стандартном образце (например, хондритовом метеорите)). На всех диаграммах, именуемых в среде геохимиков «спайдерграммами», отчетливо прослеживается характерная для осадочных пород «отрицательная» европиевая аномалия Eu/Eu^* , рассчитанные значения которой варьируют от 0,14 до 0,22 по всем озерам, увеличиваясь к более глубоким слоям донных отложений, которые формировались в морских условиях. Интересно, что «классические» значения Eu/Eu^* для осадочных пород фанерозоя в три и более раз выше указанных расчетов для четвертичных осадков Карелии (Шатров, Войцеховский, 2009). Данное обстоятельство объясняется дефицитом самария, который вместе с гадолинием учитывается при анализе Eu -аномалий осадочных пород, поэтому при описании полученных нами спайдерграмм следует указывать не только на экстремум европия, но и на Sm-Eu-прогиб графика.

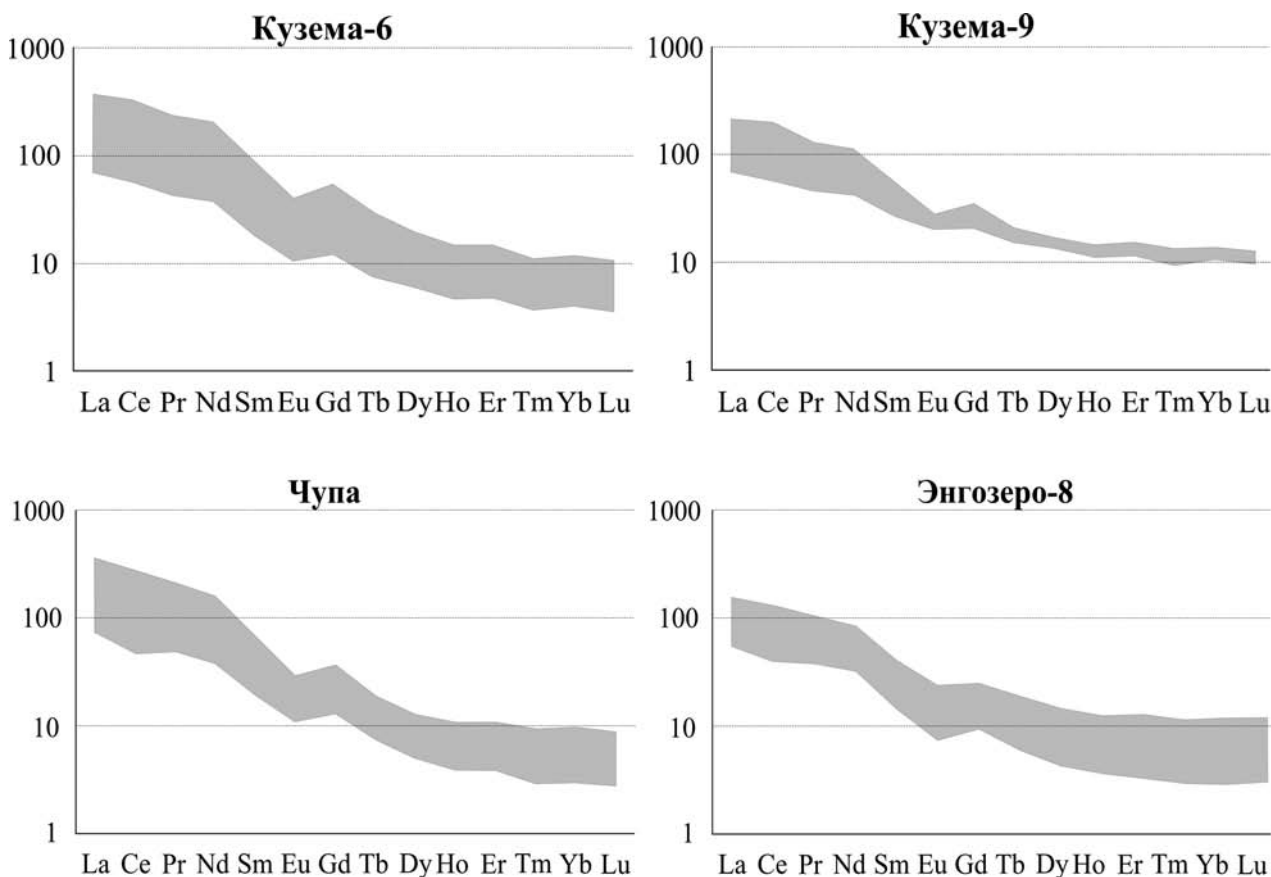


Рис. 2. Спайдерграммы распределения нормированных по хондриту концентраций редкоземельных элементов в донных отложениях озер севера Карелии

Величина другого значения, используемого при интерпретации геохимических данных осадочных образований, аномалии церия Ce/Ce^* варьируют от 0,15 до 0,29, однако тенденция к уменьшению этих значений, которые связаны со сменой условий седиментации осадочных пород, отмечается лишь для озер Кузема-6 и Кузема-9. Коэффициенты корреляции Спирмена между значениями аномалий Eu и Ce для донных отложений этих водоемов равны –0,79 и –0,93 (при 99%-м уровне надежности, $p < 0,01$), соответственно. Для безымянного озера, расположенного близ Чупы, наоборот, установлена значимая положительная корреляция между Eu/Eu^* и Ce/Ce^* ($R = 0,69$ при $p < 0,01$), а для озера Энгозеро-8 корреляция не достигает уровня статистической значимости. Интересно, что наиболее характерные «отрицательные» цериевые аномалии выделяются в образцах проб донных отложений озера района Чупы, отобранных из нижнего слоя биогенной толщи осадков (глубины от 5,0 до 6,3 м). О. П. Корсакова с соавторами связывают этот феномен с влиянием биогенного кремнезема, поскольку в этой же осадочной формации установлены повышенные значения аморфного кремнезема и показателя потерь при прокаливании, используемого для количественной характеристики содержания органического вещества в пресноводных отложениях (Даувальтер, 2012; Корсакова и др., 2014).

– **Ce/La-индекс**, индикатор соотношения гидрогенного (>2) и гидротермального (<2) воздействия на осадочные породы. Анализ значений отношений концентраций Ce и La в исследуемых озерных осадках (рис. 3) выявил вероятное влияние гидротермальных флюидов (?) из тектонических разломов на формирование нижних слоев биогенной толщи озера района Чупы, значения Ce/La-индекса для этих образцов проб варьируют от 1,28 до 1,61. Другие осадочные формации (других слоев и озер), согласно (Шатров, Войцеховский, 2009), формировались под воздействием преимущественно гидрогенных процессов ($Ce/La > 2$). Учитывая фактор современной тектонической активности, оказавшей влияние на формирование четвертичного чехла осадочных пород и геоморфологии территории Прибеломорья (Лукашов, 1976), предположение о гидротермальном происхождении указанных выше «отрицательных» Ce-аномалий следует рассматривать как альтернативу гипотезы о влиянии органического кремнезема в вопросе о генезисе указанных донных отложений.

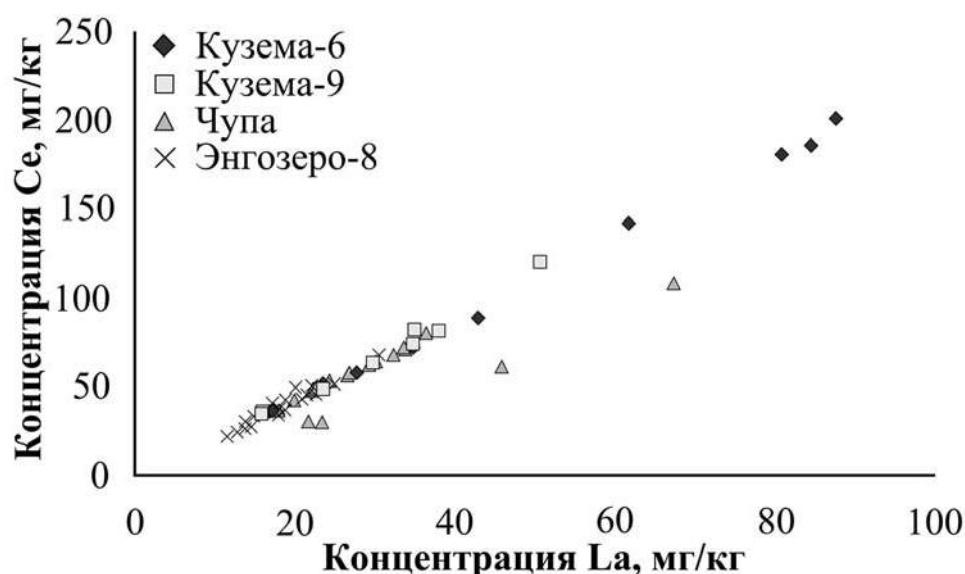


Рис. 3. Взаимосвязь концентраций лантана и цезия в донных отложениях озер севера Карелии

– **Сумма редкоземельных элементов.** Обращает на себя внимание резкое обеднение лантаноидами (в особенности тяжелыми землями) самых верхних слоев донных отложений озер Чупа, Кузема-6 и Энгозеро-8. Обозначенные осадки, имеющие непосредственный контакт с озерной водой, «изолированы» от двух основных источников редкоземельных элементов в осадочные горные породы – морской воды и терригенного материала (Интерпретация..., 2001). С другой стороны, наибольшие суммарные концентрации редкоземельных элементов отмечены в самых нижних слоях изученных донных осадков, имеющих морское происхождение (Шелехова и др., 2012).

– **Индексы La/Sm, Ce/Sm и Yb/Sm.** Значения этих индексов свидетельствуют о смене условий осадконакопления: от глубоководных до прибрежных и от морских до пресноводных. Тренды снижения величины значений индексов La/Sm и Ce/Sm и **увеличения – индекса Yb/Sm иллюстрируют переход пресноводных осадков к морским (глубоководным) отложениям**, и наоборот, уменьшение значений Yb/Sm и **увеличение La/Sm и Ce/Sm индексов говорят о переходе к пресноводным условиям формирования донных отложений карельских озер** (рис. 4). Наибольший размах выборки данных, рассчитываемый как разность между максимальным и минимальным значениями указанных выше геохимических индексов, установлен для озер Кузема-6 и Кузема-9, что, вероятно, говорит о более высокой скорости перемещения береговой линии Белого моря в этом районе в отличие от районов озер Чупа и Энгозеро-8. Интересно, что наибольшее значение индекса Ce/Sm для **донных отложений озера Энгозеро-8** отмечается в переходном слое осадков, где черная гиттия переходит в оливкового цвета биогенную толщу.

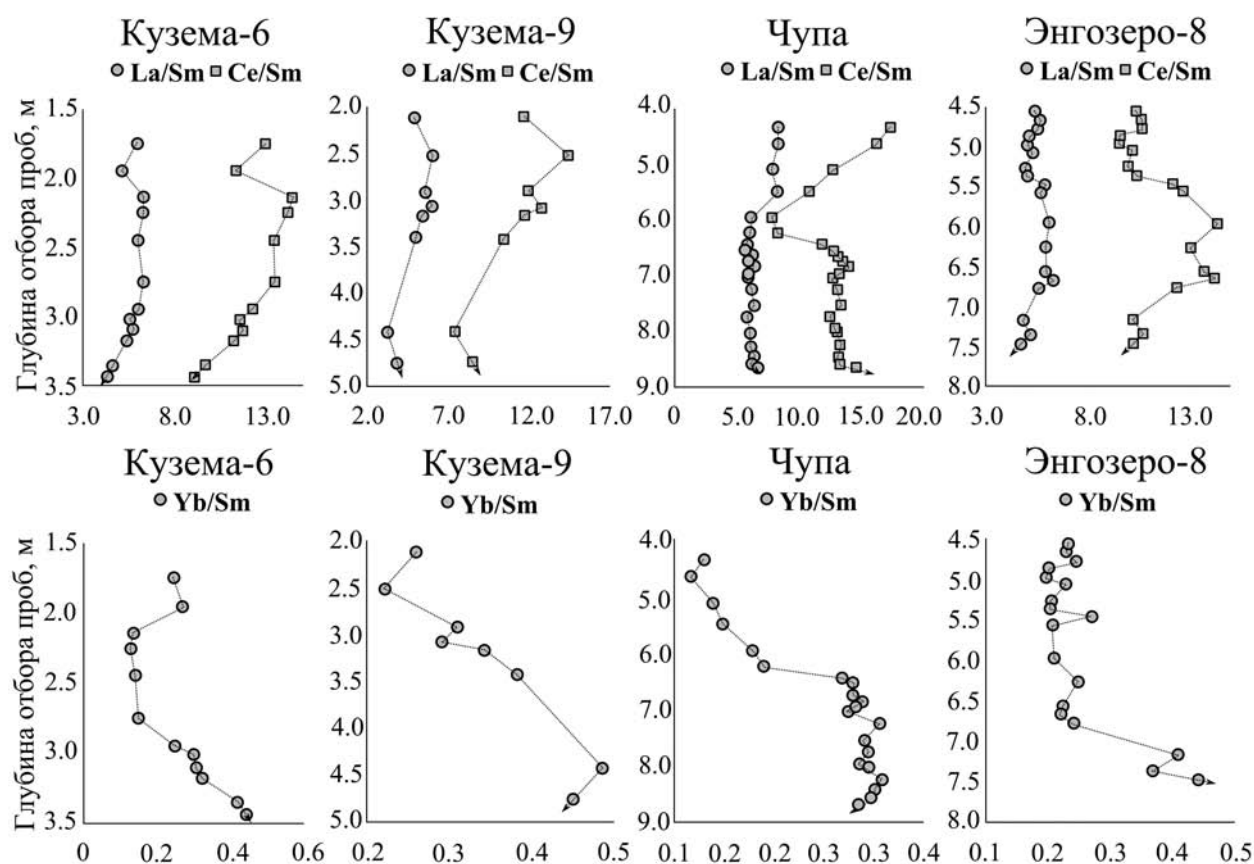


Рис. 4. Вертикальное распределение значений индексов La/Sm и Ce/Sm и Yb/Sm в донных отложениях озер севера Карелии

– **Соотношение LREE-MREE-(HREE*10).** Тройная диаграмма соотношения легких, средних и тяжелых лантаноидов (рис. 5) позволяет четко дифференцировать изученные донные отложения на три типа:

- 1) глубоководные морские отложения (алевроиты, мелкозернистые пески);
- 2) осадочные формации переходной зоны, литорали Белого моря (гиттия, алевроитовая гиттия, алевроит);
- 3) самые молодые донные отложения, сформированные, скорее всего, в позднеледниковый период в пресноводных условиях (гиттия, диатомовый сапропель).

В целом же на представленной тройной диаграмме выделяется тренд «регрессии моря», что связано обычно с преимущественным накоплением в прибрежных зонах морей легких редкоземельных элементов, а в центральных частях – тяжелых лантаноидов (Шатров, Войцеховский, 2009).

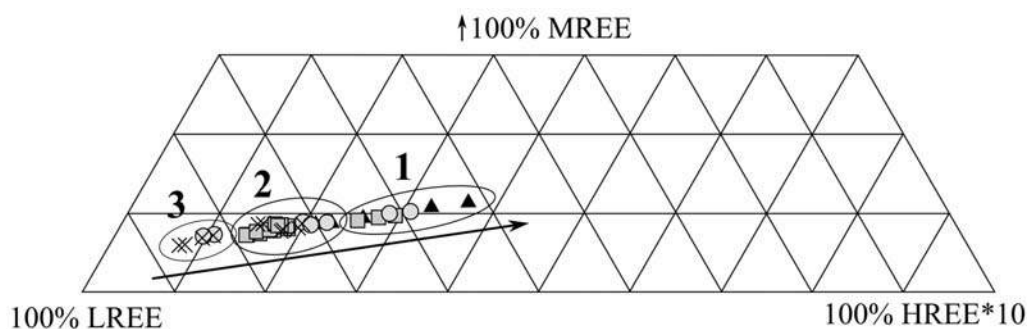


Рис. 5. Диаграмма соотношения суммарных концентраций легких, средних и тяжелых редкоземельных элементов в донных отложениях озер севера Карелии

Заключение

Применение редкоземельных элементов для анализа условий осадкообразования донных отложений побережья Белого моря позволяет:

- подтвердить результаты литологических и биологических методов;
- найти новые, недоступные этим методам, закономерности формирования донных осадков (например, гидротермального влияния на озерные осадки);
- снизить нагрузку на специалистов-биологов при детальной реконструкции литологических фаций донных отложений озер.

Вопросы для самоконтроля

1. Почему редкоземельные элементы могут служить надежными индикаторами геологического прошлого изучаемых осадочных горных пород?
2. Как называются графики распределения редкоземельных элементов, нормированных по стандартному образцу?
3. Графические «аномалии» каких редкоземельных элементов особенно выделяются при интерпретации диаграмм распределения РЗЭ?
4. Индикаторами каких процессов являются значения индекса La/Ce в осадочных горных породах?
5. О чем свидетельствует увеличение значения индекса Yb/Sm в донных отложениях озер Карелии?

Литература

- Даувальтер В. А. Геоэкология донных отложений озер. 2012. 242 с.
- Интерпретация геохимических данных. М.: Интермет Инжиниринг, 2001. 288 с.
- Колька В. В., Корсакова О. П., Шелехова Т. С. и др. Перемещение береговой линии Белого моря и гляцио-изостатическое поднятие суши в голоцене (район поселка Кузема, Северная Карелия) // Докл. РАН. 2012. Т. 442, № 2. С. 263–267.
- Корсакова О. П., Колька В. В., Алексеева А. Н. и др. Элементный состав разнофациальных осадков из малых озерных котловин побережья Белого моря (Северная Карелия, район Чупа) // Геохимия литогенеза: Материалы Рос. совещ. с междунар. участием. Сыктывкар: Коми НЦ УрО РАН, 2014. С. 121–124.
- Лукашов А. Д. Новейшая тектоника Карелии. Л.: Наука, 1976. 109 с.
- Шатров В. А. Редкоземельные элементы как индикаторы условий образования метаосадочных пород нижнего Протерозоя // Докл. РАН. 2004. Т. 397, № 3. С. 396–399.
- Шатров В. А., Войцеховский Г. В. Применение лантаноидов для реконструкций обстановок осадкообразования в фанерозое и протерозое (на примере разрезов чехла и фундамента Восточно-Европейской платформы) // Геохимия. 2009. № 8. С. 805–824.
- Шелехова Т. С., Колька В. В., Корсакова О. П. История озера Коржино по данным диатомового анализа (район поселка Кузема, северная Карелия) // Геология и полезные ископаемые Карелии. Вып. 15. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2012. С. 151–164.
- Юдович Я. Э., Кетрис М. П. Геохимические индикаторы литогенеза (литологическая геохимия). Сыктывкар: Геопринт, 2011. 742 с.
- Sun S. S., McDonough W. F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implication and processes // Saunders A. D., Norry M. J. (eds.). Magmatism in the oceans basins. Geological Society, London, Special Publications. 1989. N 42. P. 313–345.

Научное издание

**МОРЯ, ОЗЕРА И ТРАНСГРАНИЧНЫЕ ВОДОСБОРЫ
РОССИИ, ФИНЛЯНДИИ И ЭСТОНИИ**

ЛЕКЦИИ НАУЧНЫХ СОТРУДНИКОВ, ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ
И МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ ДЛЯ ВУЗОВ

(по докладам Международной молодежной школы-конференции)

*Печатается по решению Ученого совета
Института водных проблем Севера
Карельского научного центра РАН*

Редактор *Л. В. Кабанова*
Оригинал-макет *М. И. Федорова*

Сдано в печать 9.06.2015 г. Формат 60х84¹/₈.
Гарнитура Times. Печать офсетная.
Уч.-изд. л. 24,0. Усл. печ. л. 25,6. Тираж 300 экз. Заказ № 286

Карельский научный центр РАН
Редакционно-издательский отдел
185003, г. Петрозаводск, пр. А. Невского, 50