

Федеральный исследовательский центр
«Карельский научный центр
Российской академии наук»

ТРУДЫ

КАРЕЛЬСКОГО НАУЧНОГО ЦЕНТРА РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

№ 9, 2018

Серия ЛИМНОЛОГИЯ И ОКЕАНОЛОГИЯ

Петрозаводск
2018

Главный редактор
А. Ф. ТИТОВ, член-корр. РАН, д. б. н., проф.

Редакционный совет

А. М. АСХАБОВ, академик РАН, д. г.-м. н., проф.; О. Н. БАХМЕТ (зам. главного редактора), член-корр. РАН, д. б. н.; А. В. ВОРОНИН, д. т. н., проф.; И. В. ДРОБЫШЕВ, доктор биологии (Швеция – Канада); Э. В. ИВАНТЕР, член-корр. РАН, д. б. н., проф.; Х. ЙООСТЕН, доктор биологии, проф. (Германия); А. С. ИСАЕВ, академик РАН, д. б. н., проф.; А. М. КРЫШЕНЬ, д. б. н.; Е. В. КУДРЯШОВА, д. флс. н., проф.; О. Л. КУЗНЕЦОВ, д. б. н.; В. В. МАЗАЛОВ, д. ф.-м. н., проф.; Н. Н. НЕМОВА, член-корр. РАН, д. б. н., проф.; О. ОВАСКАЙНЕН, доктор математики, проф. (Финляндия); О. Н. ПУГАЧЕВ, академик РАН, д. б. н.; С. А. СУББОТИН, доктор биологии (США); Д. А. СУБЕТТО, д. г. н.; Н. Н. ФИЛАТОВ, член-корр. РАН, д. г. н., проф.; Т. Э. ХАНГ, доктор географии (Эстония); П. ХОЛТА, доктор геологии, проф. (Финляндия); К. ШАЕВСКИЙ, доктор математики, проф. (Польша); В. В. ЩИПЦОВ, д. г.-м. н., проф.

Editor-in-Chief

A. F. TITOV, RAS Corr. Fellow, DSc (Biol.), Prof.

Editorial Council

A. M. ASKHABOV, RAS Academician, DSc (Geol.-Miner.), Prof.; O. N. BAKHMET (Deputy Editor-in-Chief), RAS Corr. Fellow, DSc (Biol.); I. V. DROBYSHEV, PhD (Biol.) (Sweden – Canada); N. N. FILATOV, RAS Corr. Fellow, DSc (Geog.), Prof.; T. E. HANG, PhD (Geog.) (Estonia); P. HÖLTTÄ, PhD (Geol.), Prof. (Finland); A. S. ISAEV, RAS Academician, DSc (Biol.), Prof.; E. V. IVANTER, RAS Corr. Fellow, DSc (Biol.), Prof.; H. JOOSTEN, Dr. (Biol.), Prof. (Germany); A. M. KRYSHEN', DSc (Biol.); E. V. KUDRYASHOVA, DSc (Phil.), Prof.; O. L. KUZNETSOV, DSc (Biol.); V. V. MAZALOV, DSc (Phys.-Math.), Prof.; N. N. NEMOVA, RAS Corr. Fellow, DSc (Biol.), Prof.; O. OVASKAINEN, PhD (Math.), Prof. (Finland); O. N. PUGACHYOV, RAS Academician, DSc (Biol.); V. V. SHCHIPTSOV, DSc (Geol.-Miner.), Prof.; S. A. SUBBOTIN, PhD (Biol.) (USA); D. A. SUBETTO, DSc (Geog.); K. SZAJEWSKI, PhD (Math.), Prof. (Poland); A. V. VORONIN, DSc (Tech.), Prof.

Редакционная коллегия серии «ЛИМНОЛОГИЯ И ОКЕАНОЛОГИЯ»

Н. Л. БОЛОТОВА, д. б. н., проф.; А. В. ЗИМИН, д. г. н.; В. Н. ЗЫРЯНОВ, д. ф.-м. н., проф.; Н. В. ИЛЬМАСТ, д. б. н.; С. Д. ГОЛОСОВ, к. ф.-м. н.; С. Ф. КОМУЛАЙНЕН, д. б. н.; А. В. КУРАЕВ, к. г. н.; Е. А. КУРАШОВ, д. б. н.; М. ЛЕППЯРАНТА, доктор; Л. Е. НАЗАРОВА (зам. ответственного редактора), к. г. н.; Л. А. ПЕСТРЯКОВА, д. г. н.; Т. И. РЕГЕРАНД (ответственный секретарь), к. б. н.; А. В. РЫЖАКОВ, к. х. н.; А. Ю. ТЕРЖЕВИК, к. т. н.; А. П. ФЕДОТОВ, д. г.-м. н.; Н. Н. ФИЛАТОВ (ответственный редактор), чл.-корр. РАН, д. г. н., проф.; Г. Т. ФРУМИН, д. х. н.

Editorial Board of the LIMNOLOGY AND OCEANOLOGY Series

N. L. BOLOTOVA, DSc (Biol.), Prof.; A. P. FEDOTOV, DSc (Geol.-Miner.); N. N. FILATOV (Editor-in-Charge), RAS Corr. Fellow, DSc (Geog.), Prof.; G. T. FRUMIN, DSc (Chem.); N. V. IL'MAST, DSc (Biol.); S. D. GOLOSOV, PhD (Phys.-Math.); S. F. KOMULAINEN, DSc. (Biol.); A. V. KURAEV, PhD (Geog.); E. A. KURASHOV, DSc (Biol.); M. LEPPYARANTA, PhD; L. E. NAZAROVA (Deputy Editor-in-Charge), PhD (Geog.); L. A. PESTRYAKOVA, DSc (Geog.); T. I. REGERAND (Executive Secretary), PhD (Biol.); A. V. RYZHAKOV, PhD (Chem.); A. Yu. TERZHEVIK, PhD (Tech.); A. V. ZIMIN, DSc (Geog.); V. N. ZYRYANOV, DSc (Phys.-Math.).

ISSN 1997-3217 (печатная версия)
ISSN 2312-4504 (онлайн-версия)

Адрес редакции: 185910 Петрозаводск, ул. Пушкинская, 11
тел. (8142)762018; факс (8142)769600
E-mail: trudy@krc.karelia.ru

Электронная полнотекстовая версия: <http://transactions.krc.karelia.ru>

От редактора

Уважаемые коллеги!

За пять лет успешной работы серии «Лимнология» было опубликовано около 100 статей по пяти разделам. Редакционная коллегия выражает огромную признательность всем авторам и рецензентам. Однако стало очевидным, что ряд статей не могут быть опубликованы в этой серии, поскольку некоторые исследования бывает сложно отнести к чисто лимнологическим. Кроме того, тематика серии не охватывала исследования таких внутренних водоемов, как Белое и Балтийское моря, Каспий, других водных объектов.

В России имеются журналы, в которых публикуются статьи по изучению внутренних водоемов, включая озера, водохранилища, моря и их водосборы, например, «Океанология», «Водные ресурсы», «Труды ИБВВ», но для полного и оперативного освещения исследований в области озераведения и океанологии и на стыке этих наук их явно не хватает. В США издается журнал «Limnology and Oceanography», который является флагманом изданий Американской ассоциации лимнологии и океанографии (ASLO). В этом журнале публикуются научные статьи, обзоры и комментарии по всем аспектам лимнологии и океанографии. В Китае издается журнал «Journal of Oceanology and Limnology», в Италии – журнал «Advances in Oceanography and Limnology». Статьи об озерах, морях и их водосборах публикует журнал «Inland Waters», имеется электронная версия журнала «International Journal of Oceanology and Limnology». Тем не менее всех известных изданий недостаточно, чтобы в полной мере и оперативно представить исследования, проводимые отечественными учеными в России и за рубежом.

За время работы серии стало очевидным, что в расширении ее тематики заинтересованы не только институты Федерального исследовательского центра «Карельский научный центр РАН», но и многие другие институты и университеты в связи с необходимостью более полного отражения результатов их научной деятельности по изучению внутренних водоемов (озер, водохранилищ), морей и их водосборов.

На заседании редколлегии серии было принято решение раздвинуть тематические рамки публикаций и изменить название серии на «Лимнология и океанология», что позволит более широко представить исследования, проводимые в России и за рубежом.

Статьи будут приниматься по следующим направлениям:

- современное состояние внутренних водоемов (гидрология, гидробиология, ихтиология, гидрохимия, гидрофизика и другие направления);
- функционирование озерно-речных систем и их водосборов;
- изучение изменчивости водных систем (озерных и морских) под влиянием климатических и антропогенных факторов; экспериментальные исследования и моделирование;
- мониторинг, прогнозирование изменений, проблемы восстановления, рационального использования и охраны водных систем;
- палеолимнологические исследования.

Эту идею поддержали наши коллеги из научных институтов России и из-за рубежа. В частности, вопрос расширения тематики активно обсуждался во время проведения 1-й Международной конференции «Озера Евразии: проблемы и пути их решения» в Петрозаводске в 2017 году.

Для совершенствования работы внесены изменения в состав редколлегии серии и приглашены специалисты-океанологи.

Статьи публикуются как на русском, так и на английском языке, что позволяет сотрудничать не только с отечественными авторами, но и с зарубежными учеными.

Редколлегия серии «Лимнология и океанология» приглашает авторов и рецензентов для совместной работы.

*Гл. редактор серии «Лимнология и океанология»
чл.-корр. РАН Н. Н. Филатов*

ГИДРОФИЗИКА. ГИДРОЛОГИЯ

УДК 556.556.2:556.045

БАЗА ДАННЫХ «ТЕЧЕНИЯ В МЕЛКОВОДНОМ ОЗЕРЕ – 1» И ВОЗМОЖНОСТИ ЕЕ ПРАКТИЧЕСКОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

**Р. Э. Здоровеннов, Н. И. Пальшин, Г. Э. Здоровеннова,
А. В. Митрохов, А. Ю. Тержевик**

*Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН, ФИЦ «Карельский научный центр РАН»,
Петрозаводск, Россия*

Результаты длительных измерений скоростей течений в зимние месяцы 1994–1997, 1999 и 2002 гг., полученные в ходе экспедиций лаборатории гидрофизики ИВПС КарНЦ РАН в небольшом мелководном озере Вендюрском, расположенном в южной части Карелии, были обобщены в виде базы данных «Течения в мелководном озере – 1» (свидетельство о гос. регистрации № 2018621066 от 13 июля 2018 г.). База содержит сведения о батиметрии озера, а также данные трех типов: вертикальные профили скоростей средних течений на станциях центральной котловины, длительные измерения скоростей в течение 1,5–7 суток и краткосрочные измерения в течение 3–17 ч на разных глубинах в разных районах озера с дискретностью 1–30 секунд. Общее количество станций измерений – 15 (их расположение показано на схеме озера), количество серий измерений – более 200. Также в базе данных содержатся сведения о температуре воды на горизонтах, на которых устанавливались измерители течений, и результаты измерений вертикальных и горизонтальных смещений льда. Представлено описание уникальных приборов, разработанных в ИВПС КарНЦ РАН, с помощью которых проводились измерения течений. База данных представляет собой набор связанных гиперссылками web-страниц, созданных на языке HTML. Структура базы позволяет строить разнообразные запросы для анализа течений мелководного озера в зимний период. Таким образом, основная функция базы – это обеспечение возможности анализа течений в малом озере в период ледостава на основе данных наблюдений. База данных может быть использована в научных целях гидрологами, гидрофизиками, а также в учебных целях как наглядный материал в географических и гидрометеорологических вузах.

Ключевые слова: база данных; мелководное озеро; течения; период ледостава; смещения льда.

**R. E. Zdorovenov, N. I. Palshin, G. E. Zdorovennova, A. V. Mitrokhov,
A. Yu. Terzhevik. DATABASE “CURRENTS IN A SHALLOW LAKE – 1” AND
ITS POTENTIAL APPLICATIONS**

The results of long-term measurements of the velocities of currents during the ice seasons of 1994–1997, 1999 and 2002, obtained during expeditions of the Laboratory

of Hydrophysics, NWPI KarRC RAS to small shallow Lake Vendyurskoe (southern Karelia) have been summarized in the database “Currents in a shallow lake – 1” (Certificate of state registration № 2018621066, date of registration July 13, 2018). The database contains information on the bathymetry of the lake; the locations of measurement stations are mapped. The database contains three types of data: vertical profiles of current velocities at stations in the central basin, long-term measurements of velocities for 1.5–7 days, and short-term measurements for 3–17 hours at different depths in different parts of the lake with a time interval of 1–30 seconds. The total number of measurement stations is 15, the number of measurement series is more than 200. Also, the database contains data on water temperature at the depths of current measurements, and observations of vertical and horizontal ice displacements. A description of the instruments with which the measurements were performed is provided. The database is a set of hyper-linked web pages created in HTML. The structure of the database allows constructing various queries for the analysis of lake currents during the winter period. Its main function is to analyze currents in a small lake during the ice-covered period. The database can be used for scientific purposes by hydrologists, hydrophysicists, or as visual learning aid at geographical and hydrometeorological universities.

Key words: database; shallow lake; currents; ice season; ice displacement.

Введение

Гидродинамика покрытых льдом озер до настоящего времени остается недостаточно изученной областью лимнологии. Течения, возникающие в малопроточных озерах в зимний период, обусловлены рядом факторов, из которых важнейшими являются теплообмен с донными отложениями, атмосферное воздействие на лед, а также проникающая под лед солнечная радиация [Bengtsson, 1996; Malm et al., 1998; Kirillin et al., 2012].

Неравномерное распределение тепла в донных отложениях между мелководными и глубоководными частями водоема приводит к появлению в зимний период горизонтальных неоднородностей плотности и формированию циркуляций, охватывающих практически весь объем водной массы [Raht, 1985; Malm, 1998; Пальшин и др., 2016]. Возникающие склоновые течения и компенсационные восходящие токи играют важную экологическую роль, способствуя перераспределению взвешенных и растворенных веществ, активизируя тепло- и массообмен на границе «вода-дно», определяя интенсивность поглощения кислорода, высвобождая накопленные в верхнем слое донных отложений биогены, парниковые газы. Данные измерений температуры и электропроводности воды [Бояринов и др., 2003], а также масштабные оценки и расчеты [Пальшин и др., 2017] показывают, что в небольших озерах зимой может формироваться антициклонический круговорот, охватывающий практически всю водную толщу и существующий на протяжении нескольких месяцев. Анализ уравнений движения показывает, что члены

локального ускорения, диффузии и адвекции в основной толще озера на два порядка меньше, чем вклад силы Кориолиса и горизонтального градиента давления [Malm et al., 1998; Пальшин и др., 2017]. Таким образом, формирующаяся циркуляция имеет геострофический характер.

В зимний период в озерах, наряду с крупномасштабными циркуляциями, формируются мезомасштабные пространственные неоднородности в распределении температуры, локальные вихри [Forrest et al., 2013], которые могут приводить, в частности, к уменьшению толщины льда [Kourgaev et al., 2016] и создавать, таким образом, потенциальную опасность для транспортных перевозок по льду.

Атмосферное воздействие на водоемы зимой заключается преимущественно в образовании снежно-ледяного покрова и изменении его толщины и структуры. Однако синхронные измерения скоростей течений, скорости ветра и перепадов атмосферного давления над небольшим покрытым льдом озером Вендюрским показали, что усиления ветра являются наиболее вероятной причиной, генерирующей колебательные движения водной толщи [Петров и др., 2007]. Длительные измерения температуры в этом же озере в зимний период позволили установить, что на фоне усиления атмосферного воздействия (резких перепадов атмосферного давления и усиления ветра над акваторией водоема) происходит интенсификация подледной гидродинамики и ускорение тепломассообмена в придонных слоях [Здоровеннова и др., 2016].

В весенний период, по мере таяния снега и уменьшения альбедо поверхности, растает

поток солнечной радиации, проникающей под лед. Развивающееся конвективное перемешивание достигает значительных глубин [Farmer, 1975; Bouffard et al., 2016]. Конвективное перемешивание играет важнейшую роль в перераспределении растворенных (газы, биогенные вещества) и взвешенных (клетки водорослей) веществ в конце зимнего сезона [Kelley, 1997; Тержевик и др., 2010]. Исследования радиационного режима малого озера в период весенней подледной конвекции позволили выявить заметную вариабельность альбедо его поверхности [Петров и др., 2005], что наряду с пространственной неоднородностью толщины снежно-ледяного покрова может создавать предпосылки для неравномерного подледного прогрева и формирования вихревых структур.

В небольших озерах, покрытых льдом, скорости течений невелики – не превышают нескольких миллиметров в секунду [Bengtsson et al., 1996; Malm et al., 1998; Rizk et al., 2014; Kirillin et al., 2015]. Поскольку период ледостава продолжается на водоемах умеренной зоны около полугода, влияние подледных течений на термический и химико-биологический режимы водоемов достаточно велико, что определяет актуальность исследований динамики водоемов, покрытых льдом.

До настоящего времени прямые измерения течений на водоемах, покрытых льдом, были крайне малочисленны. Связано это в первую очередь с высокой стоимостью высокочувствительного измерительного оборудования, необходимого для проведения таких исследований.

Описанные в данной работе прямые длительные измерения течений проводились на покрытом льдом мелководном озере Вендюрском (юг Карелии) в 1994–1997, 1999 и 2002 гг. При измерениях использовались уникальные приборы, разработанные в Институте водных проблем Севера КарНЦ РАН [Glinsky, 1998]. Предварительные результаты анализа измерений течений были опубликованы в виде технических отчетов [Malm et al., 1996, 1997] и статей в ведущих отечественных и зарубежных журналах [Bengtsson et al., 1996; Malm et al., 1998; Петров и др., 2007].

Для того чтобы обобщить данные многолетних прямых измерений течений в озере, покрытом льдом, и сделать их доступными для широкого круга специалистов, была создана и запатентована база данных по подледной гидродинамике озера Вендюрского. База данных «Течения в мелководном озере – 1» прошла государственную регистрацию (свидетельство о государственной регистрации № 2018621066

от 13 июля 2018 г.). Характеристики базы: тип ЭВМ IBM PC, СУБД Excel, интернет-браузеры Mozilla Firefox, Google Chrome, Opera, Internet Explorer, ОС: Windows, объем 65 Мб.

База данных может использоваться при изучении сезонной изменчивости динамического режима озера, покрытого льдом. Создание такой базы данных является важной и актуальной задачей, поскольку информационный поиск на сайте ФИПС (<http://www1.fips.ru/wps/portal/IPS>) показал, что в настоящее время нет зарегистрированных баз данных по прямым измерениям течений в мелководных озерах, покрытых льдом.

Материалы и методы

Объект исследования. Измерения проводились в зимние месяцы на небольшом мезотрофном озере Вендюрском, расположенном в южной части Карелии (62°10'–62°20'N, 33°10'–33°20'E) (рис. 1). Озеро Вендюрское является типичным представителем класса озер водно-ледникового происхождения, широко распространенных на территории Фенноскандии [Тержевик и др., 2010]. Площадь зеркала озера 10,4 км², объем вод ~ 5,5·10⁷ м³, средняя глубина 5,3 м, максимальная 13,4 м, площадь водосборного бассейна 82,8 км². Коэффициент водообмена около 0,4 год⁻¹. Прозрачность воды по диску Секки 3–4 м. Песчаные донные отложения преобладают на глубинах до 2–3 м, глубже распространены илы, достигающие метровой толщины в центральной котловине озера. Начало ледостава на озере происходит с первой недели ноября до 20-х чисел декабря, разрушение ледового покрова и освобождение акватории от плавающего льда – в период с 30 апреля по 20 мая, продолжительность ледостава изменяется в пределах 5–6 месяцев [Петров и др., 2006; Zdrovennov et al., 2013]. Толщина снежно-ледяного покрова достигает к концу марта ~ 0,6–0,7 м [Петров и др., 2005; Здровеннов и др., 2010; Zdrovennova et al., 2013].

Методика измерений. Измерения течений, а также вертикальных и горизонтальных смещений льда проводились на 15 станциях двух поперечных разрезов (рис. 1). При измерениях использовались приборы, изготовленные в Институте водных проблем Севера КарНЦ РАН А. М. Глинским [Glinsky, 1998]: измерители течений ACM (Acoustic current meter), DWCM (Drag wire current meter) и НТСМ (Hot Thermistor current meter) и измерители смещений льда (Vertical ice displacement meter и Horizontal ice displacement meter). Диапазон измерений, точ-

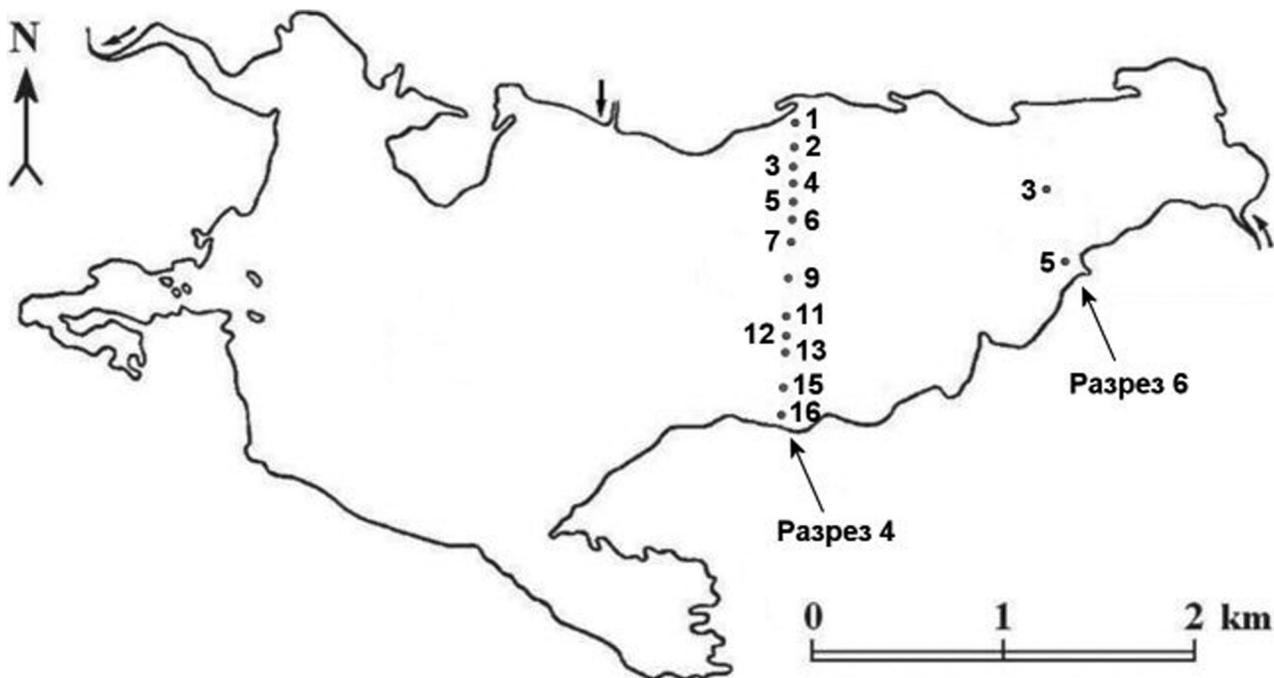


Рис. 1. Положение станций измерения течений на оз. Вендюрском в 1994–1997, 1999 и 2002 гг.
 Fig. 1. Position of the stations for current measurement in Lake Vendyurskoe in 1994–1997, 1999 and 2002

Диапазон, точность и разрешающая способность приборов, использовавшихся для измерения течений и смещений льда

The range, accuracy and resolution of the devices used to measure the currents and ice displacement

Прибор Devices	Диапазон Range	Точность Accuracy	Разрешение Resolution
Акустический измеритель скорости Acoustic current meter (ACM)	Две компоненты скорости от -7 до +7 см/с Two velocity components from -7 to +7 cm/s	±50 %	0,02 см/с 0,02 cm/s
Волосковый измеритель скорости Drag wire current meter (DWCM)	Две компоненты скорости от -2 до +2 см/с Two velocity components from -2 to +2 cm/s	25 %	0,0003 см/с 0,0003 cm/s
Термисторный измеритель скорости Hot thermistor current meter (HTCM)	Скорость от 0,03 до 10 см/с Температура от 0 до 20 °С Velocity from 0,03 to 10 cm/s Temperature from 0 to 20 °C	±30 % 0,2 °C	1 % 0,0002 °C
Измеритель вертикальных смещений льда Vertical ice displacement meter	Вертикальное смещение льда от -10 до +10 см Vertical ice displacement from -10 to +10 cm	0,2 мм 0,2 mm	0,002 мм 0,002 mm
Измеритель горизонтальных смещений льда Horizontal ice displacement meter	Горизонтальное смещение льда от -15 до +15 см Horizontal ice displacement from -15 to +15 cm	1,0 мм 1,0 mm	0,01 мм 0,01 mm

ность и разрешающая способность приборов приведены в таблице.

Измерения течений выполнялись в трех режимах: 1) вертикальные профили средних течений на станциях 4-го и 6-го разрезов; 2) длительные измерения течений на одном горизонте в течение 1,5–7 суток на станциях 4-го и 6-го разрезов; 3) краткосрочные измерения

течений продолжительностью 3–17 ч на разных горизонтах на станциях 4-го разреза. Дискретность измерений составляла от 1–30 секунд до одной минуты. Общее количество станций измерений – 15, количество серий измерений – более 200. Приборы фиксировали две компоненты течения, по которым затем вычислялись его модуль и направление.

Получение вертикальных профилей средних течений проводилось с использованием прибора АСМ по специально разработанной методике, описанной в работе [Malm et al., 1998]. На каждой станции измерения осуществлялись последовательно на нескольких горизонтах. Продолжительность измерений на каждом горизонте составляла около 30 минут. Выбранный период измерений был близок к теоретически оцененному максимальному периоду первой моды продольной баротропной сейши озера Вендюрского [Bengtsson et al., 1996]. Для устранения возможной ошибки, связанной с дрейфом приборного нуля, акустический измеритель течений АСМ в середине периода измерений поворачивали вокруг своей оси на 180 градусов. Из полученных в двух полупериодах значений вычислялось среднее для каждой компоненты, а затем модуль и направление средней скорости.

На отдельных станциях параллельно с измерениями течений фиксировалась температура воды на тех же горизонтах, а также вертикальные и горизонтальные смещения льда.

База данных «Течения в мелководном озере – 1»

Структура. База данных представляет собой набор связанных гиперссылками веб-страниц, созданных на языке HTML. На главной странице базы на вкладке «Главная» содержится навигация по базе, а также открывается доступ к шести вкладкам, содержащим данные по батиметрии озера и особенностям его ледового режима (вкладка «Вендюрское»), фотографии поверхности озера (вкладка «Фото»), информацию об использовавшихся приборах (вкладка «Приборы»), данные измерений течений и по положению станций (вкладка «Данные»), сведения о публикациях, содержащих результаты анализа данных и описание использовавшихся приборов (вкладка «Публикации») и контактную информацию (вкладка «Контакты»).

Работа с базой данных. На вкладке «Данные» находится схема положения станций измерений, а также таблица, содержащая информацию о режиме и датах измерений, станциях, измеряемых параметрах. На каждый набор данных дается гиперссылка, по которой можно скачать файл с данными в формате MS Excel. Дальнейший анализ данных может проводиться в среде MS Excel либо в других программах, предназначенных для анализа данных.

Анализ длительных измерений течений, температуры, смещений льда. На рис. 2 в качестве примера приведена выборка двух

компонент скорости течения, полученных в режиме длительных измерений на станции 3 разреза 4 (глубина станции 7,7 м) на глубине 1,2 м в период 17–24 апреля 1995 г. Анализ данных позволяет заключить, что обе компоненты скорости характеризовались выраженной изменчивостью, как низко-, так и высокочастотной.

Низкочастотная изменчивость компонент скорости (от нескольких часов до нескольких десятков часов) была связана, по всей видимости, с крупномасштабной циркуляцией в озере либо с атмосферным воздействием на лед. Как было показано в ходе специально спланированных экспериментов на озере Вендюрском в марте 1996 г. [Malm et al., 1998; Петров и др., 2007], при усилении ветра и перепадах атмосферного давления над акваторией озера усиливались колебания ледового покрова и происходила интенсификация течений подо льдом.

Высокочастотная изменчивость компонент скорости была обусловлена сейшевой активностью – преобладали колебания с периодами 6–10 и 25–30 минут, что близко к теоретическим оценкам первых мод поперечной и продольной баротропной сейши озера Вендюрского. На рис. 2, б в период с 19 до 24 ч 17 апреля хорошо прослеживается увеличение и уменьшение амплитуды колебаний компонент с периодом первой моды продольной сейши. Интересно, что колебания с периодом, близким к первой моде поперечной сейши, не исчезли на фоне усиления продольной сейши.

Построение точечных и прогрессивно-векторных диаграмм позволяет получать представление о преобладающем переносе в определенный период зимы в определенном районе озера, а также изучать характер течений, его изменения во времени. Примеры таких диаграмм приведены в работах [Malm et al., 1998; Петров и др., 2007], где, в частности, показано, что в период слабых движений в озере наблюдается преимущественно перенос по продольной оси озера, а при интенсификации движений усиливается роль поперечной компоненты, в результате чего направление основного переноса смещается. Кроме этого, отмечена такая особенность, как резкая смена направления течения на угол порядка 90 градусов несколько раз в течение суток в период весенней подледной конвекции.

Совместный анализ данных по течениям и вертикальным смещениям льда (рис. 3) позволяет заключить, что периоды колебаний льда и течений были близки к теоретической оценке первой моды продольной баротропной сейши оз. Вендюрского. Отчетливо наблюдался сдвиг

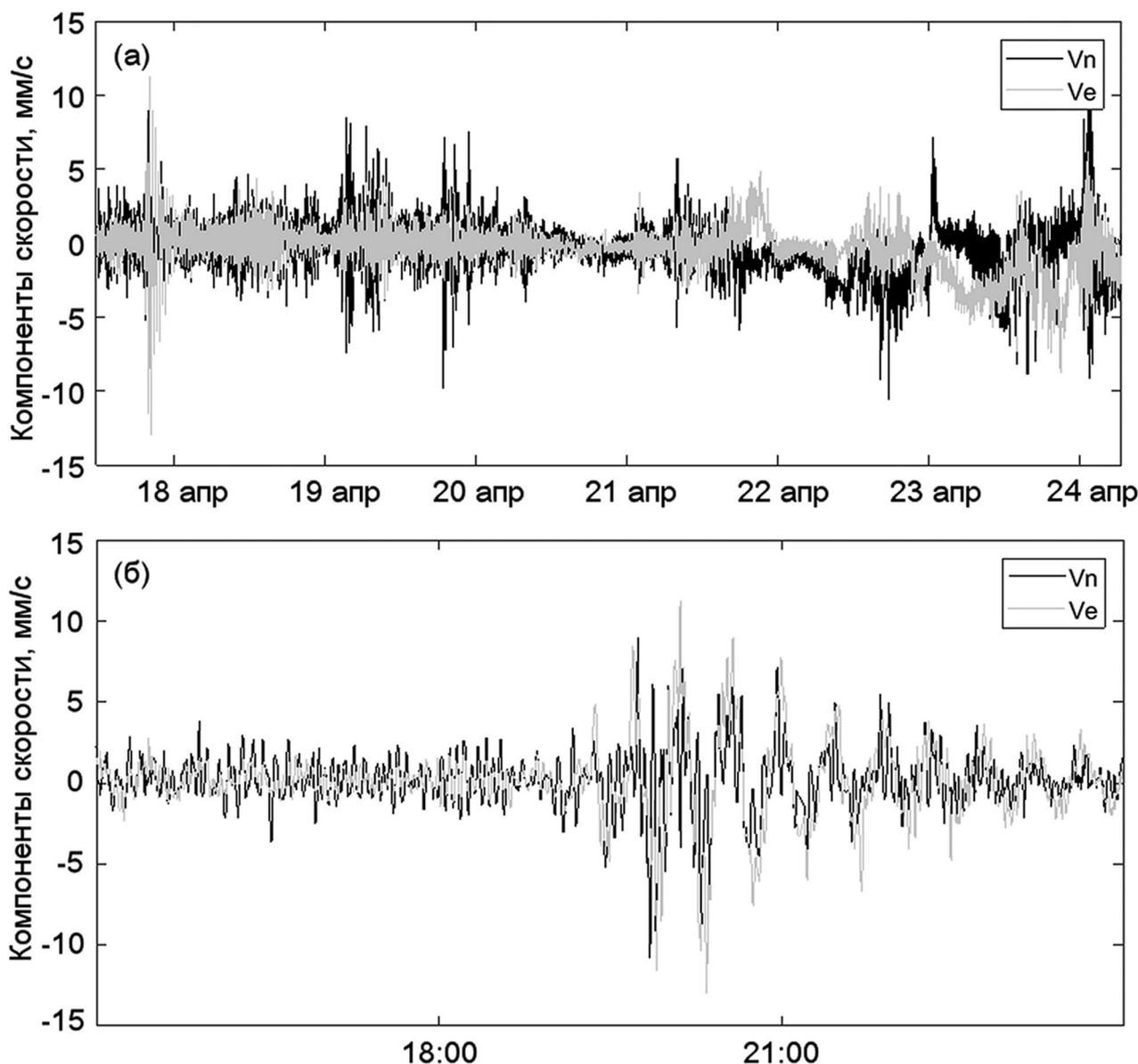


Рис. 2. Компоненты скорости течения, измеренные с помощью прибора DWCM на станции 3 разреза 4 на глубине 1,2 м (глубина станции 7,7 м): (а) 17–24 апреля 1995 г., (б) в период с 15.00 до 23.59 17 апреля 1995 г.

Fig. 2. Velocity components measured with the DWCM at station 3 of the 4th section at a depth of 1.2 m (the depth of the station is 7.7 m): (a) April 17–24, 1995, (b) from 15.00 to 23.59 April 17, 1995

по фазе между колебаниями льда и компонент течений. Как показано в работах [Malm et al., 1998; Петров и др., 2007], фазовый сдвиг между колебаниями течений и льда составляет около четверти периода, что согласуется с теорией сейш.

Совместный анализ данных по течениям и температуре воды в период развития весенней подледной конвекции (рис. 4) наглядно демонстрирует суточную изменчивость течений – интенсификацию в дневные часы на фоне роста температуры и заметное уменьшение амплитуды колебаний течений ночью.

Анализ вертикальной структуры течений. На рис. 5 в качестве примера приведены вертикальные профили средней скорости течения на трех станциях 4-го разреза, измеренные в декабре 1994 г. и марте 1995 г. Анализ вертикальных профилей позволяет заключить, что (1) максимальные скорости течений наблюдались на глубинах порядка 2–3 м на всех станциях измерений, (2) скорости течений в начале зимы (рис. 5, а) были заметно больше, чем в конце (рис. 5, б).

Таким образом, созданная база, содержащая обширный массив данных по течениям,

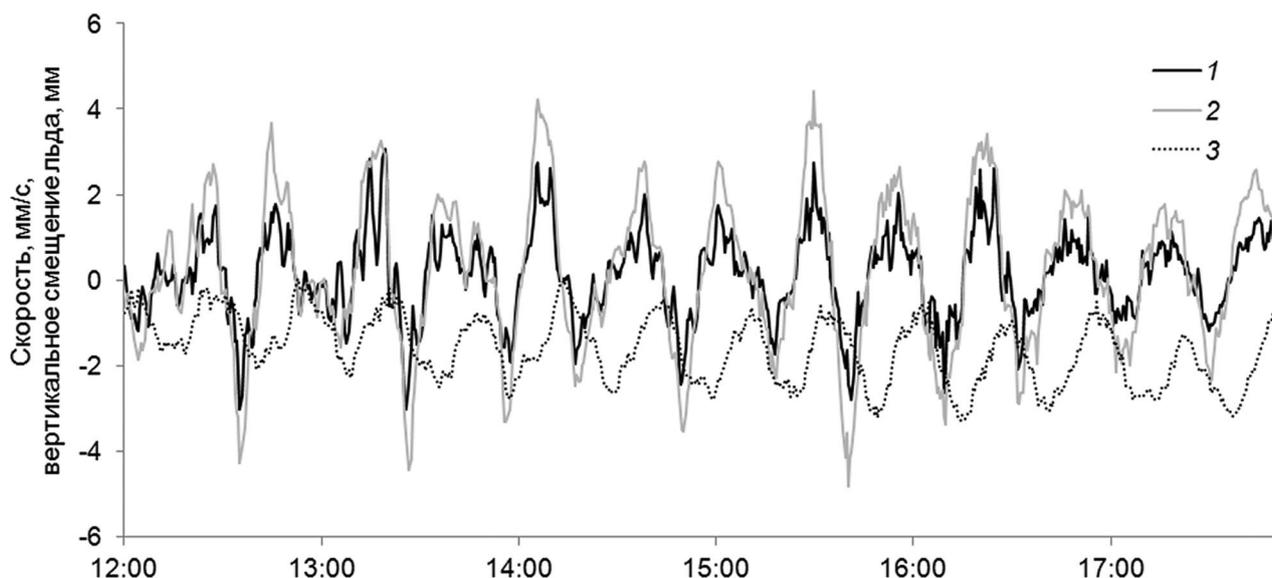


Рис. 3. Компоненты скорости течения и вертикальные смещения льда, измеренные на глубине 2 м на станции 3 разреза 6 (глубина станции 5 м) 23 марта 1995 г. с использованием приборов DWCM и Vertical ice displacement meter:

1 – северная компонента, 2 – восточная компонента, 3 – вертикальные смещения льда

Fig. 3. Velocity components and vertical ice displacement, measured at a depth of 2 m at station 3 of the 6th section (the station depth is 5 m) on March 23, 1995 using DWCM and Vertical ice displacement meter:

1 – Northern component, 2 – Eastern component, 3 – vertical displacement of ice

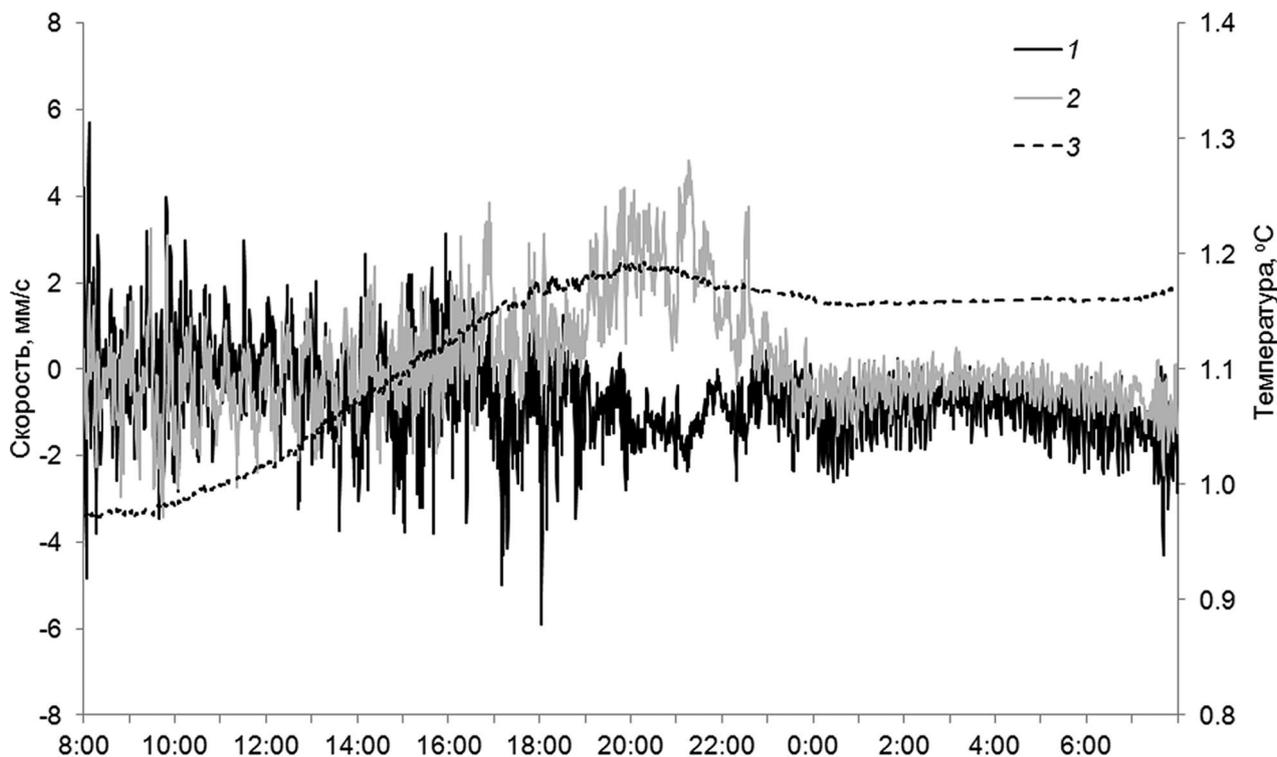


Рис. 4. Компоненты скорости течения и температура воды, измеренные на глубине 1,3 м на станции 3 разреза 4 21–22 апреля 1995 г. с использованием приборов DWCM и Hot thermistor current meter:

1 – северная компонента, 2 – восточная компонента, 3 – температура воды

Fig. 4. Velocity components and water temperature, measured at a depth of 1.3 m at station 3 of the 4th section, April 21–22, 1995 using DWCM and Hot thermistor current meter:

1 – Northern component, 2 – Eastern component, 3 – water temperature

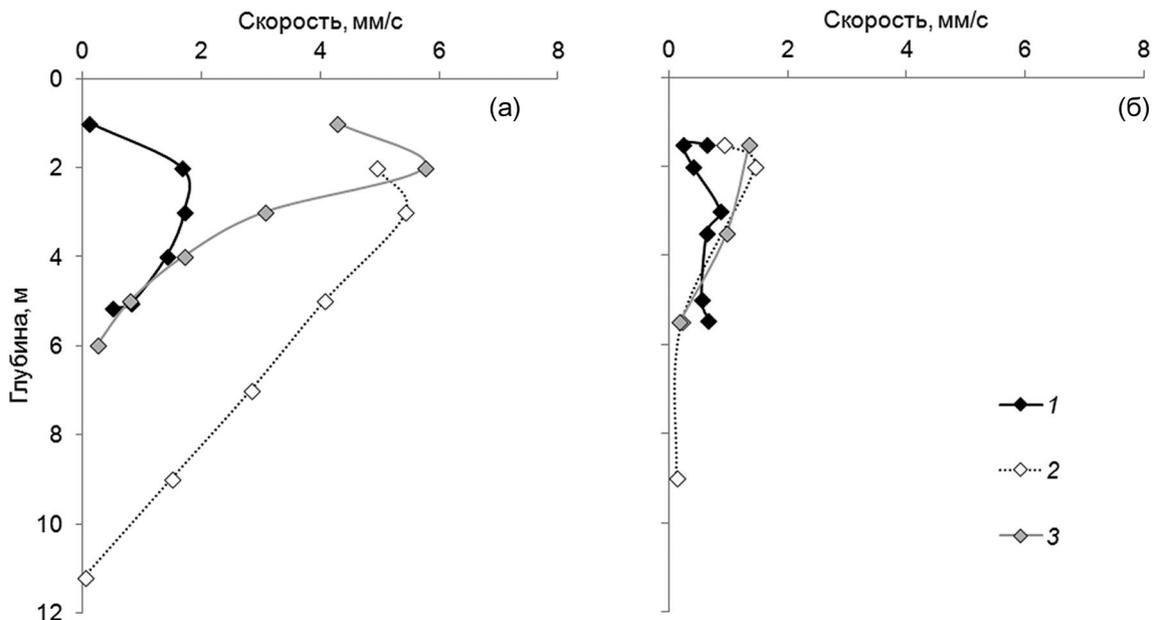


Рис. 5. Скорости течения, измеренные на станциях 4-го разреза (а) 21–24 декабря 1994 г., (б) 14–18 марта 1995 г.:

1 – станция 2, 2 – станция 9, 3 – станция 15

Fig. 5. Current velocities measured at the stations of the 4th section (a) December 21–24, 1994, (b) March 14–18, 1995:

1 – station 2, 2 – station 9, 3 – station 15

температуре воды и смещениям льда в небольшом озере, покрытом льдом, может быть использована широким кругом специалистов при изучении динамики озера в период зимней стагнации, весенней подледной конвекции, в моделях ледяного покрова, а также в учебных целях как наглядный материал в географических и гидрометеорологических вузах.

Финансовое обеспечение исследований осуществлялось из средств федерального бюджета на выполнение государственного задания КарНЦ РАН (Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН).

Литература

Бояринов П. М., Митрохов А. В., Пальшин Н. И., Петров М. П., Тержевик А. Ю., Филатов Н. Н. Динамика вод в малом озере в период ледостава // Гидроэкологические проблемы Карелии и использование водных ресурсов. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2003. С. 24–32.

Здоровеннов Р. Э., Здоровеннова Г. Э., Тержевик А. Ю. Межгодовая изменчивость снежно-ледового покрова озера Вендюрского // Актуальные проблемы экологии: тезисы докл. IV Межд. науч.-практ. конф. (Гродно, Беларусь, 27–29 октября 2010 г.). Гродно: ГрГУ, 2010. С. 229–231.

Здоровеннова Г. Э., Здоровеннов Р. Э., Пальшин Н. И., Ефремова Т. В., Гавриленко Г. Г., Бог-

данов С. Р., Тержевик А. Ю. Тепловой режим мелководного озера зимой // Труды КарНЦ РАН. 2016. № 5. С. 3–12. doi: 10.17076/lim314

Пальшин Н. И., Ефремова Т. В., Здоровеннов Р. Э., Здоровеннова Г. Э. Перенос тепла в малом озере в период ледостава // Труды КарНЦ РАН. 2016. № 9. С. 17–26. doi: 10.17076/lim355

Пальшин Н. И., Здоровеннова Г. Э., Богданов С. Р., Волков С. Ю., Гавриленко Г. Г., Ефремова Т. В., Здоровеннов Р. Э., Тержевик А. Ю. Геоэстрофические течения в малом озере подо льдом // Успехи современного естествознания. 2017. № 11. С. 89–94.

Петров М. П., Тержевик А. Ю., Пальшин Н. И., Здоровеннов Р. Э., Здоровеннова Г. Э. Поглощение солнечной радиации снежно-ледовым покровом // Водные ресурсы. 2005. Т. 32, № 5. С. 546–554.

Петров М. П., Тержевик А. Ю., Здоровеннов Р. Э., Здоровеннова Г. Э. Особенности термической структуры мелководного озера в начале зимы // Водные ресурсы. 2006. Т. 33, № 2. С. 154–162.

Петров М. П., Тержевик А. Ю., Здоровеннов Р. Э., Здоровеннова Г. Э. Движения воды в мелководном озере, покрытом льдом // Водные ресурсы. 2007. Т. 34, № 2. С. 131–140.

Тержевик А. Ю., Пальшин Н. И., Голосов С. Д., Здоровеннов Р. Э., Здоровеннова Г. Э., Митрохов А. В., Потахин М. С., Шипунова Е. А., Зверев И. С. Гидрофизические аспекты формирования кислородного режима мелководного озера, покрытого льдом // Водные ресурсы. 2010. Т. 37, № 5. С. 568–579.

Bengtsson L. Mixing in ice covered lakes // Hydrobiologia. 1996. Vol. 322. P. 91–97.

Bengtsson L., Malm J., Terzhevik A., Petrov M., Boyarinov P., Glinsky A., Palshin N. Field investigation of Winter thermo- and hydrodynamics in a small Karelian lake // *Limnology and Oceanography*. 1996. Vol. 41. P. 1502–1513.

Bouffard D., Zdorovenov R. E., Zdorovenova G. E., Pasche N., Wüest A., Terzhevik A. Y. Ice-covered Lake Onega: effects of radiation on convection and internal waves // *Hydrobiologia*. 2016. Vol. 780(1). P. 21–36. doi: 10.1007/s10750-016-2915-3

Farmer D. M. Penetrative convection in the absence of mean shear // *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.* 1975. Vol. 101. P. 869–891. doi: 10.1002/qj.49710143011

Forrest A. L., Laval B. E., Pieters R., Lim D. S. S. A cyclonic gyre in an ice-covered lake // *Limnology and Oceanography*. 2013. Vol. 58(1). P. 363–375. doi: 10.4319/lo.2013.58.1.0363

Glinsky A. Current meters for measurement of low-speed velocities in ice covered lakes // *Limnology and Oceanography*. 1998. Vol. 43. P. 1661–1668.

Kelley D. E. Convection in ice-covered lakes: effects on algal suspension // *J. Plankt. Res.* 1997. Vol. 19. P. 1859–1880.

Kirillin G., Leppäranta M., Terzhevik A., Granin N., Bernhardt J., Engelhardt Ch., Efremova T., Golosov S., Palshin N., Sherstyankin P., Zdorovenova G., Zdorovenov R. Physics of seasonally ice-covered lakes: a review // *Aquatic Sciences*. 2012. Vol. 74(4). P. 659–682. doi: 10.1007/s00027-012-0279-y

Kirillin G. B., Forrest A. L., Graves K. E., Fischer A., Engelhardt C., Laval B. E. Axisymmetric circulation driven by marginal heating in ice-covered lakes // *Geophysical Research Letters*. 2015. Vol. 42, no. 8. P. 2893–2900. doi: 10.1002/2014GL062180

Kouraev A. V., Zakharova E. A., Remy F., Kostianoy A. G., Shimaraev M. N., Hall N. M. J., Suknev A. Ya. Giant ice rings on lakes Baikal and Hovsgol: Inventory, associated water structure and potential formation mechanism // *Limnology and Oceanography*. 2016. Vol. 61(3). P. 1001–1014. doi: 10.1002/lno.10268

Malm J. Bottom buoyancy layer in an ice-covered lakes // *Water Resources Research*. 1998. Vol. 34, no. 11. P. 2981–2993.

Malm J., Terzhevik A., Bengtsson L., Boyarinov P., Glinsky A., Palshin N., Petrov M. A field study of Thermo- and Hydrodynamics in three Small Karelian Lakes during winter 1994/1995 / Department of Water Resources Engineering. Institute of Technology. University of Lund, 1996. No. 3197. 220 p.

Malm J., Terzhevik A., Bengtsson L., Boyarinov P., Glinsky A., Palshin N., Petrov M. Temperature and Hydrodynamics in Lake Vendurskoe during Winter 1995/1996 / Department of Water Resources Engineering, Institute of Technology. University of Lund, 1997. No. 3213. 203 p.

Malm J., Terzhevik A., Bengtsson L., Boyarinov P., Glinsky A., Palshin N., and Petrov M. A field study on currents in a shallow ice-covered lake // *Limnology and Oceanography*. 1998. Vol. 43. P. 1669–1679.

Rahm L. The Thermally Forced Circulation in a Small, Ice-Covered Lake // *Limnology and Oceanography*. 1985. Vol. 30. P. 1122–1128.

Rizk W., Kirillin G., Leppäranta M. Basin-scale circulation and heat fluxes in ice-covered lakes // *Limnology and Oceanography*. 2014. Vol. 59(2). P. 445–464. doi: 10.4319/lo.2014.59.02.0445

Zdorovenov R., Palshin N., Zdorovenova G., Efremova T., Terzhevik A. Interannual variability of ice and snow cover of a small shallow lake // *Est. J. Earth Sci.* 2013. Vol. 61(1). P. 26–32. doi: 10.3176/earth.2013.03

Zdorovenova G., Zdorovenov R., Palshin N., Terzhevik A. Optical properties of the ice cover on Vendyurskoe lake, Russian Karelia (1995–2012) // *Ann Glaciol.* 2013. Vol. 54(62). P. 121–124. doi: 10.3189/2013AoG62A179

Поступила в редакцию 27.04.2018

References

Boyarinov P. M., Mitrokhov A. V., Pal'shin N. I., Petrov M. P., Terzhevik A. Yu., Filatov N. N. Dinamika vod v malom ozere v period ledostava [Dynamics of water in a small lake during the freeze-up period]. *Gidroekol. probl. Karelii i ispol'zovanie vodn. resursov* [Hydroecol. probl. of Karelia and use of water resources]. Petrozavodsk: KarRC RAS, 2003. P. 24–32.

Pal'shin N. I., Efremova T. V., Zdorovenov R. E., Zdorovenova G. E. Perenos tepla v malom ozere v period ledostava [Heat transfer in an ice-covered small lake]. *Trudy KarNTs RAN* [Trans. KarRC RAS]. 2016. No. 9. P. 17–26. doi: 10.17076/lim355

Pal'shin N. I., Zdorovenova G. E., Bogdanov S. R., Volkov S. Yu., Gavrilenko G. G., Efremova T. V., Zdorovenov R. E., Terzhevik A. Yu. Geostroficheskie techeniya v malom ozere podo l'dom [Geostrophic currents in the small ice-covered lake]. *Uspekhi sovr. estestvoznaniya* [Advances in Current Nat. Sci.] 2017. No. 11. P. 89–94.

Petrov M. P., Terzhevik A. Yu., Pal'shin N. I., Zdorovenov R. E., Zdorovenova G. E. Absorption of solar

radiation by snow-and-ice cover of lakes. *Water Resources*. 2005. Vol. 32, no. 5. P. 496–504.

Petrov M. P., Terzhevik A. Yu., Zdorovenov R. E., Zdorovenova G. E. The thermal structure of a shallow lake in early winter. *Water Resources*. 2006. Vol. 33, no. 2. P. 135–143.

Petrov M. P., Terzhevik A. Yu., Zdorovenov R. E., Zdorovenova G. E. Motion of water in an ice-covered shallow lake. *Water Resources*. 2007. Vol. 34, no. 2. P. 113–122.

Terzhevik A. Yu., Pal'shin N. I., Zdorovenov R. E., Zdorovenova G. E., Mitrokhov A. V., Potakhin M. S., Golosov S. D., Shipunova E. A., Zverev I. S. Hydrophysical aspects of oxygen regime formation in a shallow ice-covered lake. *Water Resources*. 2010. Vol. 37, no. 5. P. 662–673.

Zdorovenov R. E., Zdorovenova G. E., Terzhevik A. Yu. Mezhhodovaya izmenchivost' snezhnoledovogo pokrova ozera Vendyurskogo [Interannual variability of the snow-ice cover of Lake Vendyurskoe]. *Aktual'nye probl. ekol.: tezisy dokl. IV Mezhdunar.*

nauch.-prakt. konf. (Grodno, Belarus', 27–29 oktyabrya 2010 g.) [Topical probl. of ecol.: Proceed. IV Int. Scientific-Practical. Conf. (Grodno, Belarus, Oct. 27–29, 2010)]. Grodno: GrGU, 2010. P. 229–231.

Zdorovennova G. E., Zdorovennov R. E., Palshin N. I., Efremova T. V., Gavrilenko G. G., Bogdanov S. R., Terzhevik A. Yu. Teplovoi rezhim melkovodnogo ozera zimoi [Thermal regime of a shallow lake in winter]. *Trudy KarNTs RAN* [Trans. KarRC RAS]. 2016. No. 5. P. 3–12. doi: 10.17076/lim314

Bengtsson L. Mixing in ice covered lakes. *Hydrobiologia*. 1996. Vol. 322. P. 91–97.

Bengtsson L., Malm J., Terzhevik A., Petrov M., Boyarinov P., Glinsky A., Palshin N. Field investigation of Winter thermo- and hydrodynamics in a small Karelian lake. *Limnol. Oceanogr.* 1996. Vol. 41. P. 1502–1513.

Bouffard D., Zdorovennov R. E., Zdorovennova G. E., Pasche N., Wüest A., Terzhevik A. Y. Ice-covered Lake Onega: effects of radiation on convection and internal waves. *Hydrobiologia*. 2016. Vol. 780(1). P. 21–36. doi: 10.1007/s10750-016-2915-3

Farmer D. M. Penetrative convection in the absence of mean shear. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.* 1975. Vol. 101. P. 869–891. doi: 10.1002/qj.49710143011

Forrest A. L., Laval B. E., Pieters R., Lim D. S. S. A cyclonic gyre in an ice-covered lake. *Limnology and Oceanography*. 2013. Vol. 58(1). P. 363–375. doi: 10.4319/lo.2013.58.1.0363

Glinsky A. Current meters for measurement of low-speed velocities in ice-covered lakes. *Limnology and Oceanography*. 1998. Vol. 43. P. 1661–1668.

Kelley D. E. Convection in ice-covered lakes: effects on algal suspension. *J. Plankt. Res.* 1997. Vol. 19. P. 1859–1880.

Kirillin G., Leppäranta M., Terzhevik A., Granin N., Bernhardt J., Engelhardt C., Efremova T., Golosov S., Palshin N., Sherstyankin P., Zdorovennova G., Zdorovennov R. Physics of seasonally ice-covered lakes: a review. *Aquatic Sciences*. 2012. Vol. 74(4). P. 659–682. doi: 10.1007/s00027-012-0279-y

Kirillin G. B., Forrest A. L., Graves K. E., Fischer A., Engelhardt C., Laval B. E. Axisymmetric circulation driven by marginal heating in ice-covered lakes. *Geophys-*

cal Research Letters. 2015. Vol. 42, iss. 8. P. 2893–2900. doi: 10.1002/2014GL062180

Kouraev A. V., Zakharova E. A., Remy F., Kostianoy A. G., Shimaraev M. N., Hall N. M. J., Suknev A. Yu. Giant ice rings on lakes Baikal and Hovsgol: Inventory, associated water structure and potential formation mechanism. *Limnology and Oceanography*. 2016. Vol. 61(3). P. 1001–1014. doi: 10.1002/lno.10268

Malm J. Bottom buoyancy layer in an ice-covered lakes. *Water Resources Research*. 1998. Vol. 34, no. 11. P. 2981–2993.

Malm J., Terzhevik A., Bengtsson L., Boyarinov P., Glinsky A., Palshin N., Petrov M. A field study of Thermo- and Hydrodynamics in three Small Karelian Lakes during winter 1994/1995 / Department of Water Resources Engineering, Institute of Technology, University of Lund. 1996. No. 3197. 220 p.

Malm J., Terzhevik A., Bengtsson L., Boyarinov P., Glinsky A., Palshin N., Petrov M. Temperature and Hydrodynamics in Lake Vendurskoe during Winter 1995/1996 / Department of Water Resources Engineering, Institute of Technology, University of Lund. 1997. No. 3213. 203 p.

Malm J., Terzhevik A., Bengtsson L., Boyarinov P., Glinsky A., Palshin N., Petrov M. A field study on currents in a shallow ice-covered lake. *Limnology and Oceanography*. 1998. Vol. 43. P. 1669–1679.

Rahm L. The Thermally Forced Circulation in a Small, Ice-Covered Lake. *Limnology and Oceanography*. 1985. Vol. 30. P. 1122–1128.

Rizk W., Kirillin G., Leppäranta M. Basin-scale circulation and heat fluxes in ice-covered lakes. *Limnology and Oceanography*. 2014. Vol. 59(2). P. 445–464.

Zdorovennov R., Palshin N., Zdorovennova G., Efremova T., Terzhevik A. Interannual variability of ice and snow cover of a small shallow lake. *Est. J. Earth Sci.* 2013. Vol. 61, no. 1. P. 26–32. doi: 10.3176/earth.2013.03

Zdorovennova G., Zdorovennov R., Palshin N., Terzhevik A. Optical properties of the ice cover on Vendurskoe lake, Russian Karelia (1995–2012). *Ann. Glaciol.* Vol. 54(62). 2013. P. 121–124. doi: 10.3189/2013AoG62A179

Received April 27, 2018

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Здоровеннов Роман Эдуардович

старший научный сотрудник лаб. гидрофизики, к. г. н. Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН, Федеральный исследовательский центр «Карельский научный центр РАН» пр. А. Невского, 50, Петрозаводск, Республика Карелия, Россия, 185030
эл. почта: romga74@gmail.com
тел.: (8142) 576381, +79212209438

CONTRIBUTORS:

Zdorovennov, Roman

Northern Water Problems Institute, Karelian Research Centre, Russian Academy of Sciences
50 Al. Nevsky St., 185030 Petrozavodsk, Karelia, Russia
e-mail: romga74@gmail.com
tel.: (8142) 576381, +79212209438

Пальшин Николай Иннокентьевич

старший научный сотрудник лаб. гидрофизики, к. г. н.
Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН,
Федеральный исследовательский центр «Карельский
научный центр РАН»
пр. А. Невского, 50, Петрозаводск, Республика Карелия,
Россия, 185030
эл. почта: npalshin@mail.ru
тел.: (8142) 576381

Здоровеннова Галина Эдуардовна

заведующая лаб. гидрофизики, к. г. н.
Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН,
Федеральный исследовательский центр «Карельский
научный центр РАН»
пр. А. Невского, 50, Петрозаводск, Республика Карелия,
Россия, 185030
эл. почта: zdorovennova@gmail.com
тел.: (8142) 576381, +79116660369

Митрохов Андрей Васильевич

главный гидролог лаборатории гидрофизики
Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН,
Федеральный исследовательский центр «Карельский
научный центр РАН»
пр. А. Невского, 50, Петрозаводск, Республика Карелия,
Россия, 185030
эл. почта: romga74@gmail.com
тел.: (8142) 576381

Терзевик Аркадий Юрьевич

ведущий научный сотрудник лаб. гидрофизики, к. т. н.
Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН,
Федеральный исследовательский центр «Карельский
научный центр РАН»
пр. А. Невского, 50, Петрозаводск, Республика Карелия,
Россия, 185030
эл. почта: ark1948@list.ru
тел.: (8142) 576381, +79217267356

Palshin, Nikolai

Northern Water Problems Institute, Karelian Research Centre,
Russian Academy of Sciences
50 Al. Nevsky St., 185030 Petrozavodsk, Karelia, Russia
e-mail: npalshin@mail.ru
tel.: (8142) 576381

Zdorovennova, Galina

Northern Water Problems Institute, Karelian Research Centre,
Russian Academy of Sciences
50 Al. Nevsky St., 185030 Petrozavodsk, Karelia, Russia
e-mail: zdorovennova@gmail.com
tel.: (8142) 576381, +79116660369

Mitrokhov, Andrey

Northern Water Problems Institute, Karelian Research Centre,
Russian Academy of Sciences
50 Al. Nevsky St., 185030 Petrozavodsk, Karelia, Russia
e-mail: romga74@gmail.com
tel.: (8142) 576381

Terzhevik, Arkady

Northern Water Problems Institute, Karelian Research Centre,
Russian Academy of Sciences
50 Al. Nevsky St., 185030 Petrozavodsk, Karelia, Russia
e-mail: ark1948@list.ru
tel.: (8142) 576381, +79217267356

ГИДРОХИМИЯ И ДОННЫЕ ОТЛОЖЕНИЯ

УДК 556.531.4:553.31

ИЗМЕНЕНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД В РАЙОНЕ КОРПАНГСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЖЕЛЕЗНЫХ РУД

Н. Е. Галахина, П. А. Лозовик

*Институт водных проблем Севера Карельского научного центра РАН, ФИЦ КарНЦ РАН,
Петрозаводск, Россия*

Рассмотрено изменение химического состава поверхностных вод, испытывающих влияние разрабатываемого Корпангского месторождения железных руд Костомукшского горно-обогатительного комбината. Установлено, что загрязнение водных объектов, находящихся в зоне его воздействия, происходит более быстрыми темпами по сравнению с Костомукшским месторождением. Отмечается тренд роста минерализации и содержания K^+ , SO_4^{2-} , NO_3^- , Li и Ni в поверхностных водах. Дана оценка загрязненности водных объектов на основе общероссийских и региональных ПДК.

Ключевые слова: антропогенное воздействие; горнодобывающая промышленность; водные объекты; загрязнение; техногенные воды.

N. E. Galakhina, P. A. Lozovik. CHANGES IN SURFACE WATER CHEMICAL COMPOSITION AT KORPANGSKOYE IRON ORE DEPOSIT

The article describes the changes in the chemical composition of surface waters under the impact of the exploited Korpangskoye iron ore deposit of the Kostomuksha mining and processing plant. The rate of contamination of the water bodies within its impact zone was found to be higher than at the Kostomukshskoye iron ore deposit. There has been a growing trend in mineralization and the content of K^+ , SO_4^{2-} , NO_3^- , Li and Ni in the surface waters. Contamination of the water bodies was assessed against national and regional maximum permissible concentrations.

Keywords: human impact; mining industry; water bodies; pollution; technogenic waters.

Введение

Горнодобывающая железорудная промышленность является одной из ведущих отраслей в Российской Федерации. Для нее характерно существенное влияние на окружающую среду

в связи с добычей полезных ископаемых, складированием вскрышных пород, проведением буровзрывных работ, созданием хвостохранилищ и наличием техногенных вод. В европейской части России крупными горно-обогатительными комбинатами (ГОК) являются Оле-

негорский, Ковдорский (Мурманская область), Михайловский (Курская область), Лебединский (Белгородская область) и Костомукшский (Карелия) [Калабин и др., 2002]. Ранее [Кулакова, Лозовик, 2012б] было подробно рассмотрено влияние Костомукшского ГОКа на водные объекты системы р. Кенти, в которую поступают техногенные воды комбината, деятельность которого связана с добычей и переработкой железистых кварцитов Костомукшского и Корпангского месторождений в железорудные окатыши. Цель данной работы заключалась в оценке воздействия Корпангского месторождения, разрабатываемого с 2007 г., на водные объекты, находящиеся в зоне его влияния.

Объекты и методы исследований

Для оценки влияния Корпангского месторождения на водную среду проводились наблюдения на водных объектах трех озерно-речных систем: Корпангийоки (бассейн оз. Среднее Куйто), Ливойоки и Тохтуринйоки (бассейн оз. Верхнее Куйто), расположенных на севере Республики Карелия (рис. 1). В табл. 1 приведены гидрологические характеристики этих систем. Значения длины рек и площади их водосборов взяты из [Гидрологическая..., 1965]. Расходные характеристики определены расчетным путем методом аналогии с использованием карт средне-многолетнего стока [Филатов и др., 2016].

В основу работы положены многолетние гидрохимические материалы (2007–2015 гг.), собранные в результате исследований водоемов района Костомукши. Химические анализы воды выполнялись по аттестованным методикам [Аналитические..., 2017; Руководство..., 2009, 2012] в лаборатории гидрохимии и гидрологии ИВПС КарНЦ РАН, аккредитованной в системе аккредитации аналитических лабораторий России. Достоверность химических анализов проверялась внутренним и внешним контролем. Последний осуществлялся в рамках международного проекта ICP-Waters [Intercomparison, 2015] и внутрироссийского проекта «Межлабораторное сличение результатов анализа органического вещества и биогенных элементов в природных водах» [Лозовик, 2015], проведенного лабораторией в 2015 г.

Оценку загрязненности вод проводили путем расчета индекса загрязнения воды (ИЗВ) с использованием общероссийских предельно допустимых концентраций (ПДК) для рыбохозяйственных водоемов, в соответствии с методическими рекомендациями [Временные..., 1986], и регионального индекса загрязненности воды (РИЗВ) с учетом региональных ПДК

Таблица 1. Гидрологические показатели речных систем Корпангийоки, Ливойоки и Тохтуринйоки

Table 1. Hydrologic indexes of the river systems Korpangiyoki, Livoyoki and Tokhturinyoki

Река River	L, км km	F _{в.с.} ¹ км ² km ²	W _{ст.} ¹ км ³ km ³	M, л/ сек·км ² l/sec·km ²	Q, м ³ /сек m ³ /sec
Корпангийоки Korpangiyoki	13	83,3	0,026	10,0	0,83
Ливойоки Livoyoki	78	714	0,29	13,0	9,28
Тохтуринйоки Tokhturinyoki	20	123	0,048	12,5	1,54

(РПДК): $РИЗВ = \frac{1}{n} \sum \frac{C_i}{РПДК_i}$. В РПДК учитывается не только ПДК, но и региональный геохимический фон элементов [Лозовик, Платонов, 2005]. В качестве ПДК элементов использовались следующие значения: K^+ – 50 мг/л, SO_4^{2-} – 100 мг/л, NO_3^- – 9,1 мгН/л, NH_4^+ – 0,5 мгН/л, Li – 80 мкг/л, Ni – 10 мкг/л [ГН 2.1.5.1315–03].

РПДК рассчитывались как среднегеометрическое значение ПДК элемента и его фоновой концентрации, и их величины для вышеуказанных веществ составляют: K^+ – 5 мг/л, SO_4^{2-} – 16 мг/л, NO_3^- – 0,3 мгН/л, NH_4^+ – 0,1 мгН/л, Li – 6,3 мкг/л, Ni – 2,2 мкг/л. Ранее [Лозовик, Кулакова, 2014] было обосновано, что расчет ИЗВ водных объектов в зоне действия предприятий железорудной промышленности целесообразнее проводить с учетом приоритетных показателей, отражающих загрязненность воды. В нашем случае к ним относятся: K^+ , SO_4^{2-} , NO_3^- , Li, Ni. Оценку загрязненности водных объектов в районе Корпангского месторождения по ИЗВ и РИЗВ проводили с использованием данных 2015 г., поскольку они отличались наибольшими значениями.

Дополнительно выполнялись вычисления комбинаторного индекса загрязненности воды (КИЗВ) и удельного комбинаторного индекса загрязненности воды (УКИЗВ), а также определялись критические показатели загрязненности воды (КПЗ), алгоритм расчета которых предложен в [РД 52.24.643–2002]. Расчет комбинаторных индексов проводился с учетом как ПДК, так и РПДК с использованием данных по содержанию O_2 , NH_4^+ , NO_2^- , NO_3^- , K^+ , SO_4^{2-} , Ca^{2+} , Cl⁻, Mg^{2+} , Na⁺, Ni, Fe_{общ}, Mn, Li, Cu и величине БПК₅, полученных в результате ежегодных зимних наблюдений за период 2011–2015 гг.

Химический состав рудничных вод западного карьера Корпангского месторождения

Рудничные воды Корпангского месторождения с 2013 г. поступают в основном в р. Кор-



Рис. 1. Карта-схема водных объектов района Костомукши: 1 – ручей Безымянный, 2 – р. Корпангийоки (исток), 3 – р. Корпангийоки (нижнее течение), 4 – р. Корпангийоки (устье), 5 – р. Толлойоки, 6 – протока В. Пиенжунги – Н. Пиенжунги, 7 – р. Тохтуринйоки, 8 – р. Ливо (ниже оз. Полвиярви), 9 – р. Ливо (выше оз. Полвиярви), 10 – р. Полвиярвийоки

Fig. 1. Schematic map of the water bodies in Kostomuksha district: 1 – Unnamed stream, 2 – River Korpangiyoki (headstream), 3 – River Korpangiyoki (downstream), 4 – River Korpangiyoki (river outlet), 5 – River Tolloyoki, 6 – Channel Verkhni Pienzhungi – Nizhni Pienzhungi, 7 – River Tokhturinyoki, 8 – River Livo (downstream from Lake Polviyarvi), 9 – River Livo (upstream from Lake Polviyarvi), 10 – River Polviyarviyoki

пангийоки и частично в р. Ливойоки. Их общий объем составляет около 11 млн м³ в год. Они существенно отличаются от рудничных вод Костомукшского месторождения. Их главная особенность – ионный состав: среди анионов

доминируют Cl⁻, SO₄²⁻, NO₃⁻ (по данным 2015 г.), что является отражением как техногенного влияния (наличие NO₃⁻), так и природных особенностей подземных вод, поступающих в карьер. В многолетнем плане в составе рудничной

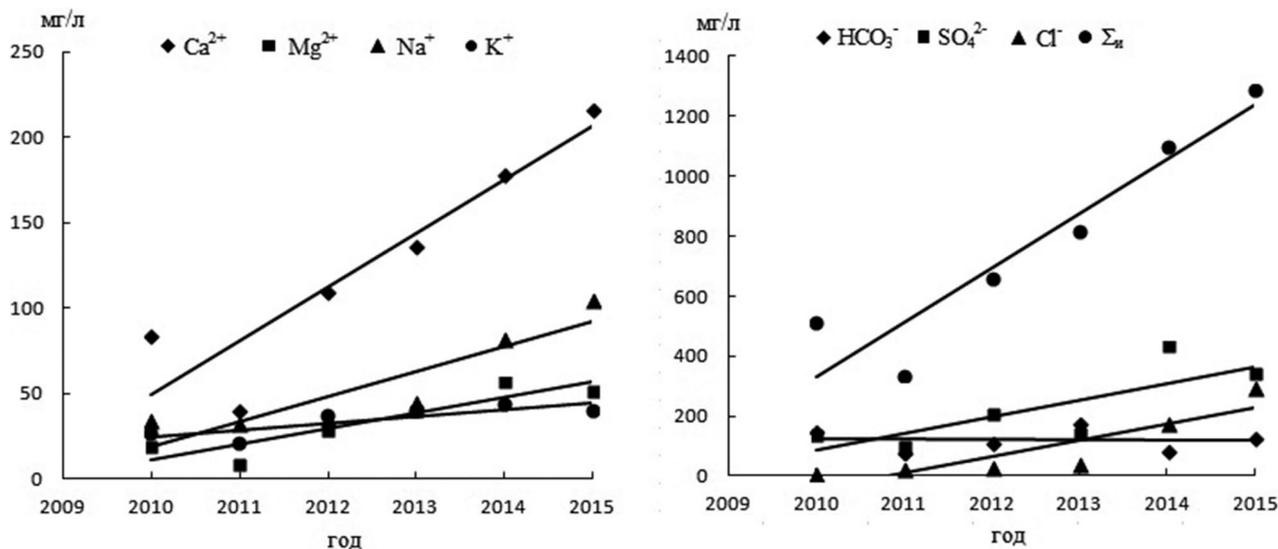


Рис. 2. Изменение минерализации и ионного состава рудничной воды западного карьера Корпангского месторождения

Fig. 2. Change of mineralization and ionic composition of the mine water at the Western open-pit mine of the Korpangskoye deposit

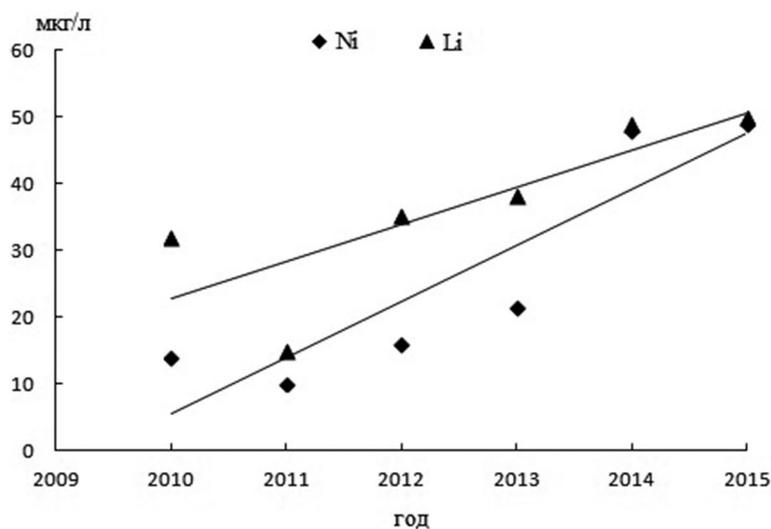


Рис. 3. Динамика содержания Ni и Li в рудничной воде западного карьера Корпангского месторождения

Fig. 3. Dynamics of the Ni and Li content in the mine water at the Western open-pit mine of the Korpangskoye deposit

воды наблюдается тренд роста минерализации ($\Sigma_{и}$) воды и всех главных ионов, за исключением гидрокарбонатов, концентрация которых постепенно снижается (рис. 2), что было характерно и для хвостохранилища Костомукшского ГОКа [Лозовик, Галахина, 2017].

Второй отличительной особенностью рудничных вод западного карьера является высокое содержание азотсодержащих веществ, особенно нитратов (до 92 мгN/л) и аммония (до 54 мгN/л).

В микроэлементном составе отмечается высокая концентрация Ni и Li, имеющая тенденцию роста за многолетний период (рис. 3).

В рудничной воде западного карьера наблюдается низкая концентрация органического вещества (ОВ) (цветность (ЦВ) – 6,5 град., перманганатная окисляемость (ПО) – 2,6 мгO₂/л, биохимическое потребление кислорода (БПК₅) – 1,2 мгO₂/л), что характерно для всех типов техногенных вод Костомукшского ГОКа.

Таблица 2. Некоторые показатели химического состава поверхностных вод Корпангского месторождения (май 2007 г.)

Table 2. Some indicators of the chemical composition of the surface waters of the Korpangskoye deposit (May 2007)

Объект Water body	K ⁺	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Σ _и	pH	ЦВ, град. Colour, grad.	ПО, мгО/л COD _{Mn} , mgO/l	БПК ₅ , мгО ₂ /л BOD ₅ , mgO ₂ /l	NO ₃ ⁻	N _{орг} N _{org}
	мг/л mg/l								мгN/л mgN/l	
Система р. Корпангийоки Korpangiyoki river system										
Р. Корпангийоки (исток) River Korpangiyoki (headstream)	0,6	2,9	5,2	12,4	6,5	40	9,4	1,0	<0,01	0,18
Ручей из ламбы (приемник рудничных вод) Stream out of the pool (a mine water sink)	0,9	2,1	5,5	12,0	6,5	55	14,2	1,0	0,14	0,13
Р. Корпангийоки (нижнее течение) River Korpangiyoki (downstream)	2,0	4,8	3,8	14,8	6,4	52	11,7	1,4	0,01	0,30
Система р. Ливо Livo river system										
Оз. Полвиярви (р. Полвиярвийоки) Lake Polviyarvi (River Polviyarviyoki)	3,8	30	9,2	57,8	6,7	80	12,3	0,9	0,81	0,71
Р. Ливо (ниже оз. Полвиярви) River Livo (downstream from Lake Polviyarvi)	1,1	8,0	4,2	19,9	6,3	80	14,3	3,7	0,04	0,58
Оз. Ливоярви (р. Толлойоки) Lake Livoyarvi (River Tolloyoki)	1,1	8,9	4,2	20,3	6,4	60	14,3	1,7	0,02	0,38
Система р. Тохтуринйоки Tokhturinyoki river system										
Р. Тохтуринйоки River Tokhturinyoki	0,3	2,5	4,8	11,5	6,1	80	16,8	1,0	<0,01	0,38
Протока Верхние Пиенжунги – Нижние Пиенжунги Channel Verkhni Pienzhungi – Nizhni Pienzhungi	0,5	1,7	5,7	12,1	6,5	60	14,7	1,9	<0,01	0,54

Химический состав водных объектов Корпангского месторождения железных руд до его эксплуатации

До начала разработки Корпангского месторождения была проведена гидрохимическая съемка водных объектов в этом районе и получены фоновые характеристики воды.

Все водные объекты Корпангского месторождения, за исключением р. Полвиярвийоки, имели очень низкую минерализацию (11–20 мг/л), невысокую щелочность воды (4,2–9,2 мгHCO₃/л) и слабокислую реакцию среды (pH 6,1–6,7) (табл. 2).

По этим показателям часть объектов относятся к среднещелочным слабокисло-нейтральным, а часть – к слабощелочным слабокислым. Фактически они все располагаются на границе двух классов вод: средне- и слабощелочных. Такая картина характерна для многих объектов Костомукшского заповедника и Калевальского района [Поверхностные..., 2001]. По преобладающим ионам по классификации О. А. Алекина [1970] выделяются две группы объектов: гидрокарбонатного класса группы кальция и сульфатного класса группы кальция. Последняя группа обусловлена антропогенным влиянием – поступлением техноген-

ных вод с промплощадки, что подтверждается также высоким содержанием сульфатов в воде рек Полвиярвиюки (30 мг/л) и Ливо (8 мг/л). Указанный уровень концентраций в этих объектах не наблюдается в природных водах района Костомукши.

Органическое вещество в исследованных водных объектах было представлено в основном стойким к биохимическому окислению ОВ гумусовой природы. Косвенные показатели содержания ОВ колеблются в следующих пределах: ЦВ – 40–80 град., ПО – 9,4–16,8 мгО/л, БПК₅ – 0,9–1,9 мгО₂/л (табл. 2). По этим показателям с учетом содержания Fe_{общ} объекты Корпангского месторождения относятся к мезо-, мезополигумусному классу вод, типичному не только для района Костомукши, но и для всего Карельского гидрографического района.

Концентрация фосфора общего изменялась в пределах 12–29 мкг/л и соответствовала большей частью уровню мезотрофных водоемов средней продуктивности. Концентрация аммония во всех объектах, за исключением р. Ливо, отвечала природным фоновым значениям (0,01–0,08 мгN/л). Повышенное содержание NH₄⁺ в водах р. Ливо (0,23 мгN/л) с учетом высоких величин БПК₅ (3,7 мгО₂/л) свидетельствует о слабом хозяйственно-бытовом загрязнении ее воды. Что касается нитритов, то их содержание очень низкое (< 5 мкгN/л). Концентрация нитратов в большинстве объектов находилась на уровне чувствительности метода их определения (< 0,01–0,04 мгN/л), и только в двух объектах (ручье из ламбы и оз. Полвиярви) она намного выше (табл. 2). Повышенное количество нитратов в ламбе на фоне низкого содержания N_{орг} по сравнению с другими объектами связано с атмосферным питанием этого водоема. В атмосферных осадках всегда больше нитратов, чем N_{орг}. Так, среднее содержание NO₃⁻ в снеговых водах для северных регионов составляет 0,19 мгN/л, N_{орг} – 0,08 мг/л [Лозовик, Потапова, 2006]. Что касается оз. Полвиярви, то в нем повышенное содержание NO₃⁻ связано с проведением взрывных работ в ходе обустройства карьера. Содержание N_{орг} во всех объектах находится на уровне региональных величин (0,13–0,71 мг/л). В целом в водных объектах Корпангского месторождения наблюдалось два вида распределения форм азота:

N _{орг}	>>	N-NH ₄ ⁺	>	N-NO ₃ ⁻	>>	N-NO ₂ ⁻
0,5		0,03		0,01		0,001

и

N-NO ₃ ⁻	>	N _{орг}	>>	N-NH ₄ ⁺	>>	N-NO ₂ ⁻
0,8		0,7		0,05		0,005.

Первое является типичным для поверхностных вод гумидной зоны, второе – для водных объектов с атмосферным питанием, что наблюдалось в ламбе, или подверженных антропогенному влиянию, как это имело место в оз. Полвиярви.

Содержание кислорода во всех объектах, кроме р. Тохтуринйоки, было на уровне 73–87 % насыщения. Слабый дефицит кислорода очень часто наблюдается во многих гумусных водоемах региона. Наименьшее содержание кислорода было отмечено в воде р. Тохтуринйоки (4,7 мг/л, 43 % насыщения) при наибольшем количестве углекислого газа (14,5 мг/л) по сравнению с другими объектами, в которых кислотность изменялась в пределах 4,2–7,8 мгСО₂/л. В этой же реке наблюдалось и наименьшее содержание взвешенных веществ (1,4 мг/л) против остальных (2,0–4,3 мг/л). Повышенная кислотность воды, низкое содержание О₂ и взвешенных веществ, по-видимому, связаны с поступлением подземных вод в р. Тохтуринйоки.

Содержание литофильных элементов в обследованных водных объектах в рассматриваемый период было типичным для поверхностных вод региона: Fe (0,2–0,6 мг/л), Si (2,3–3,0 мг/л), Mn (21–52 мкг/л) (табл. 3). Водные объекты Корпангского месторождения характеризовались низким содержанием тяжелых металлов (Cu – 0,2–1,4 мкг/л, Ni – 0,2–0,9, Pb – <0,05–0,4 мкг/л) и лития (< 0,1–4 мкг/л, медиана 0,4 мкг/л) (табл. 3). Указанные значения для Li, Ni и Pb в большинстве проб существенно ниже ПДК и находятся на уровне региональных фоновых величин.

Таким образом, проведенные исследования водных объектов в районе Корпангского месторождения позволили установить фоновые характеристики вод до его эксплуатации: K⁺ – 0,8 мг/л, SO₄²⁻ – 2,3 мг/л, NH₄⁺ – 0,03 мгN/л, NO₃⁻ – 0,02 мгN/л, N_{орг} – 0,3 мг/л, Mn – 35 мкг/л, Fe – 0,43 мг/л, взвешенное вещество – 2,6 мг/л. Указанные выше параметры согласуются с аналогичными показателями для других водных объектов района Костомукши [Поверхностные..., 2001].

Изменение химического состава поверхностных вод в районе Корпангского месторождения в результате его эксплуатации

В результате разработки Корпангского месторождения техногенное влияние затронуло все исследуемые озерно-речные системы, но наиболее сильно оно проявляется в ручье

Таблица 3. Литофильные элементы и тяжелые металлы в водных объектах Корпангского месторождения (май 2007 г.)

Table 3. Lithophilic elements and heavy metals in the water bodies of the Korpangskoje deposit (May 2007)

Объект Water body	Fe	Mn	Si	Li	Ni	Pb	Cu
	мг/л mg/l			мкг/л µg/l			
Система р. Корпангийоки Korpangiyoki river system							
Р. Корпангийоки (исток) River Korpangiyoki (headstream)	0,22	0,05	2,3	0,6	0,7	0,40	0,9
Ручей из ламбы (приемник рудничных вод) Stream out of the pool (a mine water sink)	0,51	0,03	2,5	0,1	0,2	0,30	0,6
Р. Корпангийоки (нижнее течение) River Korpangiyoki (downstream)	0,41	0,04	2,3	<0,1	0,4	0,10	0,7
Система р. Ливо Livo river system							
Оз. Полвиярви (р. Полвиярвийоки) Lake Polviyarvi (River Polviyarviyoki)	0,33	0,03	2,6	4	0,4	<0,05	0,2
Р. Ливо (ниже оз. Полвиярви) River Livo (downstream from Lake Polviyarvi)	0,57	0,03	2,3	0,4	0,9	0,40	1,4
Оз. Ливоарви (р. Толлойоки) Lake Livoyarvi (River Tolloyoki)	0,53	0,05	2,4	<0,1	1,0	0,05	0,4
Система р. Тохтуринйоки Tokhturinyoki river system							
Р. Тохтуринйоки River Tokhturinyoki	0,46	0,02	2,5	<0,1	0,2	<0,05	0,9
Протока Верхние Пиенжунги – Нижние Пиенжунги Channel Verkhni Pienzhungi – Nizhni Pienzhungi	0,43	0,03	3,0	<0,1	0,2	0,30	0,2

Безымянном, принимающем рудничные воды из западного карьера (табл. 4).

В верхней части ручья состав воды близок к составу рудничных вод этого карьера. $\Sigma_{\text{и}}$ достигает 1230 мг/л, среди анионов, как и по всему ручью, доминируют SO_4^{2-} , NO_3^- и Cl^- , а в составе катионов – Ca^{2+} . Высокая в этих водах и эквивалентная доля NH_4^+ . Именно наличие в водах ручья NH_4^+ и NO_3^- в больших количествах свидетельствует о формировании в ручье техногенно измененных вод, близких по генезису к рудничным. Поступление вод ручья в р. Корпангийоки привело к загрязнению ее нижнего участка, вода которого соответствует нитратно-кальциевому типу с высокой долей SO_4^{2-} и Cl^- . Даже в истоке реки из оз. Корпанги отмечено изменение ионного состава воды: из гидрокарбонатной кальциевой она превратилась в нитратно-гидрокарбонатную кальциевую.

Достаточно сильное минеральное загрязнение отмечается по системе р. Ливо, особенно оно проявляется в р. Полвиярвийоки. В воде реки наблюдаются тренды роста мине-

рализации и всех ионов, за исключением HCO_3^- (рис. 4). Такая картина характерна и для системы р. Кенти, в которую поступают техногенные воды Костомукшского ГОКа [Лозовик, Кулакова, 2017]. В ионном составе преобладают Ca^{2+} и SO_4^{2-} , наличие последних указывает на техногенное влияние. Подвержена антропогенному воздействию, но в меньшей степени, и система р. Тохтуринйоки, что подтверждается появлением в ионном составе ее воды нитратов.

Следует отметить, что загрязнение водных объектов района Корпангского месторождения сульфатами происходит более быстрыми темпами по сравнению с Костомукшским месторождением. Это согласуется с результатами экспериментов по выщелачиванию минеральных компонентов из руды Костомукшского и Корпангского месторождений [Кулакова, Лозовик, 2011, 2012а], в ходе которых наблюдалась максимальная скорость поступления SO_4^{2-} именно из руды Корпангского месторождения.

В водных объектах Корпангского месторождения к 2015 г. сильнее стало проявляться азотное загрязнение, главным образом нитратами

Таблица 4. Ионный состав воды в водных объектах Корпангского месторождения (2008–2015 гг.)
Table 4. Ionic composition of the water bodies of the Korpangskoye deposit (2008–2015)

Объект Water body	$\Sigma_{\text{Ca}^{2+}}$ $\Sigma_{\text{Mg}^{2+}}$	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	Классификация по Алекину Alekin's classification
Ручей Безымянный** Unnamed stream**	1230	223	54,3	119	38,4	101	340	245	SO ₄ , Cl, NO ₃ , Ca
Система р. Корпангиййоки Korpangiyoki river system									
Ручей из ламбы (приемник рудничных вод) Stream out of the pool (a mine water sink)	$\frac{67,7}{10,0 - 126}$	$\frac{48,6}{1,9 - 110}$	$\frac{13,6}{0,5 - 31,3}$	$\frac{26,6}{1,2 - 59,1}$	$\frac{5,6}{0,2 - 15,9}$	$\frac{9,2}{4,6 - 10,2}$	$\frac{79}{0,5 - 235}$	$\frac{46,4}{0,6 - 98,2}$	SO ₄ , NO ₃ , Ca
Р. Корпангиййоки (исток) River Korpangiyoki (headstream)	$\frac{25,5}{11,2 - 68,4}$	$\frac{2,0}{1,5 - 2,4}$	$\frac{0,7}{0,6 - 0,9}$	$\frac{1,5}{1,2 - 1,8}$	$\frac{0,7}{0,4 - 1,1}$	$\frac{6,4}{4,4 - 8,7}$	$\frac{2,2}{1,6 - 3,3}$	$\frac{0,8}{0,6 - 1,0}$	NO ₃ , HCO ₃ , Ca
Р. Корпангиййоки (устье) River Korpangiyoki (river outlet)	$\frac{29,9}{6,9 - 65,0}$	$\frac{3,1}{1,8 - 16,7}$	$\frac{1,3}{0,6 - 5,0}$	$\frac{2,3}{1,2 - 7,7}$	$\frac{0,7}{0,4 - 3,6}$	$\frac{9,0}{6,0 - 13,5}$	$\frac{4,2}{1,3 - 25,1}$	$\frac{0,9}{0,4 - 17,0}$	NO ₃ , Ca
Система р. Ливо Livo river system									
Р. Ливо (выше оз. Полвиярви) River Livo (upstream from Lake Polviyarvi)	$\frac{36,8}{19,5 - 72,1}$	$\frac{4,1}{2,6 - 4,7}$	$\frac{2,4}{1,3 - 3,0}$	$\frac{2,2}{2,0 - 2,5}$	$\frac{1,5}{0,7 - 2,4}$	$\frac{8,2}{5,2 - 9,7}$	$\frac{13,2}{5,2 - 18,3}$	$\frac{0,8}{0,7 - 0,8}$	SO ₄ , Ca, Mg
Р. Ливо (ниже оз. Полвиярви) River Livo (downstream from Lake Polviyarvi)	$\frac{36,5}{15,0 - 85,8}$	$\frac{4,9}{3,5 - 5,6}$	$\frac{2,5}{1,4 - 3,3}$	$\frac{2,3}{1,6 - 2,7}$	$\frac{1,7}{1,1 - 2,7}$	$\frac{8,3}{6,1 - 12,3}$	$\frac{15,6}{10,2 - 19,9}$	$\frac{1,0}{0,7 - 1,4}$	SO ₄ , Ca, Mg
Р. Полвиярвиййоки River Polviyarviyoki	$\frac{95,5}{31,6 - 258}$	$\frac{30,8}{10,4 - 43,7}$	$\frac{10,1}{3,1 - 14,9}$	$\frac{8,1}{3,6 - 13,7}$	$\frac{11,4}{4,5 - 20,5}$	$\frac{31,3}{19,3 - 49,9}$	$\frac{99,8}{26,7 - 118}$	$\frac{4,3}{1,6 - 19,5}$	SO ₄ , Ca
Р. Толлоййоки River Tolloyoki	$\frac{30,5}{9,0 - 61,0}$	$\frac{4,8}{2,9 - 5,9}$	$\frac{2,5}{1,3 - 3,1}$	$\frac{2,4}{1,6 - 2,8}$	$\frac{1,5}{0,6 - 2,7}$	$\frac{8,4}{6,3 - 10,4}$	$\frac{15,2}{7,4 - 18,8}$	$\frac{1,1}{0,7 - 1,5}$	SO ₄ , Ca
Система р. Тохтуриййоки Tokhturiyoki river system									
Р. Тохтуриййоки River Tokhturiyoki	$\frac{32,1}{9,5 - 105}$	$\frac{3,2}{1,5 - 5,8}$	$\frac{1,0}{0,5 - 1,9}$	$\frac{2,6}{1,4 - 3,7}$	$\frac{0,9}{0,2 - 1,4}$	$\frac{10,4}{2,6 - 18,2}$	$\frac{1,6}{0,4 - 5,1}$	$\frac{1,5}{0,7 - 3,4}$	HCO ₃ , A _{опрт} , NO ₃ , Ca
Протока Верхние Пиенжунги – Нижние Пиенжунги Channel Verkhniy Pienzhungi – Nizhniy Pienzhungi	$\frac{30,2}{11,4 - 86,5}$	$\frac{2,1}{1,6 - 3,0}$	$\frac{0,8}{0,5 - 1,1}$	$\frac{2,4}{1,6 - 3,0}$	$\frac{0,6}{0,4 - 1,0}$	$\frac{8,1}{5,2 - 10,5}$	$\frac{1,6}{1,1 - 2,3}$	$\frac{0,9}{0,6 - 1,5}$	HCO ₃ , A _{опрт} , Ca, Na

Примечание. Здесь и далее: в числителе – среднее значение, в знаменателе – минимальное и максимальное значения.

*С учетом NH₄⁺ и NO₃⁻; **в 2015 г.

Note. Here and elsewhere: mean value is given in the numerator, minimal and maximal values – in the denominator.

*Inclusive of NH₄⁺ and NO₃⁻; **in 2015.

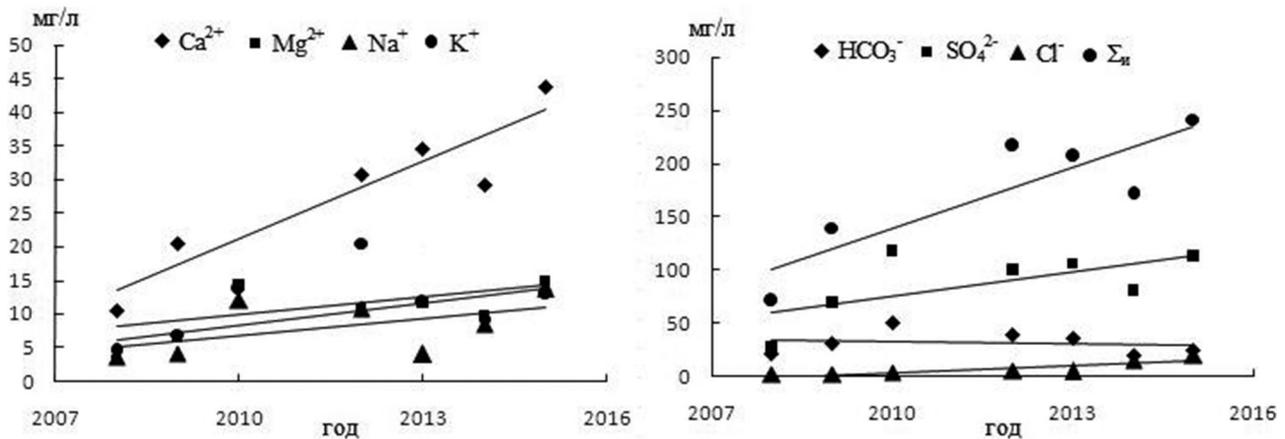


Рис. 4. Изменение минерализации и ионного состава воды р. Полвиярвийоки

Fig. 4. Change of mineralization and ionic composition of the water in the River Polviyarviyoki

Таблица 5. Содержание форм азота в водных объектах района Корпангского месторождения в 2008–2015 гг., мгN/л

Table 5. Content of nitrogen forms in the water bodies of the Korpangskoye deposit in 2008–2015, mgN/l

Объект Water body	NH_4^+	NO_2^-	NO_3^-	$\text{N}_{\text{опр}}$
Ручей Безымянный* Unnamed stream*	17,8	0,442	91,5	0,03
Система р. Корпангийоки Korpangiyoki river system				
Ручей из ламбы (приемник рудничных вод) Stream out of the pool (a mine water sink)	$\frac{4,90}{0,02 - 9,82}$	$\frac{0,01}{0,001 - 0,014}$	$\frac{33,9}{0,01 - 68,4}$	$\frac{6,2}{0,3 - 17,8}$
Р. Корпангийоки (исток) River Korpangiyoki (headstream)	$\frac{0,04}{0,02 - 0,08}$	$\frac{0,001}{< 0,001 - 0,003}$	$\frac{0,05}{0,01 - 1,92}$	$\frac{0,47}{0,32 - 0,68}$
Р. Корпангийоки (устье) River Korpangiyoki (river outlet)	$\frac{0,38}{0,02 - 1,20}$	$\frac{0,005}{< 0,001 - 0,012}$	$\frac{5,3}{0,01 - 19,6}$	$\frac{0,39}{0,25 - 8,5}$
Система р. Ливо Livo river system				
Р. Ливо (выше оз. Полвиярви) River Livo (upstream from Lake Polviyarvi)	$\frac{0,02}{0,01 - 0,03}$	$\frac{0,001}{< 0,001 - 0,001}$	$\frac{0,12}{0,01 - 0,17}$	$\frac{0,40}{0,32 - 0,48}$
Р. Ливо (ниже оз. Полвиярви) River Livo (downstream from Lake Polviyarvi)	$\frac{0,03}{0,01 - 0,13}$	$\frac{0,002}{< 0,001 - 0,004}$	$\frac{0,35}{0,13 - 0,63}$	$\frac{0,44}{0,27 - 0,72}$
Р. Полвиярвийоки River Polviyarviyoki	$\frac{0,34}{0,10 - 1,47}$	$\frac{0,019}{0,007 - 0,035}$	$\frac{7,4}{0,43 - 9,8}$	$\frac{2,26}{0,68 - 7,7}$
Р. Толлойоки River Tolloyoki	$\frac{0,03}{0,01 - 0,06}$	$\frac{0,001}{< 0,001 - 0,004}$	$\frac{0,33}{0,02 - 0,57}$	$\frac{0,50}{0,34 - 0,72}$
Система р. Тохтуринйоки Tokhturinyoki river system				
Р. Тохтуринйоки River Tokhturinyoki	$\frac{0,02}{0,01 - 0,06}$	$\frac{0,001}{< 0,001 - 0,003}$	$\frac{0,02}{< 0,01 - 0,38}$	$\frac{0,41}{0,31 - 0,51}$
Протока Верхние Пиенжунги – Нижние Пиенжунги Channel Verkhonii Pienzhungi – Nizhnii Pienzhungi	$\frac{0,06}{0,01 - 0,18}$	$\frac{0,001}{< 0,001 - 0,004}$	$\frac{0,03}{< 0,01 - 1,62}$	$\frac{0,49}{0,33 - 0,67}$

Примечание. Здесь и далее: *в 2015 г.

Note. *in 2015.

и в некоторых объектах аммонием (табл. 5). Отмечается высокое содержание этих веществ в устье р. Корпангийоки (NH_4^+ до 1,20 мгN/л, NO_3^- до 19,6 мгN/л) и ручье Безымянном (верхний участок: NH_4^+ – 17,8 мгN/л, NO_3^- – 91,5 мгN/л; нижний участок: NH_4^+ – до 9,8 мгN/л, NO_3^- – до

68,4 мгN/л). Начиная с 2013 г. наблюдается повышение концентрации NO_3^- в устье р. Корпангийоки (до 19,6 мгN/л) и р. Тохтуринйоки (до 1,6 мгN/л). Эти данные свидетельствуют о существенном загрязнении поверхностных вод в районе Корпангского месторождения азотсодержа-

Таблица 6. Содержание литофильных элементов и тяжелых металлов в водных объектах района Корпангского месторождения в 2008–2015 гг.

Table 6. Content of lithophylic elements and heavy metals in the water bodies of the Korpangskoye deposit in 2008–2015

Объект Water body	Fe _{общ} Fe _{tot}	Mn	Li	Al	Ni	Cr	Cu
	мг/л mg/l		мкг/л µg/l				
Ручей Безымянный* Unnamed stream*	0,26	0,15	28	17	3,5	0,2	0,2
Система р. Корпангийоки Korpangiyoki river system							
Ручей из лампы (приемник рудничных вод) Stream out of the pool (a mine water sink)	$\frac{0,62}{0,21 - 1,37}$	$\frac{0,11}{0,04 - 0,17}$	$\frac{15}{2 - 28}$	$\frac{34}{17 - 70}$	$\frac{1,4}{0,3 - 3,5}$	$\frac{0,2}{0,2 - 0,3}$	$\frac{0,3}{0,2 - 0,4}$
Р. Корпангийоки (исток) River Korpangiyoki (headstream)	$\frac{0,33}{0,22 - 0,61}$	$\frac{0,11}{0,02 - 0,53}$	$\frac{3}{2 - 7}$	$\frac{53}{11 - 111}$	$\frac{0,5}{0,2 - 0,9}$	$\frac{0,4}{0,1 - 0,8}$	$\frac{0,8}{0,3 - 1,8}$
Р. Корпангийоки (устье) River Korpangiyoki (river outlet)	$\frac{1,43}{0,54 - 3,16}$	$\frac{0,22}{0,02 - 0,65}$	$\frac{4}{< 2 - 5,3}$	$\frac{38}{6 - 66}$	$\frac{0,4}{0,1 - 0,7}$	$\frac{0,3}{0,1 - 0,5}$	$\frac{0,4}{0,3 - 0,8}$
Система р. Ливо Livo river system							
Р. Ливо (выше оз. Полвиярви) River Livo (upstream from Lake Polviyarvi)	$\frac{0,76}{0,69 - 0,86}$	$\frac{0,09}{0,02 - 0,37}$	$\frac{2}{< 2 - 2}$	$\frac{56}{19 - 124}$	$\frac{0,8}{0,2 - 1,5}$	$\frac{0,5}{0,4 - 0,8}$	$\frac{3,6}{0,6 - 5,7}$
Р. Ливо (ниже оз. Полвиярви) River Livo (downstream from Lake Polviyarvi)	$\frac{0,69}{0,58 - 0,80}$	$\frac{0,04}{0,02 - 0,09}$	$\frac{2}{< 2 - 2}$	$\frac{54}{14 - 135}$	$\frac{0,7}{0,3 - 1,2}$	$\frac{0,4}{0,3 - 0,6}$	$\frac{1,5}{0,2 - 3,2}$
Р. Полвиярвийоки River Polviyarviyoki	$\frac{0,51}{0,38 - 0,77}$	$\frac{0,11}{0,03 - 0,24}$	$\frac{10}{5 - 12}$	$\frac{39}{5 - 108}$	$\frac{7,2}{0,5 - 25,0}$	$\frac{0,4}{0,1 - 0,6}$	$\frac{0,8}{0,3 - 1,0}$
Р. Толлойоки River Tolloyoki	$\frac{0,66}{0,53 - 0,75}$	$\frac{0,06}{0,03 - 0,23}$	$\frac{2}{< 2 - 2}$	$\frac{57}{8 - 143}$	$\frac{0,7}{0,2 - 1,3}$	$\frac{0,4}{0,2 - 0,5}$	$\frac{0,5}{0,3 - 9,8}$
Система р. Тохтуринйоки Tokhturinyoki river system							
Р. Тохтуринйоки River Tokhturinyoki	$\frac{1,87}{0,79 - 5,8}$	$\frac{0,22}{0,03 - 0,73}$	$\frac{3}{< 2 - 5}$	$\frac{77}{10 - 167}$	$\frac{0,5}{0,2 - 1,2}$	$\frac{0,5}{0,4 - 0,7}$	$\frac{0,7}{0,3 - 1,6}$
Протока Верхние Пиенжунги – Нижние Пиенжунги Channel Verkhonii Pienzhungi – Nizhnii Pienzhungi	$\frac{1,38}{0,93 - 1,89}$	$\frac{0,08}{0,02 - 0,23}$	$\frac{2}{< 2 - 2}$	$\frac{72}{27 - 183}$	$\frac{0,3}{0,1 - 0,6}$	$\frac{0,4}{0,2 - 0,5}$	$\frac{0,6}{0,2 - 1,4}$

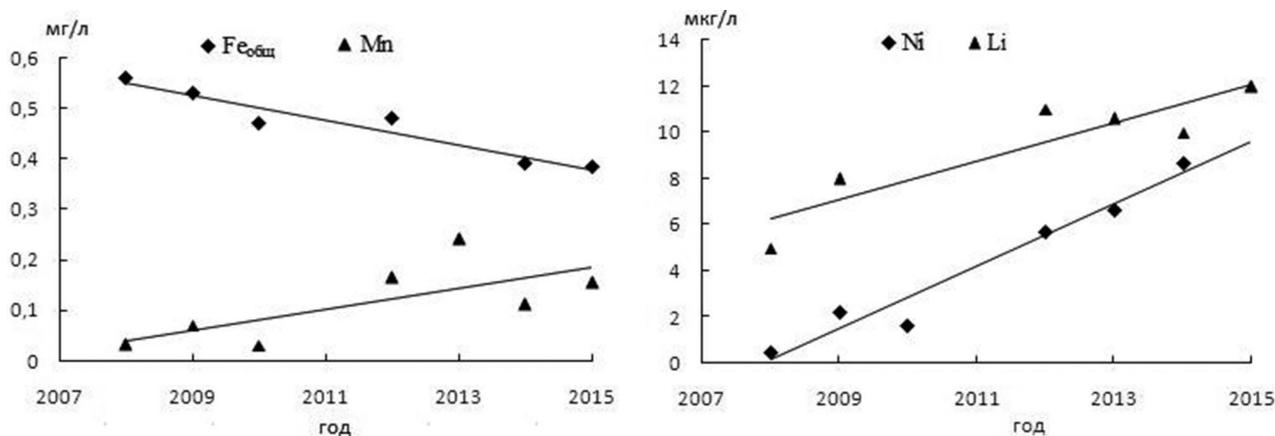


Рис. 5. Изменение содержания Fe_{общ}, Mn, Ni и Li в р. Полвиярвийоки

Fig. 5. Dynamics of the Fe_{tot}, Mn, Ni and Li content in the River Polviyarviyoki

Таблица 7. Органическое и взвешенное вещество, pH, O₂ и CO₂ в водных объектах района Корпангского месторождения в 2008–2015 гг.

Table 7. Organic and suspended matters, pH, O₂ and CO₂ in the water bodies of the Korpangskoye deposit in 2008–2015

Объект Water body	ЦВ, град. Colour, grad.	БПК ₅ , мгО ₂ /л BOD ₅ , mgO ₂ /l	ПО, мгО/л COD _{Mn} , mgO/l	O ₂ , % насыщ. % saturation	CO ₂ , мг/л mg/l	pH
Ручей Безымянный* Unnamed stream*	12	0,9	2,3	58	13,0	7,4
Система р. Корпангийоки Korpangiyoki river system						
Ручей из лампы (приемник рудничных вод) Stream out of the pool (a mine water sink)	$\frac{53}{36 - 75}$	$\frac{1,1}{0,8 - 1,7}$	$\frac{10,2}{5,9 - 16,4}$	$\frac{76}{73 - 78}$	$\frac{10,0}{8,0 - 12,3}$	$\frac{6,4}{6,1 - 6,6}$
Р. Корпангийоки (исток) River Korpangiyoki (headstream)	$\frac{38}{20 - 56}$	$\frac{1,3}{0,3 - 3,6}$	$\frac{10,2}{7,2 - 2,9}$	$\frac{76}{57 - 99}$	$\frac{7,9}{2,9 - 13,1}$	$\frac{6,3}{6,0 - 6,6}$
Р. Корпангийоки (устье) River Korpangiyoki (river outlet)	$\frac{57}{41 - 66}$	$\frac{0,9}{0,2 - 1,7}$	$\frac{9,7}{8,6 - 11,1}$	$\frac{71}{60 - 86}$	$\frac{12,6}{5,3 - 18,8}$	$\frac{6,5}{6,1 - 6,8}$
Система р. Ливо Livo river system						
Р. Ливо (выше оз. Полвиярви) River Livo (upstream from Lake Polviyarvi)	$\frac{88}{54 - 136}$	$\frac{0,7}{0,5 - 1,1}$	$\frac{13,8}{10,6 - 16,1}$	$\frac{78}{56 - 84}$	$\frac{7,6}{6,8 - 8,6}$	$\frac{6,5}{6,2 - 6,8}$
Р. Ливо (ниже оз. Полвиярви) River Livo (downstream from Lake Polviyarvi)	$\frac{83}{40 - 132}$	$\frac{1,3}{0,3 - 4,7}$	$\frac{13,7}{10,4 - 16,8}$	$\frac{79}{56 - 90}$	$\frac{7,2}{3,3 - 9,1}$	$\frac{6,5}{6,3 - 6,9}$
Р. Полвиярвийоки River Polviyarviyoki	$\frac{51}{23 - 80}$	$\frac{0,9}{0,6 - 1,6}$	$\frac{11,6}{7,0 - 17,4}$	$\frac{84}{57 - 91}$	$\frac{7,4}{4,2 - 11,4}$	$\frac{7,1}{6,9 - 7,6}$
Р. Толлойоки River Tolloyoki	$\frac{77}{60 - 122}$	$\frac{1,3}{0,3 - 3,6}$	$\frac{12,8}{10,3 - 14,3}$	$\frac{81}{57 - 92}$	$\frac{6,4}{3,6 - 8,9}$	$\frac{6,5}{6,3 - 6,8}$
Система р. Тохтуринйоки Tokhturinyoki river system						
Р. Тохтуринйоки River Tokhturinyoki	$\frac{127}{85 - 300}$	$\frac{1,3}{0,7 - 2,97}$	$\frac{18,0}{13,3 - 23,8}$	$\frac{51}{32 - 63}$	$\frac{22,7}{9,9 - 46,8}$	$\frac{6,1}{5,7 - 6,8}$
Протока Верхние Пиенжунги – Нижние Пиенжунги Channel Verkhni Pienzhungi – Nizhnii Pienzhungi	$\frac{83}{61 - 120}$	$\frac{0,9}{0,3 - 1,6}$	$\frac{13,4}{11,5 - 15,8}$	$\frac{75}{59 - 92}$	$\frac{12,0}{2,9 - 16,7}$	$\frac{6,4}{6,1 - 7,0}$

щими веществами, связанном с буровзрывными работами в карьере.

Как следствие поступления рудничных вод в поверхностные водные объекты Корпангского месторождения отмечается повышенное содержание в их воде Li, Ni и Mn, тогда как концентрация Fe меньше в наиболее загрязненных водоемах, чем в более чистых (табл. 6). Из всех объектов больше выделяется р. Полвиярвийоки, в которой наблюдается тренд роста содержания Mn, Ni и Li и уменьшение концентрации Fe (рис. 5).

Аналогично железу изменяется содержание ОВ: меньше всего его в ручье Безымянном, а больше всего в реках Тохтуринйоки и Ливо, принимающих поверхностный сток с заболоченных территорий (табл. 7).

Величина pH во всех объектах варьирует от слабокислой реакции среды (pH = 6,1) до

околонеutralной (pH = 7,4). Более высокие значения pH обусловлены техногенным влиянием. В поверхностных водах Корпангского месторождения отмечается удовлетворительное насыщение воды кислородом (в среднем 51–84 %). Техногенное влияние не сказывается на кислородном режиме, поскольку во всех объектах величины БПК₅ сравнительно низкие (в среднем 0,7–1,3 мгО₂/л). Концентрации взвешенных веществ составляют в среднем 1,1–4,4 мг/л, что является типичным для речных вод региона.

Анализируя многолетнюю динамику химического состава поверхностных вод района Корпангского месторождения с момента его эксплуатации, следует отметить тренд увеличения Σ_и содержания K⁺, SO₄²⁻, NO₃⁻, Li и Ni. Аналогичная картина была характерна и для водоемов Костомукшского месторождения, принимающих

Таблица 8. Загрязненность водных объектов района Корпангского месторождения
Table 8. Water contamination rate of the water bodies of the Korpangskoye deposit

Объект Water body	КИЗВ Combinatorial water pollution index	УКИЗВ Specific combinatorial water pollution index	КПЗ Critical pollution indicators	Характеристика повторяемости и уровня загрязненности of frequency and levels of contamination	с учетом ПДК with account of MPC			с учетом РПДК with account of RMPC						
					2	3	4	5	6	7	8	9		
1														
Система р. Корпангиййоки Korpangiyoki river system														
Ручей из ламбы (приемник рудничных вод) Stream out of the pool (a mine water sink)	52	3,3	NH ₄ ⁺ , NO ₃ ⁻ , Mn	Характерная загрязненность среднего и высокого уровня Typical contamination at medium and high levels	114	7,1	Ca ²⁺ , Na ⁺ , SO ₄ ²⁻ , Cl ⁻ , NH ₄ ⁺ , NO ₃ ⁻ , Li	Характерная загрязненность среднего, высокого и экстремально высокого уровня Typical contamination at medium, high or extremely high levels						
Р. Корпангиййоки (исток) River Korpangiyoki (headstream)	26	1,6	Mn	Устойчивая загрязненность среднего уровня Stable contamination at a medium level	19	1,2	0	Неустойчивая загрязненность среднего уровня Unstable contamination at a medium level						
Р. Корпангиййоки (устье) River Korpangiyoki (river outlet)	38	2,4	Fe _{общ} , Mn	Устойчивая загрязненность среднего уровня Stable contamination at a medium level	50	3,2	NH ₄ ⁺ , NO ₃ ⁻	Устойчивая загрязненность низкого уровня Stable contamination at a low level						
Система р. Ливо Livo river system														
Р. Ливо (выше оз. Полвиярви) River Livo (upstream from Lake Polviyarvi)	28	1,8	Fe _{общ} , Cu	Устойчивая загрязненность среднего уровня Stable contamination at a medium level	18	1,1	0	Устойчивая загрязненность низкого уровня Stable contamination at a low level						
Р. Ливо (ниже оз. Полвиярви) River Livo (downstream from Lake Polviyarvi)	28	1,8	Fe _{общ}	Устойчивая загрязненность среднего уровня Stable contamination at a medium level	19	1,2	0	Устойчивая загрязненность низкого уровня Stable contamination at a low level						

Окончание табл. 8
Table 8 (continued)

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Р. Полвиярвиюки River Polvijarviyoki	46	2,9	Fe _{общ.} , Mn	Неустойчивая и устойчивая загрязненность низкого и среднего уровня Unstable and stable contamination at low and medium level	89	5,6	SO ₄ ²⁻ , NH ₄ ⁺ , NO ₃ ⁻ , Ni	Неустойчивая и устойчивая загрязненность низкого и среднего уровня Unstable and stable contamination at low and medium levels
Р. Толлойоки River Tolloyoki	31	1,9	Fe _{общ.} , Mn, Cu	Характерная и устойчивая загрязненность среднего уровня Typical and stable contamination at a medium level	30	1,9	0	Характерная и устойчивая загрязненность среднего уровня Typical and stable contamination at a medium level
Система р. Тохтуринюки Tokhturiynyoki river system								
Р. Тохтуринюки River Tokhturiynyoki	30	1,9	Fe _{общ.} , Mn	Устойчивая загрязненность высокого уровня Stable contamination at a high level	30	1,9	Fe _{общ.}	Устойчивая загрязненность высокого и среднего уровня Stable contamination at medium and high levels
Протока Верхние Пиенжунги – Нижние Пиенжунги Channel Verkhni Pienzhungi-Nizhnii Pienzhungi	27	1,7	Fe _{общ.} , Mn	Неустойчивая и устойчивая загрязненность среднего уровня Unstable and stable contamination at a medium level	17	1,1	0	Неустойчивая и устойчивая загрязненность среднего уровня Unstable and stable contamination at a medium level

техногенные воды Костомукшского ГОКа [Кулакова, Лозовик, 2012б; Лозовик, Галахина, 2017].

Оценка загрязненности поверхностных вод в районе Корпангского месторождения

Согласно ИЗВ все рассматриваемые объекты относятся к «чистым» и «очень чистым», за исключением «очень грязного» ручья Безымянный (ИЗВ = 9,1) и «грязного» ручья из ламбы (ИЗВ = 5,0). По региональным ПДК загрязненность вод иная. К «чистым» относятся только воды рек Ливо, Толлойоки и протоки В. Пиенжунги – Н. Пиенжунги. Для остальных объектов степень загрязнения изменяется от «умеренно загрязненных» до «чрезвычайно грязных» (ИЗВ = 1,3–90). В последнюю категорию попадают воды не только ручья Безымянный, но и устья р. Корпангийоки.

Что касается загрязненности по КИЗВ и УКИЗВ (табл. 8), то ее можно охарактеризовать следующим образом. Большинство водотоков в районе Корпангского месторождения являются «слабо загрязненными» (КИЗВ – 26–31, УКИЗВ – 1,6–1,9). К ним относятся исток р. Корпангийоки, реки Тохтуринйоки, Ливо и Толлойоки, а также протока В. Пиенжунги – Н. Пиенжунги. В качестве КПЗ в указанных водотоках выявлены $Fe_{\text{общ}}$, Mn и Cu, но эти компоненты отражают региональную специфику вод, а не их загрязнение. Вода р. Полвиярвийоки и устья р. Корпангийоки относится к «загрязненным», ручей из ламбы – «очень загрязненный».

Загрязненность водных объектов Корпангского месторождения согласно КИЗВ и УКИЗВ, рассчитанных с учетом РПДК, получилась совершенно иная. Особо выделяется «грязный» ручей из ламбы, принимающий рудничные воды западного карьера Корпангского месторождения. Среди рек наибольшие значения КИЗВ и УКИЗВ получены для «грязной» р. Полвиярвийоки. Устье р. Корпангийоки является «очень загрязненным», остальные – «слабо загрязненные». В качестве КПЗ выявлены отражающие техногенное влияние компоненты: SO_4^{2-} , NH_4^+ , NO_3^- , Li.

Заключение

Анализ многолетних гидрохимических данных по водным объектам Корпангского месторождения показал, что в результате его разработки в реках происходит нарастание загрязнения. Наиболее сильно оно проявляется в руч. Безымянный, р. Полвиярвийоки и в устье р. Корпангийоки. Слабое загрязнение отмечено и в р. Тохтуринйоки. В химическом составе воды наметился

тренд роста величины Σ_i , а также содержания K^+ , SO_4^{2-} , NO_3^- , Li и Ni, что было характерно и для водоемов Костомукшского месторождения.

Расчеты региональных индексов загрязненности воды показывают высокую степень загрязнения руч. Безымянный («чрезвычайно грязный»), устья р. Корпангийоки («чрезвычайно грязная») и р. Полвиярвийоки («очень грязная»), а также «умеренно загрязненные» воды в истоке р. Корпангийоки и р. Тохтуринйоки. По общероссийским ПДК выявлено загрязнение только руч. Безымянный, остальные объекты могут быть отнесены к категории чистых вод, что не соответствует действительности. Полученные для водных объектов района Корпангского месторождения КПЗ согласно РД 52.24.643–2002 отражают в большей степени региональную специфику вод, чем их загрязнение. Это подтвердили расчеты, выполненные по той же методике с учетом РПДК, позволившие выявить среди показателей загрязненности компоненты, отражающие техногенное влияние предприятия.

Финансовое обеспечение исследований осуществлялось из средств федерального бюджета на выполнение государственного задания КарНЦ РАН (Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН).

Литература

Алекин О. А. Основы гидрохимии. Л.: Гидрометеиздат, 1970. 442 с.

Аналитические, кинетические и расчетные методы в гидрохимической практике / Ред. П. А. Лозовик, Н. А. Ефременко. СПб.: Нестор-История, 2017. 272 с.

Временные методические указания по комплексной оценке качества поверхностных и морских вод / Утв. Госкомгидрометом СССР 22.09.1986 г. № 250–1163. М., 1986. 5 с.

Гидрологическая изученность. Карелия и Северо-Запад. Л.: Гидрометеиздат, 1965. Т. 2. 699 с.

ГН 2.1.5.1315-03. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования.

Калабин Г. В., Воробьев А. Е., Джанянц А. В., Салазкин М. Г. Исследование техногенного воздействия железорудных карьеров европейской части России на окружающую среду // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2002. № 12. С. 8–13.

Кулакова Н. Е., Лозовик П. А. Экспериментальное выщелачивание руды Костомукшского и Корпангского железорудных месторождений // Труды КарНЦ РАН. 2011. № 4. С. 98–102.

Кулакова Н. Е., Лозовик П. А. Поступление минеральных веществ в результате выщелачивания из руды Костомукшского и Корпангского месторожде-

ний // Концепции естественно-научного образования в вузе и школе в условиях перехода на Федеральные государственные стандарты: Сб. ст. науч.-практ. конф., посв. 80-летию ЕГФ КГПА (Петрозаводск, 6–7 ноября 2012 г.). Петрозаводск: КГПА, 2012а. С. 102–107.

Кулакова Н. Е., Лозовик П. А. Анализ влияния Костомукшского горно-обогатительного комбината на окружающую среду с учетом природно-техногенных факторов формирования и трансформации вод // Вода: химия и экология. 2012б. № 2. С. 18–25.

Лозовик П. А., Галахина Н. Е. Изменение химического состава воды системы р. Кенти в результате техногенного влияния // Труды КарНЦ РАН. 2017. № 3. С. 21–35. doi: 10.17076/lim309

Лозовик П. А., Кулакова Н. Е. Методические подходы к оценке водных объектов в зоне действия предприятий горнодобывающей промышленности // Водные ресурсы. 2014. № 4. С. 429–438. doi: 10.7868/S0321059614040117

Лозовик П. А., Платонов А. В. Определение региональных предельно допустимых концентраций загрязняющих веществ на примере Карельского гидрографического района // Геоэкология. 2005. № 6. С. 527–532.

Лозовик П. А., Потапова И. Ю. Поступление химических веществ с атмосферными осадками на территорию Карелии // Водные ресурсы. 2006. Т. 33, № 1. С. 111–118.

Лозовик П. А., Ефременко Н. А., Родькина И. С., Степанова И. А., Ефремова Т. А., Птица А. И., Зоб-

кова М. В., Дмитриева Ю. Ф. Межлабораторное сличение результатов анализа органического вещества и биогенных элементов в природных водах. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2015. 66 с.

Поверхностные воды Калевальского района и территории Костомукши в условиях антропогенного воздействия / Отв. ред. П. А. Лозовик и др. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2001. 165 с.

РД 52.24.643-2002. Метод комплексной оценки степени загрязненности поверхностных вод суши по гидрохимическим показателям. СПб.: Гидрометеоиздат, 2003. 50 с.

Руководство по химическому анализу поверхностных вод суши. Часть 1 / Под ред. Л. В. Боевой. Ростов-н/Д.: НОК, 2009. 1044 с.

Руководство по химическому анализу поверхностных вод суши. Часть 2 / Под ред. Л. В. Боевой. Ростов-н/Д.: НОК, 2012. 720 с.

Филатов Н. Н., Литвиненко А. В., Богданова М. С. Водные ресурсы Северного экономического района России: состояние и использование // Водные ресурсы. 2016. Т. 43, № 5. С. 502–514. doi: 10.7868/S0321059616050059

Intercomparison 1429: pH, Conductivity, Alkalinity, NO₃-N, Cl, SO₄, Ca, Mg, Na, K, TOC, Al, Fe, Mn, Cd, Pb, Cu, Ni, and Zn // Norwegian Institute for Water Research, Oslo, September 2015. 86 p.

Поступила в редакцию 14.11.2017

References

Alekin O. A. Osnovy gidrokhimii [Fundamentals of hydrochemistry]. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1970. 442 p.

Analiticheskie, kineticheskie i raschetnye metody v gidrokhimicheskoi praktike [Analytical, kinetic, and computational methods in hydrochemical practice]. St. Petersburg: Nestor-Istoriya, 2017. 272 p.

Filatov N. N., Litvinenko A. V., Bogdanova M. S. Vodnye resursy Severnogo ekonomicheskogo raiona Rossii: sostoyanie i ispol'zovanie [Water resources of the Northern economic region of Russia: the state and use]. Vodnye resursy [Water Resources]. 2016. Vol. 43, no. 5. P. 779–790. doi: 10.1134/S0097807816050055

Gidrologicheskaya izuchennost'. Kareliya i Severo-Zapad [State of hydrological knowledge. Karelia and North-West]. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1965. Vol. 2. 699 p.

GN 2.1.5.1315-03. Predel'no dopustimye kontsentratsii (PDK) khimicheskikh veshchestv v vode vodnykh ob'ektov khozyaistvenno-pit'evogo i kul'turno-bytovogo vodopol'zovaniya [The maximum permissible concentrations (MPC) of chemical substances in water of water objects of drinking and cultural-domestic water use].

Kalabin G. V., Vorob'ev A. E., Dzhanyants A. V., Salazkin M. G. Issledovanie tekhnogenного воздействия zhelezorudnykh kar'erov Evropeiskoi chasti Rossii na okruzhayushchuyu sredu [The study of man's impact of iron ore pits in the European part of Russia on the en-

vironment]. Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten' [Mining Informational and Analytical Bull.]. 2002. No. 12. P. 8–13.

Kulakova N. E., Lozovik P. A. Eksperimental'noe vshchelachivanie rudy Kostomukshskogo i Korpangskogo zhelezorudnykh mestorozhdenii [Experimental leaching of ore from the Kostomuksha and Korpanga iron ore deposits]. Trudy KarNTs RAN [Trans. KarRC RAS]. 2011. No. 4. P. 98–102.

Kulakova N. E., Lozovik P. A. Postuplenie mineral'nykh veshchestv v rezul'tate vshchelachivaniya iz rudy Kostomukshskogo i Korpangskogo mestorozhdenii [Mineral substances leaching from the Kostomuksha and Korpanga iron ore deposits]. Kontseptsii estestvennonauchnogo obrazovaniya v vuze i shkole v usloviyakh perekhoda na Federal'nye gosudarstvennye standarty. Sb. st. nauch.-prakt. konf., posv. 80-letiyu EGF KGPA (Petrozavodsk, 6–7 noyabrya 2012 g.) [Conceptions of Natural Sciences in College and School in the context of new Federal State Standards: Coll. of Papers, Scientific and Practical Conf. Dedicated to the 80th Anniv. of the Faculty of Geography and Natural Sciences of KSPA (Petrozavodsk, November 6–7, 2012)]. Petrozavodsk: KGPA, 2012. P. 102–107.

Kulakova N. E., Lozovik P. A. Analiz vliyaniya Kostomukshskogo gorno-obogatitel'nogo kombinata na okruzhayushchuyu sredu s uchetom prirodno-tekhnogennykh faktorov formirovaniya i transformatsii vod [Kostomuksha mining and processing plant impact on the environment: natural and man-made factors

in the formation and transformation of waters]. *Voda: khimiya i ekologiya*, 2012. No. 2. P. 18–25.

Lozovik P. A., Galakhina N. E. *Izmenenie khimicheskogo sostava vody sistemy r. Kenti v rezul'tate tekhnogenogo vliyaniya* [Changes in the chemical composition of the Kenti river system water under human impact]. *Trudy KarNTs RAN* [Trans. KarRC RAS]. 2017. No. 3. P. 21–35. doi: 10.17076/lim309

Lozovik P. A., Kulakova N. E. *Metodicheskie podkhody k otsenke vodnykh ob'ektov v zone deistviya predpriyatii gornodobyvayushchei promyshlennosti* [Methodological approaches to pollution assessment in water bodies within the operation zone of mining plants]. *Vodnye resursy* [Water Resources]. 2014. Vol. 41, no. 4. P. 464–472. doi: 10.7868/S0321059614040117

Lozovik P. A., Platonov A. V. *Opredelenie regional'nykh predel'no dopustimyykh kontsentratsii zagryaznyayushchikh veshchestv na primere Karel'skogo gidrograficheskogo raiona* [Determination of regional maximum permissible concentrations of pollutants by the example of Karelia hydrographic region]. *Geoekologiya* [Geoecology]. 2005. No. 6. P. 527–532.

Lozovik P. A., Potapova I. Yu. *Postuplenie khimicheskikh veshchestv s atmosferynymi osadkami na territoriyu Karelii* [Input of chemical substances with atmospheric precipitation onto the territory of Karelia]. *Vodnye resursy* [Water Resources]. 2006. No. 1. P. 104–111. doi: 10.1134/S009780780601012X

Lozovik P. A., Efremenko N. A., Rod'kina I. S., Stepanova I. A., Efremova T. A., Ptitsa A. I., Zobkova M. V., Dmitrieva Yu. F. *Mezhlaboratornoe slichenie rezul'tatov analiza organicheskogo veshchestva i biogennykh elementov v prirodnykh vodakh* [Inter-labora-

tory comparison of chemical analysis of organic matter and biogenic elements results in environmental waters]. *Petrozavodsk: KarRC RAS*, 2015. 66 p.

Poverkhnostnye vody Kaleval'skogo raiona i territorii Kostomukshi v usloviyakh antropogenogo vozdeistviya [Surface waters of the Kalevala and Kostomuksha areas under anthropogenic influence]. *Petrozavodsk: KarRC RAS*, 2001. 165 p.

RD 52.24.643-2002. Metod kompleksnoi otsenki stepeni zagryaznennosti poverkhnostnykh vod sushi po gidrokhimicheskim pokazatelyam [A method of complex assessment of surface waters pollution by hydrochemical parameters]. *St. Petersburg: Gidrometeoizdat*, 2003. 50 p.

Rukovodstvo po khimicheskomu analizu poverkhnostnykh vod sushi [Manual on chemical analysis of surface waters]. Part 1. *Rostov-na-Donu: NOK*, 2009. 1044 p.

Rukovodstvo po khimicheskomu analizu poverkhnostnykh vod sushi [Manual on chemical analysis of surface waters]. Part 2. *Rostov-na-Donu: NOK*, 2012. 720 p.

Vremennye metodicheskie ukazaniya po kompleksnoi otsenke kachestva poverkhnostnykh i morskikh vod [Temporary recommended practices for quality integral assessment of surface and sea waters]. *Utv. Goskomgidrometom SSSR 22.09.1986 g. No. 250–1163. Moscow*, 1986. 5 p.

Intercomparison 1429: pH, Conductivity, Alkalinity, NO₃-N, Cl, SO₄, Ca, Mg, Na, K, TOC, Al, Fe, Mn, Cd, Pb, Cu, Ni, and Zn. Norwegian Institute for Water Research, Oslo, September 2015. 86 p.

Received November 14, 2017

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Галахина Наталия Евгеньевна

младший научный сотрудник лаб. гидрохимии и гидрогеологии
Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН,
Федеральный исследовательский центр
«Карельский научный центр РАН»
пр. А. Невского, 50, Петрозаводск, Республика Карелия,
Россия, 185030
эл. почта: kulakovanata@mail.ru
тел.: (8142) 576541

Лозовик Петр Александрович

зав. лабораторией гидрохимии и гидрогеологии, д. х. н.
Институт водных проблем Севера
Карельского научного центра РАН,
Федеральный исследовательский центр
«Карельский научный центр РАН»
пр. А. Невского, 50, Петрозаводск, Республика Карелия,
Россия, 185030

CONTRIBUTORS:

Galakhina, Natalia

Northern Water Problems Institute, Karelian Research Centre,
Russian Academy of Sciences
50 Al. Nevsky St., 185030 Petrozavodsk, Karelia, Russia
e-mail: kulakovanata@mail.ru
tel.: (8142) 576541

Lozovik, Pyotr

Northern Water Problems Institute, Karelian Research Centre,
Russian Academy of Sciences
50 Al. Nevsky St., 185030 Petrozavodsk, Karelia, Russia

УДК 551.312.48

ИССЛЕДОВАНИЕ СОВРЕМЕННОГО И ИСТОРИЧЕСКОГО ОСАДКОНАКОПЛЕНИЯ В ВОДОЕМАХ ПРИВОЛЖСКОЙ ВОЗВЫШЕННОСТИ И НИЗМЕННОГО ЗАВОЛЖЬЯ

Д. В. Иванов¹, Е. В. Осмелкин², И. И. Зиганшин¹

¹ Институт проблем экологии и недропользования Академии наук Республики Татарстан, Казань, Россия

² Государственный природный заповедник «Присурский», Чебоксары, Россия

Приводятся результаты изучения современного и исторического осадконакопления в 66 разнотипных водоемах Средней Волги (пруды, озера) в пределах Чувашской Республики, Республики Татарстан и Республики Марий Эл. В физико-географическом отношении территория исследования расположена в провинциях Приволжской возвышенности и Низменного Заволжья. Выполнена оценка сезонной и многолетней динамики скорости аккумуляции донных отложений, дана характеристика основных типологических свойств поверхностных и стратифицированных осадков (гранулометрический состав и органическое вещество). Установлено, что для Приволжской возвышенности и Низменного Заволжья характерен единый диапазон скорости озерного осадконакопления. Показатели аккумуляции вещества на текущем этапе природно-антропогенной трансформации лимнических систем региона находятся на уровне 1600 г/(м²·год). Региональные показатели интенсивности прироста отложений (3–7 мм/год) лежат в интервале среднемноголетних значений, характерных для озер и водохранилищ бассейна Средней Волги, отражая универсальные закономерности формирования осадков в водоемах, расположенных в сходных физико-географических условиях. Установлено преобладание аутигенного характера накопления донных отложений в водоемах Низменного Заволжья и терригенного – в Приволжской возвышенности. Темпы современного и исторического осадконакопления в водоемах отличает квазистационарность, свидетельствуя о доминирующей роли природных факторов в их седиментационном балансе. Разработана региональная шкала интенсивности осадконакопления и выполнено ранжирование водных объектов в зависимости от современной скорости аккумуляции осадков. Для большинства водоемов региона прогнозируется сохранение существующих темпов осадконакопления; наибольшие величины прироста отложений (более 6000 г/(м²·год)) ожидаются в зарастающих озерах Низменного Заволжья.

Ключевые слова: осадки; седиментационные ловушки; скорость аккумуляции осадков; озера; Средняя Волга.

D. V. Ivanov, E. V. Osmelkin, I. I. Ziganshin. A STUDY OF CONTEMPORARY AND HISTORICAL SEDIMENTATION IN WATERBODIES OF THE VOLGA UPLAND AND THE LOW-LYING TRANS-VOLGA REGION

The article presents the results of the study of contemporary and historical sedimentation in 66 waterbodies of different types in the middle course of the Volga (ponds, lakes) within

the Chuvash Republic, Republic of Tatarstan, and Republic of Mari El. In terms of physical geography, the study area is situated in the provinces Volga Upland and Low-lying Trans-Volga. Seasonal and long-term variation of the rate of sediment accumulation was assessed, the main typological properties of top-core and stratified sediments (texture and organic matter) were characterized. Volga Upland and Low-lying Trans-Volga region were found to have the same range of lacustrine sedimentation rates. At the current stage of the natural-anthropogenic transformation of the region's limnic systems, sediments are being accumulated at a rate of 1600 g/(m²·year). Regional sediment increments (3–7 mm/year) fall within the range of mean multiannual values typical for lakes and storage reservoirs in the Middle Volga drainage basin, representing the universal patterns of sedimentation in waterbodies situated under similar physico-geographical conditions. The autochthonous mode of sedimentation was found to prevail in waterbodies of the low-lying Trans-Volga region and the terrigenous mode in the Volga Upland. The pace of contemporary and historical sedimentation in the waterbodies is quasi-stationary, suggesting their sedimentation balance is governed by natural factors. A regional scale of sedimentation rates has been worked out, and the waterbodies were ranked by the current rate of sediment accumulation. It is predicted that current sedimentation rates will persist in a majority of the region's waterbodies; the highest sediment increments (more than 6000 g/(m²·year)) are expected for overgrowing lakes in the low-lying Trans-Volga region.

Key words: sediments; sediment traps; rate of sediment accumulation; lakes; Middle Volga.

Введение

Среди сложных и многообразных системобразующих процессов функционирования водных экосистем одними из ключевых являются процессы седиментации взвешенных веществ органической и минеральной природы и результирующая их стадия – осадконакопление. Формирующиеся при этом донные отложения, как известно, на качественном и количественном уровнях отражают не только современную картину природно-антропогенной трансформации экосистем озер и водохранилищ, но и те эволюционные изменения природной среды, которые были характерны для водоема и его водосборного бассейна в обозримом историческом масштабе времени. Послойный характер формирования отложений позволяет реконструировать палеогеографическую и геохимическую обстановку и динамику водных сообществ на основе широкого спектра подходов, используемых в современной палеолимнологии. Результаты исследований показателей современного и исторического осадконакопления и определения качественного состава поверхностных и стратифицированных отложений предоставляют возможность для объективного прогноза эволюционного развития водной экосистемы, учитывающего, среди прочих тенденций, скорость аккумуляции вещества в ложе водоема.

Седименты, их состав и свойства отражают особенности той ландшафтной зоны, в которой находится водоем, поэтому изучение ре-

гиональных аспектов формирования осадков представляет значительный научный интерес. С учетом географической зональности процессов формирования донных отложений представляется важным поиск единых закономерностей осадконакопления в разнотипных водных объектах региона Средней Волги – реках, озерах и водохранилищах.

Началом современного этапа истории изучения водоемов Среднего Поволжья и их донных отложений явились исследования Казанского отдела гидрологии и водных ресурсов СевНИИГиМ, проведенные в 1960–70-х гг. В этот период были получены сведения о морфометрии, гидрохимии, термическом режиме и других характеристиках более 300 озер региона, изложенные в монографии «Озера Среднего Поволжья» [1976]. В ней содержатся и краткие сведения о составе донных отложений водоемов Татарстана, Чувашии, Марий Эл и Ульяновской области, которые носят по большей части справочный характер. В последнее десятилетие были проведены исследования, направленные на определение показателей скорости накопления и основных свойств донных отложений озер и водохранилищ на территории Республики Татарстан [Иванов, Зиганшин, 2006; Иванов и др., 2007, 2011а, б, в, 2016 и др.]. Цель настоящей работы заключалась в количественной оценке скорости современного и среднемноголетнего осадконакопления в природных и искусственных водоемах Средней Волги, расположенных в различных физико-географических условиях.

Материалы и методы

С целью установления общих закономерностей современного и исторического осадконакопления в разнотипных водоемах Средней Волги, в период с 2007 по 2015 гг. нами были выполнены седиментологические исследования 66 водных объектов на территории Чувашской Республики, республик Татарстан и Марий Эл. В физико-географическом отношении указанные водные объекты расположены в пределах провинций Приволжской возвышенности и Низменного Заволжья [Физико-географическое..., 1964] (рис. 1). По происхождению озерных котловин они относятся к карстовым, междюнным, пойменным и искусственным (пруды, карьеры и копани) водоемам (табл. 1).

Лимнологические исследования озер включали в себя широкий спектр определяемых показателей, в т. ч. их морфометрических характеристик, степени зарастания и прозрачности воды. Глубины определяли при помощи эхолота и лота с храпцом. Координаты точек промеров глубин фиксировали GPS-навигатором Garmin CSx 76.

Для сравнительного изучения процессов современного и многолетнего осадконакопления из общего количества обследованных водоемов было выбрано 17 «модельных» озер разнотипного (природного и искусственного) происхождения, расположенных в различных физико-географических районах (рис. 1, табл. 2).

Исследования современных седиментационных процессов в озерах выполнялись с применением ловушек стаканного типа. Седиментационные ловушки устанавливались на дно в наиболее глубокой точке водоема, определяемой по результатам батиметрических ис-

Таблица 1. Распределение исследованных водоемов по генезису котловин

Table 1. Distribution of the studied waterbodies according to the genesis of lake basins

Генезис Genesis	Низменное Заволжье The low-lying Trans-Volga region	Приволжская возвышенность The Volga Upland	Всего In all
Карстовые Karstic	3	9	12
Междюнные Interdunal	4	-	4
Пойменные Flood plain	1	14	15
Искусственные Artificial	1	34	35
Итого Total	9	57	66

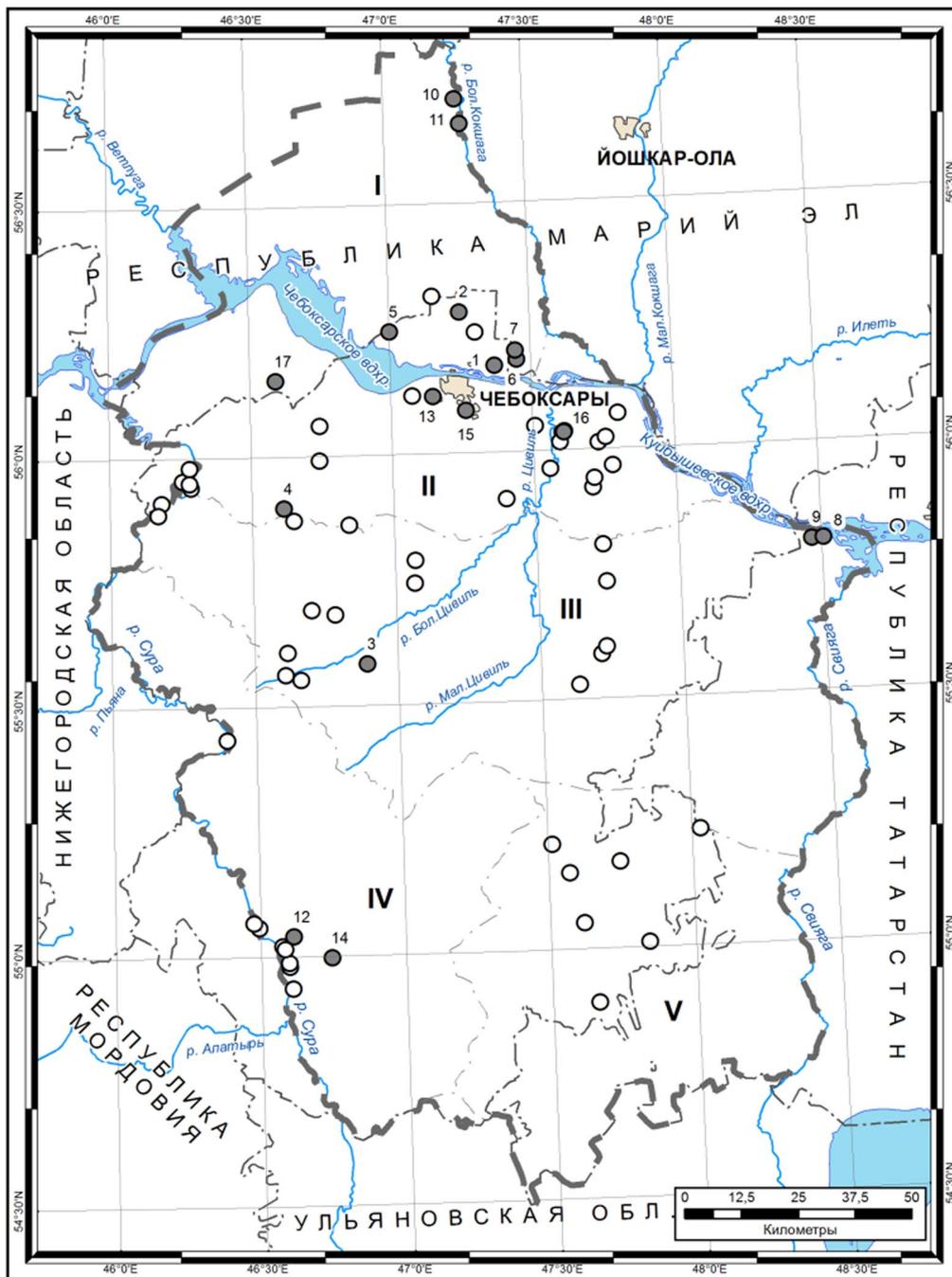
следований. Сроки установки варьировали от сезона до календарного года. Полученный седиментационный материал высушивался и взвешивался. Данные о массе осадка использовались для расчетов скорости осадконакопления за соответствующий временной интервал ($\text{г}/(\text{м}^2 \cdot \text{сутки})$, $\text{г}/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$, $\text{мм}/\text{год}$). Указанная величина обозначена как «скорость современного осадконакопления» и используется далее по тексту при описании текущей скорости осадконакопления в озерах.

Известно, что с течением времени донные отложения трансформируются и уплотняются. Это обуславливает разницу между мощностью ежегодно поступающего осадка и его вкладом в структуру многолетних отложений. С учетом сказанного пересчет массы фактического поступления вещества на единицу площади ($\text{г}/\text{м}^2$) в величину прироста отложений (мм) производился с учетом среднего по колонке объемного веса.

В отличие от метода седиментационных ловушек стратиграфический метод позволяет уловить среднемноголетние тенденции осадконакопления. С целью определения исторической скорости накопления осадков в наиболее глубоких частях котловин 48 водных объектов естественного и искусственного происхождения трубками ГОИН ТГ-1.0 и ТГ-1.5 был выполнен отбор кернов отложений. Их мощность варьировала от 20 до 116 см. При полевом описании керна в первую очередь отмечали наличие в нем слоистости, обусловленной годовой цикличностью осадконакопления, а также цвет, консистенцию, плотность, морфологические особенности. Величину среднемноголетнего прироста отложений естественных озер оценивали путем усреднения данных о мощности выделяющихся в толще осадка годовых слоев.

С учетом в целом низкой величины озерности территории Чувашии [Озера..., 1976] особое внимание в ходе исследований уделялось искусственным водоемам, возраст которых оценивался по архивным [Инвентаризация..., 2003] и литературным данным. Установлено, что основная часть прудов, расположенных на территории Чувашии и сопредельных с ней регионов, были образованы в 1960-е годы, однако имеется и ряд водных объектов с более поздним сроком создания. Таким образом, средний возраст прудов на момент проведения исследований оценивается в 50 лет.

В каждом из 35 исследованных прудов в отобранных кернах донных отложений зафиксировано наличие «маркерного» слоя, отличающегося специфическими морфологическими признаками, позволяющими идентифициро-



УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

- Модельные водоёмы
- Изученные водоёмы
- Границы субъектов РФ
- Границы региона исследований
- - - Границы физико-географических районов

Рис. 1. Карта-схема расположения исследованных водоёмов:

Низменное Заволжье: I – Ветлужско-Кокшагский полесский район; *Приволжская возвышенность:* II – Чебоксарский возвышенно-равнинный район со зрелым эрозийным ландшафтом, III – Цивиль-Кубнинский возвышенно-равнинный лесостепной район эрозийного ландшафта, IV – Засурский полесский район смешанных лесов, V – Средне-Свияжский возвышенно-равнинный оstepенный район. 1–17 – номера модельных водоёмов

Fig. 1. A schematic map of the studied waterbodies:

The low-lying Trans-Volga region: I – Vetluzhsko-Kokshagsky polessky (woodland) region; *The Volga Upland:* II – Cheboksarsky elevated plain region with mature erosive landscape; III – Tsvil-Kubninsky elevated plain forest-steppe region with erosive landscape; IV – Zasursky polessky (woodland) region of mixed forests, V – Middle Sviyazhsky elevated plain steppe region. 1–17 – numbers of model waterbodies

Таблица 2. Параметры установки седиментационных ловушек

Table 2. Parameters of sediment traps installation

№ п/п* No.	Название водоема Waterbody	Средняя глубина, м Average depth, m	Максимальная глубина, м Maximum depth, m	Глубина установки, м Installation depth, m	Годы наблюдений Years of survey
Озера Lakes					
1	Астраханка Astrakhanka	1,1	2,3	2,3	2007–2009
2	Изъяр Izyar	2,7	6,4	5,0	2007–2009
3	Кюльхири (Вурнарское) Kyulkhiri (Vurnarskoye)	3,2	13,2	5,0	2007–2009
4	Сюткюль Syutkyul	2,6	16,1	16,1	2007–2010
5	Светлое Svetloye	3,4	18,2	7,0; 15,0	2007–2012
6	Большой Юлуксьер Bolshoi Yuluksyer	1,8	2,4	1,6; 2,0; 2,6	2007–2013
7	Малый Юлуксьер Maly Yuluksyer	1,7	2,4	2,0	2007–2012
8	Собакино Sobakino	2,0	3,9	3,5	2007–2008
9	Провальное Provalnoye	5,0	11,0	11	2007–2011
10	Шушер Shusher	4,0	12,2	12	2008
11	Старица р. Бол. Кокшага Staritsa Bol. Kokshaga Riv.	1,5	4,5	4,0	2008
12	Большой Буймас Bolshoi Buimas	1,5	4,5	4,0	2014
Пруды Ponds					
13	Чапаевский (1988**) Chapayevsky (1988**)	5,7	8,2	5,0; 6,0	2008–2009
14	Карьер ГПЗ «Присурский» (1985) Quarry in the Prisursky Nat. Reserve (1985)	0,6	2,5	2,0	2007–2011
15	Ботсад г. Чебоксары (1960) Bot. garden in Cheboksary (1960)	1,9	5,3	5,0	2007
16	Ельниково-2 (1985) Elnikovo-2 (1985)	1,3	5,4	3,5	2008–2011
17	Виловатово (1962) Vilovatovo (1962)	1,9	4,5	4,5	2008

Примечание. * Расположение водоемов см. на рис. 1; ** в скобках указан год образования пруда.

Note. * See Fig. 1 for the location of the waterbodies; ** the years of ponds formation are given in brackets.

вать возраст отложений, даже при отсутствии ясно выраженной слоистости. Как правило, этот слой представлен затопленными почвами (грунтами) ложа водоема или речными русловыми отложениями. Наличие маркерного слоя, возраст которого известен, предоставило возможность не только достаточно точно и объективно оценить фактическую мощность накоп-

ленных в водоеме за определенный период отложений, но и рассчитать среднюю скорость осадконакопления. Средняя мощность вторичных отложений искусственных водоемов региона составила 40 см при вариации 10–75 см в зависимости от времени их создания, а также соотношения основных источников грунтообразующего материала.

Таблица 3. Типология донных отложений водоемов региона

Table 3. Typology of bottom sediments in the waterbodies of the region

Подгруппа Subgroup	Тип Type	Частицы <0,01 мм, % Particles <0,01 mm, %	ППП, % LOI, %	Доля типов отложений, % Percentage of sediments, %
Минеральные (неорганические) Mineral (inorganic)	Пески Sands	0–5	0,5	0,5
	Илистые пески Silty sands	5–10	5,2	3,4
	Песчанистые илы Sandy silt	10–30	9,2	27,6
	Глинистые илы Clayed silt	> 30	17,5	60,3
Органические Organic	Торфогенный (переходный) ил Peat generating (transitional) silt	-	30–40	1,7
	Торфянистый ил Peat-like silt	-	40–70	3,4
	Отложения из макрофитов Macrophyte sediments	-	> 70	3,5

В осадках из седиментографов и образцах донных отложений послойно (через каждые 5 (10) см) определяли объемный вес и влажность, гранулометрический состав пипеточным методом по Н. А. Качинскому, содержание органического вещества по потерям при прокаливании (ППП) при 550 °С. Выделение типов донных отложений выполнено на основе классификации В. П. Курдина и Б. И. Новикова, модифицированной В. В. Законновым [2007].

Статистическая обработка данных осуществлялась с использованием пакета Statistica 10.0. Для оценки средних использовали медиану вариационного ряда, а для установления показателей корреляционной связи и сравнения выборок данных – непараметрические критерии.

Результаты и обсуждение

В количественном отношении на территории Приволжской возвышенности и региона в целом доминируют минеральные отложения, они отмечены в 91,4 % водоемов и представлены всеми типами, от песков до глинистых илов с содержанием пелитовых частиц 5–84 %, преобладающими являются глинистые и песчанистые илы (табл. 3).

В донных отложениях водоемов Низменного Заволжья на первое место выходит органическая составляющая, что обусловлено ландшафтными особенностями территории – песчаным характером почв и грунтов, высокой залесенностью и заболоченностью, почти полным отсутствием эрозионного смыва, а также генезисом озерных котловин и характером биопродукционных процессов в них. Группа органических осадков представ-

лена здесь торфогенными и торфянистыми илами и отложениями из макрофитов, содержащими различное количество органического вещества (табл. 3). На территории Приволжской возвышенности указанные типы отложений отмечены в пойменных озерах Присурья и в зарастающих старицах других рек, где увеличивается вклад макрофитов в первичную продукцию.

Результаты определения скорости современного осадконакопления показали, что поступление вещества в водоемы региона происходит в среднем на уровне 1600 г/(м²·год) при вариабельности от 70 до 11 000 г/(м²·год) (табл. 4). Различия в показателях аккумуляции веществ в донных отложениях водоемов Приволжской возвышенности и Низменного Заволжья оказались статистически недостоверны ($p < 0,05$), что свидетельствует о специфическом характере взаимодействующих процессов, определяющих итоговое значение этой величины. Близкие к исследуемым водоемам показатели осадконакопления были установлены для Чебоксарского и Куйбышевского водохранилищ р. Волга [Законнов и др., 2007; Законнов, Законнова, 2008]. Все это подтверждает высказанное нами ранее предположение [Иванов, Зиганшин, 2006], что в пределах Среднего Поволжья средняя скорость современного осадконакопления в водоемах различного типа (озера, пруды, водохранилища) находится на одном уровне.

При сравнении величин осадконакопления, рассчитываемых на количество поступающего вещества (г/(м²·год)) и на мощность ежегодно откладываемого осадка (мм/год), проявляется диспропорция, связанная с различиями

Таблица 4. Показатели осадконакопления в водоемах региона

Table 4. Indicators of sedimentation in the waterbodies of the region

Показатели Indicators		В среднем по региону Regional average	Приволжская возвышенность The Volga Upland	Низменное Заволжье The low-lying Trans- Volga region
Современное осадконакопление, г/(м ² ·год) Contemporary sedimentation, g/(m ² ·year)	Me*	1632,3	1676,1	1628,8
	M ± m	2154,8 ± 292,9	2003,0 ± 386,0	2289,0 ± 459,9
	min–max V, %	72,7–10660,0 94	72,7–6522,2 94	311,1–10660,0 67
Современное осадконакопление, мм/год Contemporary sedimentation, mm/year	Me	4,7	4,3	12,5
	M ± m	12,0 ± 1,9	5,0 ± 1,0	12,5 ± 3,2
	min–max V, %	0,2–76,2 112	0,2–19,2 92	2,8–76,2 66
Среднегодовое осадконакопление, мм/год Long-time average sedimentation, mm/year	Me	3,8	2,8	12,5
	M ± m	8,5 ± 1,5	4,6 ± 0,8	12,5 ± 3,2
	min–max V, %	0,2–33,1 98	0,2–10,2 64	1,47–33,1 74

Примечание. *Me – медиана, M ± m – среднее арифметическое и ошибка среднего, min–max – пределы варьирования, V – коэффициент вариации.

Note. *Me – median, M ± m – arithmetical mean and error in mean, min–max – limits of variation, V – variation coefficient.

в плотности отложений водоемов исследуемых географических провинций (табл. 4). Донные отложения озер Заволжья – это водонасыщенные сапропели с низким объемным весом (~0,1–0,2 г/см³), величина которого сохраняет стабильность по глубине керна. Они формируются за счет аутигенного органического детрита и лесного опада, перемещаемого в водоемы из прилегающих лесных массивов. Преимущественно минеральные по составу глинистые отложения озер Предволжья, представленные терригенными частицами почв и пород водосборных бассейнов, характеризуются большей плотностью, меняющейся, как правило, от 0,4 до 0,8 г/см³. Отсюда при одинаковых средних величинах поступления вещества на единицу площади дна скорости накопления отложений, выраженные в мощности осадка, накопленного за единицу времени (мм/год), отличаются. В озерах Заволжья ежегодно образуемая высота слоя отложений почти в 3 раза выше, чем в водоемах Приволжской возвышенности. Тем не менее на большей части территории региона скорости осадконакопления, определяемые высотой осадочного слоя, также укладываются в диапазон значений, характерных для озер, прудов и водохранилищ Средней Волги, – 3–7 мм/год [Иванов, Зиганшин, 2006; Законнов и др., 2007; Иванов и др., 2011а], в среднем составляя 5 мм/год. Сравнение скоростей современного и среднегодового осадконакопления на уровне географических провинций и региона в целом показало, что они являются достаточно близкими (табл. 4).

Проведенный нами сравнительный анализ показателей скорости формирования донных

отложений учитывал уровень «охвата» географического пространства и свойственные для каждого уровня диапазоны проявления факторов осадконакопления. Вполне ожидаемо, что для каждого из рассматриваемых физико-географических районов были характерны свои пространственно-временные флуктуации, которые, как показано выше, при усреднении данных применительно к масштабу провинций полностью нивелировались (табл. 5). Например, интенсивное осадконакопление в водоемах Засурского района обязано как поступлению биогенного материала с территории лесистых водосборов, так и значительному вкладу в прирост отложений образуемого в этих макрофитных озерах внутриводоемного органического вещества. Пруды, расположенные на малых реках, закономерно отличались от естественных озер более высокими темпами формирования осадков за счет увеличения выноса терригенного вещества с обширных речных водосборов, но в пространственном отношении установленные скорости осадконакопления в искусственных водоемах представляются достаточно выровненными (табл. 5). Как известно, пруды лесостепной зоны в целом отличаются высокой наносодерживающей способностью, что, как отмечала М. Я. Прыткова [1982], позволяет при обобщении данных по осадконакоплению в них не учитывать проточность.

Таким образом, скорость осадконакопления в водоемах Приволжской возвышенности и Низменного Заволжья имеет признаки квазистационарности, когда совокупное количество органических и минеральных осадков, аккумулируемых в течение длительного историче-

Таблица 5. Средние показатели осадконакопления в водоемах физико-географических районов

Table 5. Average values of sedimentation in waterbodies of the physico-geographical regions

Показатели Index	Физико-географические районы Physico-geographical regions				
	Ветлужско-Кокшагский Vetluzhsko-Kokshagsky	Чебоксарский Cheboksarsky	Цивиль-Кубнинский Tsvivil-Kubninsky	Засурский Zasursky	Средне-Свияжский Middle-Sviyazhsky
Современное осадконакопление Contemporary sedimentation					
г/(м ² -год) g/(m ² -year)	1628,8	1993	651	3710	-
мм/год mm/year	12,5	2,3	3,0	11,1	-
Среднегодовое осадконакопление в озерах Long-time average sedimentation in lakes					
мм/год mm/year	12,5	2,8	1,3	8,2	6,4
Среднегодовое осадконакопление в прудах Long-time average sedimentation in ponds					
мм/год mm/year	14,8	12,5	9,5	11,4	9,8

Примечание. Прочерк означает отсутствие данных.

Note. "-" means no data.

ского периода, может быть охарактеризовано относительно постоянной величиной.

Известно, что скорость поступления веществ на дно водоемов подчинена сезонным колебаниям и обусловлена периодичностью явлений в природной среде, в первую очередь биоклиматического характера. Как для терригенных, так и для аутигенных осадков приоритетное значение имеет период открытой воды, когда в водоеме активно накапливаются вещества минерального и органического происхождения. Хемогенные осадки могут образовываться и в подледный период, однако скорости химических реакций, приводящих к их образованию, увеличиваются с повышением температуры среды.

Рассмотрим некоторые особенности сезонной динамики осадконакопления на примере четырех водоемов (рис. 2).

В проточном искусственном оз. Астраханка (Низменное Заволжье) наиболее интенсивное поступление вещества в донные отложения – в среднем 7,2 г/(м²-сут.) – наблюдалось в весенний период, в 2,2 раза превышая летнее осадконакопление. Это обусловлено тем, что основная масса взвешенных веществ, составляющих приходную статью в седиментационном балансе этого проточного водоема, поступает в ходе весеннего половодья.

В оз. Большой Юлуксьер, также расположенном в Заволжье, напротив, преобладает летний приток вещества. Водоем окружен торфяной сплавиной, площадь которой сопоста-

вима с площадью открытого водного зеркала. Основную долю в составе отложений занимает органический детрит (до 70–80 % по массе), состоящий из полуразложившейся высшей водной растительности. В течение лета на 1 м² дна накапливается до 2 кг органических осадков, прирост которых достигает 20 мм. Учитывая, что Б. Юлуксьер отличается незначительной средней глубиной (1,8 м), прогноз изменения глубины водоема в случае сохранения темпов осадконакопления негативный: в течение 20–25 лет озеро может полностью потерять водную поверхность. Важно отметить, что при наличии выраженной сезонной динамики усредненная за год скорость накопления вещества в озерах Астраханка и Б. Юлуксьер выражается одной величиной – 5 г/(м²-сут.).

В Засурском полесском районе (карьер в ГПЗ «Присурский») до 90 % от общей аккумуляции веществ в донных отложениях происходит в конце лета – начале осени. Как и другие водоемы района, карьер располагается в смешанном лесу, поэтому формирование озерных осадков в значительной мере происходит за счет органической составляющей – отмирающих остатков растительности и лесного опада.

Скорость накопления вещества в пруду Ботанического сада (Чебоксарский возвышенно-равнинный район) отличает отсутствие выраженного сезонного пика. В отличие от рассмотренных выше водоемов здесь на осадконакопление оказывает влияние расположение водосборного бассейна на urba-

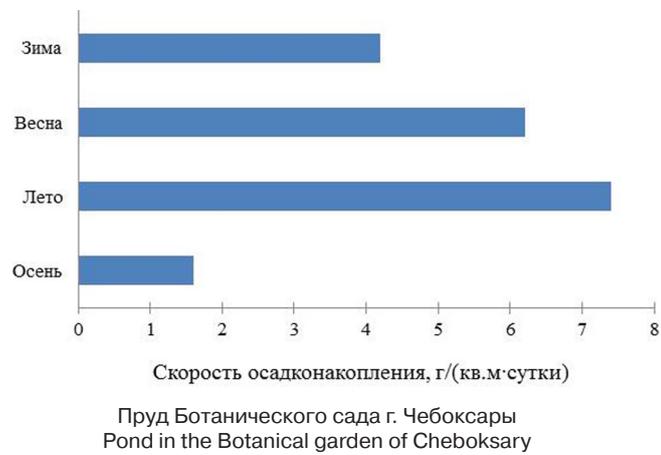
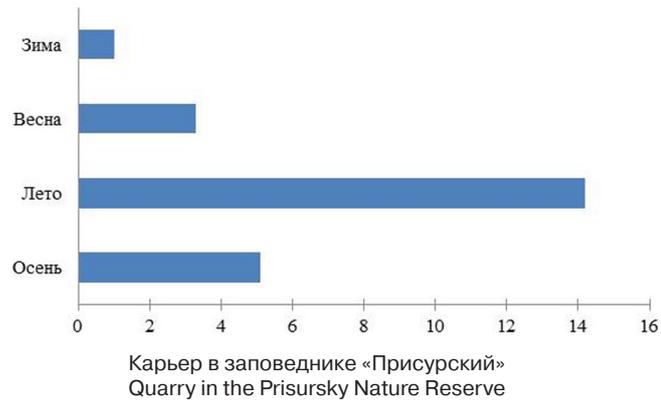
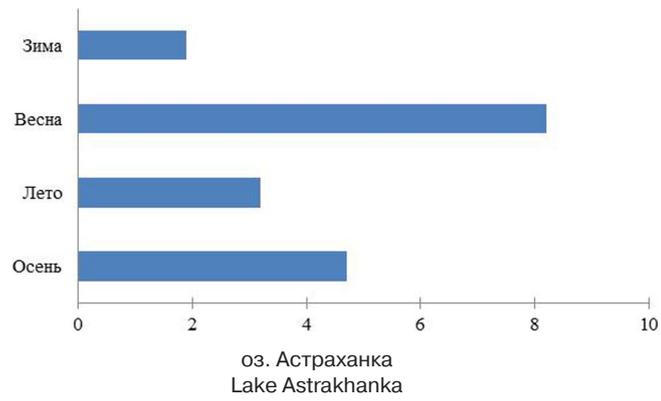
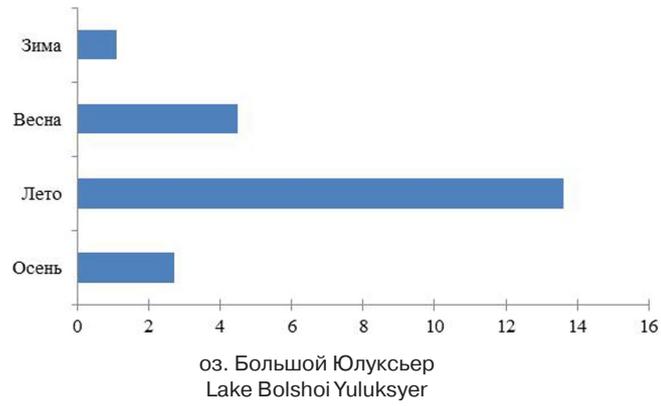


Рис. 2. Сезонная динамика осадконакопления в модельных водоемах
Fig. 2. Seasonal dynamics of sedimentation in model waterbodies

Таблица 6. Шкала интенсивности осадконакопления в водоемах региона

Table 6. The scale of sedimentation intensity in the waterbodies of the region

Класс Class	Подкласс Subclass	Поступление вещества, г/(м ² -год) Substances entry, g/(m ² -year)	Интенсивность осадконакопления Sedimentation intensity
I Слабая Weak	1	<2000	Очень слабая Very low
	2	2000–4000	Слабая Low
II Средняя Middle	3	4000–6000	Умеренная Moderate
	4	6000–8000	Интенсивная Intense
III Сильная Strong	5	8000–10 000	Высокая High
	6	>10 000	Очень высокая Very high

низированной территории, где на природные факторы поступления и накопления вещества накладывается антропогенный, регулируя объемы стока растворенных и взвешенных веществ. При средней величине осадконакопления 4,9 г/(м²-сут.) минимальные ее значения отмечались в осенний период, когда они не превышали 2,0 г/(м²-сут.).

Рассчитанная нами по итогам 7-летних исследований среднесуточная величина осадконакопления 4,5 г/м² по своей сути представляет собой фоновый, т. е. наиболее типичный количественный показатель аккумуляции вещества в водоемах региона на современной стадии их природно-антропогенной трансформации. Полученные значения могут быть с высокой степенью достоверности экстраполированы и на неизученные водные объекты Чувашии, а также на водоемы других регионов со сходными физико-географическими условиями.

Для количественной и качественной оценки скорости современного осадконакопления в водоемах Низменного Заволжья и Приволжской возвышенности была разработана соответствующая шкала. Весь диапазон изменчивости сезонных и годовых показателей поступления вещества был разбит на интервалы. Величина интервала определялась с помощью формулы Стерджеса [Зайцев, 1984]:

$$c = \frac{0.301(x_N - x_1)}{\lg N},$$

где c – величина классового интервала, x_N – максимальная варианта выборки, x_1 – минимальная варианта, N – объем выборки.

Региональная шкала интенсивности осадконакопления включает в себя 3 класса и 6 подклассов (табл. 6). В регионе преобладают водоемы с очень слабой скоростью поступления вещества (1 подкласс), не превышающей

2000 г/(м²-год): их доля составляет 81 % исследованных водных объектов. Оставшиеся водоемы характеризуются от слабого до интенсивного уровнями осадконакопления. Высокие и очень высокие показатели поступления вещества в донные отложения наблюдались в отдельные сезоны только в оз. Б. Юлуксьер. Во всех водоемах по итогам анализа морфометрических данных выявлены черты старения и трансформации озерной котловины [Осмелкин и др., 2013]. В частности, старение мелководных озер Заволжья связано с их повышенной чувствительностью к изменению среднегодового количества осадков как основного источника водного питания и с активным зарастанием.

Полученные расчетные данные в совокупности с оценкой современных показателей накопления осадков позволяют формулировать прогнозы заиления водоемов Чувашии в разрезе физико-географических районов. Наибольшие темпы осадконакопления следует ожидать на территории Ветлужско-Кокшагского полесского района (Низменное Заволжье).

Заключение

Проведенные впервые с учетом провинциальных физико-географических особенностей территории комплексные исследования донных отложений и процессов осадконакопления в разнотипных водоемах Чувашской Республики позволили количественно оценить скорости современного и среднемноголетнего накопления вещества, характерные для природных и искусственных озер региона. Отмечено преобладание аутигенного накопления осадков в озерах провинции Низменного Заволжья и терригенного – в водоемах Приволжской возвышенности.

В целом для территории Заволжья и Предволжья выявлен широкий диапазон скорости озерного осадконакопления – от 70 до 11 000 г/(м²·год). При этом средние показатели аккумуляции вещества на современном этапе природно-антропогенной трансформации лимнических систем региона находятся на едином для исследуемых провинций уровне – 1600 г/(м²·год).

Установлено, что региональные показатели интенсивности прироста донных отложений в водоемах Чувашии лежат в интервале среднемноголетних значений, характерных для озер и водохранилищ бассейна Средней Волги, – 3–7 мм/год. Таким образом, полученные данные свидетельствуют об универсальных закономерностях формирования осадков в водоемах, расположенных в сходных физико-географических условиях. Не менее значимым является тот факт, что темпы современного и исторического осадконакопления в водоемах приволжской и заволжской географических зон республики имеют признаки квазистационарности, свидетельствующие о доминирующей роли природных факторов в седиментационном балансе озер.

Выявленные в результате длительных стационарных наблюдений некоторые специфические черты динамики поступления вещества в котловины озер, хотя и модулируются совокупностью разнонаправленных факторов среды, при переходе от средних за сезон к среднегодовым и среднемноголетним скоростям осадконакопления в пространственном отношении полностью сглаживаются. Это дает возможность оперировать репрезентативными среднемноголетними величинами аккумуляции при проведении балансовых расчетов потоков вещества в системе «водосбор – озеро» и при прогнозах интенсивности заиления водоемов.

По итогам мониторинга современных процессов аккумуляции вещества была разработана региональная шкала интенсивности осадконакопления в озерах Чувашии, на основе которой выполнено ранжирование водоемов Низменного Заволжья и Приволжской возвышенности по классам в зависимости от скорости осадконакопления. Для большинства озер можно ожидать сохранения существующих темпов заиления, наибольшие же величины прироста отложений (более 6000 г/(м²·год)) прогнозируются в зарастающих озерах Ветлужско-Кокшагского полесского района.

Полученные данные о скорости осадконакопления в озерах Чувашской Республики могут быть использованы при разработке широкого спектра водохозяйственных мероприятий, направленных на их сохранение и экологическую реабилитацию водных объектов региона.

Литература

Ермолаев О. П. Эрозия в бассейновых геосистемах. Казань: Унипресс, 2002. 264 с.

Зайцев Г. Н. Математическая статистика в экспериментальной ботанике. М.: Наука, 1984. 425 с.

Законнов В. В. Осадкообразование в водохранилищах Волжского каскада: Дис. ... докт. геогр. наук. М., 2007. 379 с.

Законнов В. В., Иванов Д. В., Законнова А. В., Кочеткова М. Ю., Маланин В. В., Хайдаров А. А. Пространственная и временная трансформация донных отложений в водохранилищах Средней Волги // Водные ресурсы. 2007. Т. 34, № 3. С. 1–9.

Законнов В. В., Законнова А. В. Географическая зональность осадкообразования в системе волжских водохранилищ // Известия РАН. Сер. геогр. 2008. № 2. С. 105–111.

Иванов Д. В., Зиганшин И. И. Характеристика осадконакопления в водоемах Республики Татарстан // Двадцать первое пленарное межвуз. совещание по проблеме эрозионных, русловых и устьевых процессов. Чебоксары, 2006. С. 115–116.

Иванов Д. В., Зиганшин И. И., Осмелкин Е. В. Осадконакопление и заиление озер Средней Волги // Теория и практика восстановления внутренних водоемов: Тез. докл. науч.-практ. конф. СПб., 2007. С. 21.

Иванов Д. В., Зиганшин И. И., Осмелкин Е. В. Оценка скорости осадконакопления в озерах Казани и Приказанья // Георесурсы. 2011а. № 2(38). С. 46–48.

Иванов Д. В., Зиганшин И. И., Осмелкин Е. В., Хасанов Р. Р. Характеристика процессов илонакопления в Собакинской системе озер // Труды КарНЦ РАН. 2016. № 5. С. 53–61. doi: 10.17076/lim330

Иванов Д. В., Шагидуллин Р. Р., Зиганшин И. И., Осмелкин Е. В. Взаимосвязь вещественного состава озерных отложений и антропогенного преобразования природных ландшафтов Республики Татарстан // Экология и промышленность России. 2011б. № 6. С. 35–38.

Иванов Д. В., Шагидуллин Р. Р., Зиганшин И. И., Осмелкин Е. В. Донные отложения Заинского водохранилища // Учен. зап. Казан. ун-та. Сер. Естеств. науки. 2011в. Т. 153, кн. 1. С. 190–202.

Инвентаризация гидротехнических сооружений (гидроузлов) в хозяйствах Чувашской Республики. Кн. 1. Чебоксары, 2003. 175 с.

Озера Среднего Поволжья. Л.: Наука, 1976. 236 с.

Осмелкин Е. В., Суин М. В., Подшивалина В. Н. Оценка влияния особенностей водосбора на процессы старения малых карстовых озер // Вода: химия и экология. 2013. № 1. С. 9–14.

Прыткова М. Я. Географические закономерности осадконакопления в малых водохранилищах: Автореф. дис. ... докт. геогр. наук. М., 1982. 42 с.

Физико-географическое районирование Среднего Поволжья / Под ред. А. В. Ступишина. Казань: КГУ, 1964. 197 с.

Поступила в редакцию 17.04.2018

References

Ermolaev O. P. Eroziya v basseinovykh geosistemakh [Erosion in basin geosystems]. Kazan': Unipress, 2002. 264 p.

Fiziko-geograficheskoe raionirovanie Srednego Povolzh'ya [Physico-geographical zoning of the Middle Volga Region]. Kazan: KSU, 1964. 197 p.

Ivanov D. V., Ziganshin I. I. Kharakteristika osadkonakopleniya v vodoemakh Respubliki Tatarstan [Characteristics of sedimentation in water bodies of the Republic of Tatarstan]. *Dvadsat' pervoe plenarnoe mezhevuz. soveshchanie po probleme erozionnykh, ruslovykh i ust'evykh protsessov* [21st plenary interuniv. meeting on the problem of erosion, channel and wellhead processes]. Cheboksary, 2006. P. 115–116.

Ivanov D. V., Ziganshin I. I., Osmelkin E. V. Osadkonakoplenie i zailenie ozer Srednei Volgi [Sedimentation and silting of the lakes of the Middle Volga]. *Teoriya i praktika vosstanovleniya vnutr. vodoemov: Tez. dokl. nauch.-prakt. konf. [Theory and practice of restoration of inland water bodies: Proceed. sci. and practical conf.]*. St. Petersburg, 2007. P. 21.

Ivanov D. V., Ziganshin I. I., Osmelkin E. V. Otsenka skorosti osadkonakopleniya v ozerakh Kazani i Prikazan'ya [Assessment of sedimentation rate in the lakes of Kazan and the Kazan area]. *Georesources*. 2011. No. 2(38). P. 46–48.

Ivanov D. V., Ziganshin I. I., Osmelkin E. V., Khasanov R. R. Kharakteristika protsessov ilonakopleniya v Sobakinskoj sisteme ozer [Characteristics of the processes of silt accumulation in the Sobakinsky lakes system]. *Tr. KarNTs RAN* [Trans. KarRC RAS]. 2016. No. 5. P. 53–61. doi: 10.17076/lim330

Ivanov D. V., Shagidullin R. R., Ziganshin I. I., Osmelkin E. V. Vzaimosvyaz' veshchestvennogo sostava ozer nykh otlozhenii i antropogennogo preobrazovaniya prirodnykh landshaftov Respubliki Tatarstan [Interrelation of the material composition of lake sediments and anthropogenic transformation of the natural landscapes in the Republic of Tatarstan]. *Ekol. i promyshlennost' Rossii* [Ecology and Industry of Russia]. 2011a. No. 6. P. 35–38.

Ivanov D. V., Shagidullin R. R., Ziganshin I. I., Osmelkin E. V. Donnye otlozheniya Zainskogo vodo-

khranilishcha [Bottom sediments of the Zainsky Reservoir]. *Uch. zapiski Kazanskogo univ. Ser. Estestv. nauki* [Proceed. Kazan Univ. Nat. Sci. Series]. 2011b. Vol. 153, book 1. P. 190–202.

Inventarizatsiya gidrotekhnicheskikh sooruzhenii (gidrouzlov) v khozyaistvakh Chuvashskoi Respubliki [Inventory of hydraulic structures (hydroschemes) in the farms of the Chuvash Republic]. Book 1. Cheboksary, 2003. 175 p.

Osmelkin E. V., Suin M. V., Podshivalina V. N. Otsenka vliyaniya osobennosti vodosbora na protsessy stareniya malykh karstovykh ozer [Evaluation of the influence of the catchment features on the aging processes of small karst lakes]. *Water: Chemistry and Ecology*. 2013. No. 1. P. 9–14.

Ozera Srednego Povolzh'ya [Lakes of the Middle Volga area]. Leningrad: Nauka, 1976. 236 p.

Prytkova M. Ya. Geograficheskie zakonomernosti osadkonakopleniya v malykh vodokhranilishchakh [Geographical patterns of sediment accumulation in small reservoirs]: Summary DSc (Dr. of Geogr.) thesis. Moscow, 1982. 42 p.

Zaitsev G. N. Matematicheskaya statistika v eksperimental'noi botanike [Mathematical statistics in experimental botany]. Moscow: Nauka, 1984. 425 p.

Zakonov V. V. Osadkoobrazovanie v vodokhranilishchakh Volzhskogo kaskada [The bottom sediments formation in the Volga cascade reservoirs]: DSc (Dr. of Geogr.) thesis. Moscow, 2007. 379 p.

Zakonov V. V., Ivanov D. V., Zakonova A. V., Kochetkova M. Yu., Malanin V. V., Khaidarov A. A. Prostranstvennaya i vremennaya transformatsiya donnykh otlozhenii v vodokhranilishchakh Srednei Volgi [Spatial and temporal transformations of bottom sediments in the Middle Volga Reservoirs]. *Vodn. resursy* [Water Resources]. 2007. Vol. 34, no. 3. P. 1–9.

Zakonov V. V., Zakonova A. V. Geograficheskaya zonal'nost' osadkoobrazovaniya v sisteme volzhskikh vodokhranilishch [Geographical zonality of sediment formation in the system of the Volga Reservoirs]. *Izv. RAN. Ser. Geogr.* [Bull. RAS. Geographical Ser.]. 2008. No. 2. P. 105–111.

Received April 17, 2018

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Иванов Дмитрий Владимирович

заместитель директора по научной работе, к. б. н.
Институт проблем экологии и недропользования
АН Республики Татарстан
ул. Даурская, 28, Казань, Республика Татарстан, Россия,
420087
эл. почта: water-rf@mail.ru
тел.: (843) 2759573

Осмелкин Евгений Витальевич

директор
Государственный природный заповедник «Присурский»
пос. Лесной, 9, Чебоксары,
Чувашская Республика, Россия, 428034
эл. почта: pisurskij@mail.ru
тел.: (8352) 414849

CONTRIBUTORS:

Ivanov, Dmitry

Institute for Problems of Ecology and Mineral Wealth Use,
Tatarstan Academy of Sciences
28 Daur'skaya St., 420087 Kazan, Republic of Tatarstan, Russia
e-mail: water-rf@mail.ru
tel.: (843) 2759573

Osmelkin, Evgeny

Prisursky Strict Nature Reserve
9 Poselok Lesnoy, 428034 Cheboksary, Chuvash Republic,
Russia
e-mail: pisurskij@mail.ru
tel.: (8352) 414849

Зиганшин Ирек Ильгизарович

старший научный сотрудник, к. г. н., доцент
Институт проблем экологии и недропользования
АН Республики Татарстан
ул. Даурская, 28, Казань, Республика Татарстан, Россия,
420087
эл. почта: Irek.Ziganshin@tatar.ru
тел.: (843) 2759573

Ziganshin, Irek

Institute for Problems of Ecology and Mineral Wealth Use,
Tatarstan Academy of Sciences
28 Daurkaya St., 420087 Kazan, Republic of Tatarstan, Russia
e-mail: Irek.Ziganshin@tatar.ru
tel.: (843) 2759573

ГИДРОБИОЛОГИЯ

УДК 556.555.4 (282.247.211)

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭКОСИСТЕМЫ ОНЕЖСКОГО ОЗЕРА В ПЕРИОД ЛЕТНЕЙ СТРАТИФИКАЦИИ ПО ДАННЫМ ЭКСПЕДИЦИИ 2017 Г.

**Е. В. Теканова, Н. М. Калинкина, Р. Э. Здоровеннов,
Е. М. Макарова**

*Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН, ФИЦ «Карельский научный центр РАН»,
Петрозаводск, Россия*

По результатам исследований в августе 2017 г. получены новые данные об экосистеме Онежского озера, отражающие ее гидрофизические особенности (температура воды), качество воды (прозрачность, растворенный кислород и количество сапрофитных бактерий), трофический статус (хлорофилл *a*), влияние водосборной территории (цветность воды). Представлены вертикальные профили этих параметров вдоль озера по разрезам от северо-западных прибрежных загрязненных участков с речным стоком (Петрозаводская, Кондопожская губы) до южной оконечности озера. Результаты исследований показали, что центральная и южная части Онежского озера по-прежнему характеризуются высоким качеством воды и олиготрофным состоянием. Толщина эпилимниона достигала около 10 м, температура воды в нем не превышала 14,8–16,7 °С, термоклин в глубоководном районе озера располагался в слое 10–20 м. Прозрачность воды в открытом плесе озера достигала 3,5–4,0 м, ее цветность была 23–31 град. Pt-Co шкалы, насыщение воды кислородом составляло 87–92 %, концентрация хлорофилла *a* в фотическом слое не превышала 3,2 мкг/л, а численность сапрофитного бактериопланктона была не более $n \cdot 10^2$ КОЕ/мл. Отмечено значительное снижение цветности воды, обилия сапрофитных бактерий и возрастание концентраций растворенного кислорода по направлению от Петрозаводской и Кондопожской губ в сторону открытого озера. Это указывает на эффективную трансформацию аллохтонного органического вещества природного (гуминовые вещества) и антропогенного (сточные воды коммунально-промышленных центров) происхождения в заливах. Численность сапрофитных бактерий, степень насыщения воды кислородом, концентрация хлорофилла *a* в отдельных районах озера оказались немного ниже, чем в предыдущие десятилетия. Для величины цветности воды, напротив, отмечена тенденция к увеличению.

Ключевые слова: водоем; качество воды; олиготрофия; хлорофилл *a*; цветность; растворенный кислород; бактериопланктон.

E. V. Tekanova, N. M. Kalinkina, R. E. Zdorovenov, E. M. Makarova.
RESULTS OF THE STUDY OF LAKE ONEGO ECOSYSTEM IN THE PERIOD
OF SUMMER STRATIFICATION BASED ON MEASURED DATA FROM A 2017
EXPEDITION

New data characterizing the hydrophysical features (water temperature), water quality (water transparency, dissolved oxygen, and number of saprophytic bacteria), trophic status (chlorophyll *a*), and impact of the catchment (water color) of Lake Onego ecosystem were obtained in August 2017. The vertical profiles of these parameters along lake transects from northwestern polluted near-shore areas receiving river runoff (Petrozavodskaya, Kondopozhskaya bays) to the southern tip of the lake are shown. The results of the surveys show that the central and southern parts of Onego Lake are still characterized by high water quality and oligotrophic state. The epilimnion was about 10 m thick, the water temperature of this layer did not exceed 14.8–16.7 °C. The thermocline in the deep-water part of the lake was located at a depth of 10–20 m. The transparency of the water in pelagic parts of the lake reached 3.5–4.0 m, water color was 23–31 degrees on Pt-Co scale, oxygen saturation of the water was 87–92 %, chlorophyll *a* concentration in the photic layer did not exceed 3.2 µg/l, and saprophytic bacterioplankton numbers were within $n \cdot 10^2$ CFU/ml. A significant reduction in water color and abundance of saprophytic bacteria, and an increase in dissolved oxygen concentrations were observed along the transect from Petrozavodskaya and Kondopozhskaya bays towards the pelagic part of the lake. This confirms that natural (humic substances) and anthropogenic (municipal and industrial wastewaters) allochthonous organic matter is effectively transformed in the bays. The abundances of saprophytic bacteria, the oxygen saturation of water, and the concentration of chlorophyll *a* in some areas of the lake were slightly lower than in previous decades. Water color, on the contrary, showed a tendency for an increase.

Key words: water body; water quality; oligotrophy; chlorophyll *a*; water color; dissolved oxygen; bacterioplankton.

Введение

В последние два десятилетия на фоне глобальных климатических изменений и снижения антропогенной нагрузки во многих озерах мира отмечаются экосистемные изменения. Регулярные экологические исследования, которые проводит Институт водных проблем Севера Федерального исследовательского центра «Карельский научный центр РАН» в Онежском озере на протяжении нескольких десятков лет, позволили к настоящему времени выявить такие признаки изменения его экосистемы, как увеличение продолжительности «биологического лета» [Филатов и др., 2012, 2014] и существенное снижение численности и биомассы глубоководного бентоса [Калинкина и др., 2016]. На этом фоне вплоть до 2010 г. Онежское озеро в целом все еще сохраняло основные природные характеристики экосистемы – холодноводность, олиготрофию, гетеротрофный характер метаболизма, высокое качество воды [Теканова, Тимакова, 2006; Биоресурсы..., 2008; Онежское..., 2010; Крупнейшие..., 2015; Калинкина и др., 2017].

В 2017 г. Институт водных проблем Севера провел комплексные сезонные биологические и химические исследования на Онежском озе-

ре. Целью настоящей работы была оценка современного состояния Онежского озера в период летней температурной стратификации 2017 г. по ключевым показателям: температуре воды, цветности, содержанию кислорода в воде, концентрации хлорофилла *a*, количеству сапрофитного бактериопланктона.

Материалы и методы

Исследования проводились на НИС «Эколог» 7–12 августа 2017 г. В ходе экспедиции были обследованы Центральное Онего (станции С-1, С-2, С-3, С-4), Южное Онего (S-1, S-2), Петрозаводское Онего (PO2), Петрозаводская губа (P-2, P-3), Кондопожская губа (K-3, K-4, K50, K-6, K-7). Исследования велись вдоль двух продольных разрезов с оценкой вертикальных профилей изучаемых параметров (рис. 1). Разрезы соединяли южные и центральные районы озера с загрязняемыми заливами, принимающими сток крупных рек: разрез 1 – с Кондопожской губой (р. Суна), 2 – с Петрозаводской губой (р. Шуя).

Были измерены основные параметры экосистемы Онежского озера, отражающие ее гидрофизические особенности (температура воды), качество воды (растворенный кислород

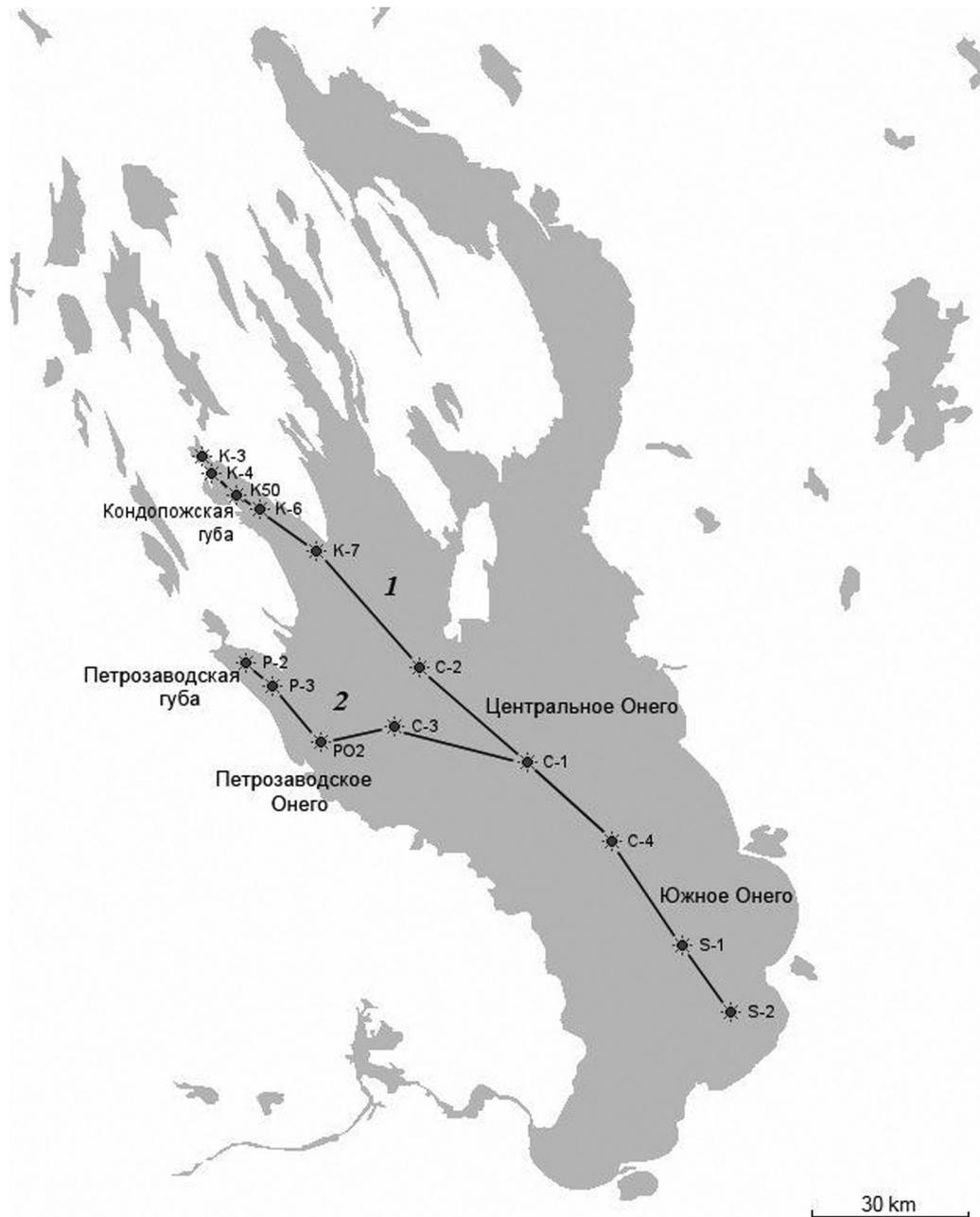


Рис. 1. Схема Онежского озера с точками отбора проб. Линиями показаны разрезы: 1 – Кондопожская губа – Центральное Онего – Южное Онего; 2 – Петрозаводская губа – Центральное Онего – Южное Онего

Fig. 1. Scheme of Lake Onego and sampling points. The lines show the sections: 1 – Kondopoga Bay – Central Onego – South Onego; 2 – Petrozavodsk Bay – Central Onego – South Onego

и количество сапрофитных бактерий), трофический статус (хлорофилл *a*), влияние водосборной территории (цветность воды). На 14 станциях отобрано 78 проб воды на определение цветности и содержания хлорофилла *a*, 43 микробиологические пробы и 35 проб для определения растворенного кислорода. Цветность воды, концентрация хлорофилла *a* и содержание кислорода в воде определялись общепринятыми в гидрохимической практике ме-

тодами [РД 52.24.419–2005; РД 52.24.497–95, ГОСТ 17.1.04.02–90]. Обилие в воде сапрофитных бактерий оценивалось согласно руководству [Кузнецов, Дубинина, 1989]. Прозрачность воды измерялась с помощью белого диска Секки. Вертикальные профилирования температуры водной толщи от поверхности до дна были выполнены при помощи зонда CastAway-CTD компании Sontek (США). Точность измерений по температуре составляет $\pm 0,05$ °С.

Прозрачность воды в Онежском озере в летний период, м (медианное, максимальное и минимальное значения)
 Transparency of water in Lake Onego in summer, m (median, maximum and minimum values)

Район озера Lake region		1990-е гг. 1990's	2000-е гг. 2000's.	2017 г. (август) 2017 (August)
Южное Онего South Onego		3,8 (3,0–4,6)	4,0 (3,7–4,0)	4 (езде) (everywhere)
Центральное Онего Central Onego		3,8 (3,4–4,5)	3,8 (3,6–4,5)	3,7 (3,5–3,9)
Петрозаводское Онего Petrozavodsk Onego		–*	3,3 (3,5–4,5)	4 (езде) (everywhere)
Петрозаводская губа Petrozavodsk Bay		3,0 (2,5–3,5)	3 (2,3–3,3)	3 (езде) (everywhere)
Кондопожская губа Kondopoga Bay	Внешняя часть Outside part	3,3 (2,7–4)	3 (2,3–4,0)	4**
	Центральная часть Central part	2,8 (2–3,6)	2,8 (2,0–3,6)	3**
	Вершинная часть Upper part	1,5 (1,0–2,0)	1,2 (1,0–1,7)	1,7 (езде) (everywhere)

Примечание. * Нет данных, ** одно измерение.
 Note. * No data, ** the only measurement.

Результаты и обсуждение

Температура воды

Температура верхнего слоя водной толщи (0,5 м) во время исследований составила в Центральном Онего 15,3–16,5 °С; в Южном Онего – 16,3–16,7 °С; в Петрозаводском Онего – 15,2 °С; в Петрозаводской губе – 15,3–15,9 °С; в Кондопожской губе – 14,8–18,0 °С. Эти значения являются нормой многолетних колебаний температуры поверхностного слоя воды для начала августа [Петров, 1990]. Вертикальные профили температуры показали, что устойчивая стратификация воды сформировалась в глубоководном Центральном Онего, в Петрозаводском Онего, а также в заливах, за исключением их вершинных участков, где находятся устья крупных рек Шуи и Суны. Толщина эпилимниона достигала 10 м, термоклин располагался на глубине 10–20 м (рис. 2), что соответствует типичной картине температурной стратификации в данный период [Ефремова, Пальшин, 2003]. Температура гиполимниона находилась в пределах 4–7 °С.

Прозрачность воды

В августе 2017 г. прозрачность воды на акватории Онежского озера изменялась в диапазоне 1,7–4,0 м (табл.). Максимальные значения были определены для открытого плеса озера (Южного, Центрального, Петрозаводского Онего и внешней части Кондопожской губы). Закономерное снижение прозрачности воды отмечалось в загрязняемых заливах – Петро-

заводской губе (3 м) и во внутренней части Кондопожской губы (1,7–3,0 м). Наблюдаемые значения прозрачности вполне укладываются в диапазоны изменчивости прозрачности воды в разных районах озера в летний период 1990–2000-х гг. [Теканова, 2010].

Растворенный кислород

В период исследований пространственное распределение кислорода на изученной акватории характеризовалось высокой степенью однородности, за исключением наиболее эвтрофированной Кондопожской губы. Его концентрация практически во всех изученных участках озера находилась в пределах 9,0–9,4 мг/л в эпилимнионе и увеличивалась до 10,2–11,7 мг/л в гиполимнионе. При этом насыщенность воды кислородом в эпилимнионе достигала 87–92 %. В гиполимнионе наиболее высокий процент насыщения воды кислородом обнаружен в Центральном и Петрозаводском Онего – 88–90 %. В Южном Онего и Петрозаводской губе он не превышал 84 % (рис. 2).

В вершинной части Кондопожской губы (район выпуска сточных вод целлюлозно-бумажного комбината) содержание кислорода в толще воды не превышало 7,7 мг/л. Здесь наблюдалось наименьшее насыщение эпи- и гиполимниона кислородом – 79 и 64 % соответственно. Относительно невысокий процент насыщения кислородом (в сравнении с другими участками озера) отмечался также в гиполимнионе глубоководной серединной части Кондопожской губы – 79–81 %.

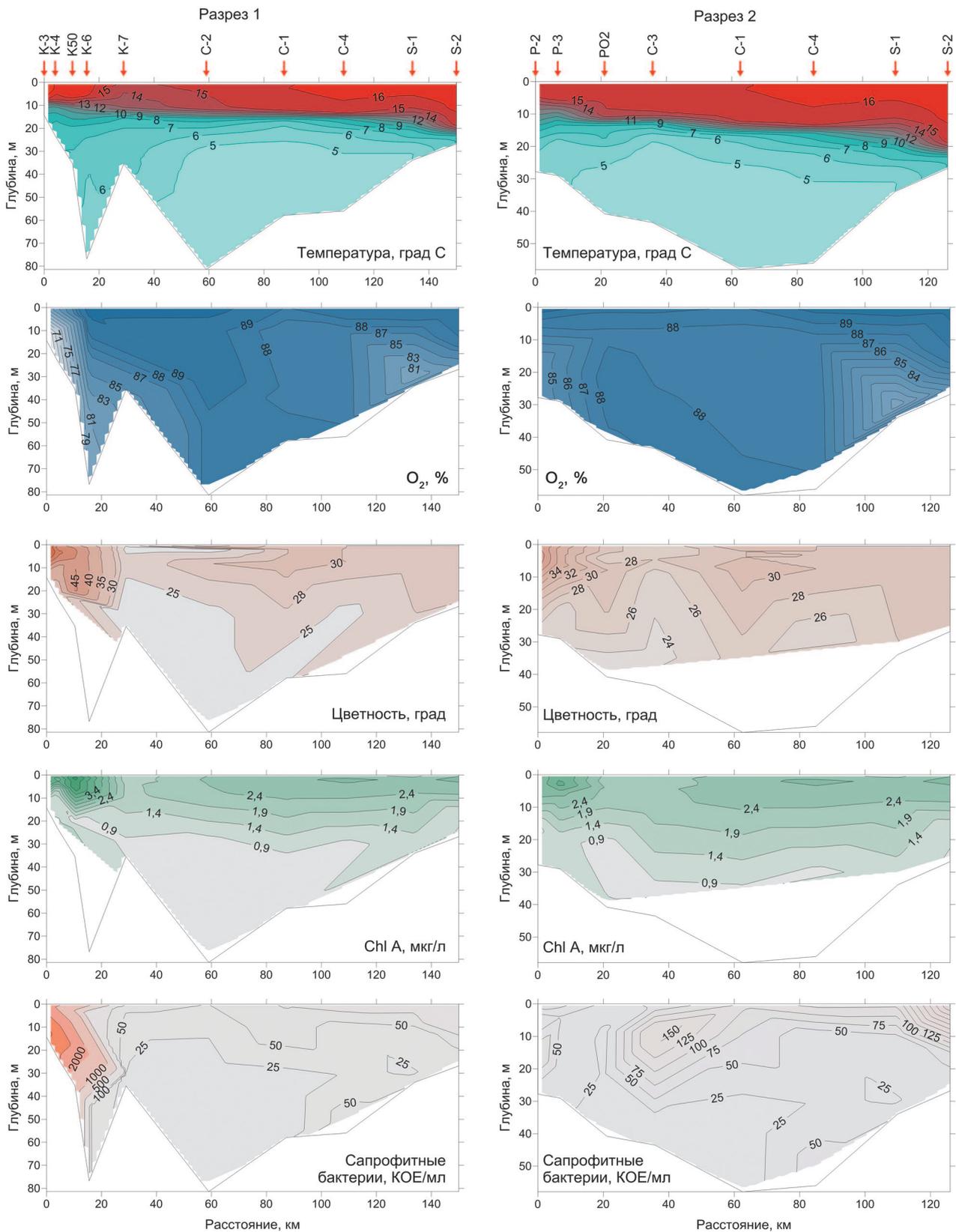


Рис. 2. Распределение величин температуры воды (град. С), насыщения воды кислородом (%), цветности (град. Pt-Co шкалы), содержания хлорофилла а (мкг/л), количества сапрофитного бактериопланктона (КОЕ/мл) в толще воды Онежского озера по разрезам 1 и 2

Fig. 2. Distribution of water temperature (degrees Celsius) values, saturation of water with oxygen (%), water color (degrees Pt-Co scale), chlorophyll a concentration ($\mu\text{g/l}$), number of saprophyte bacterioplankton (CFU/ml) in the water column of Lake Onego according to sections 1 and 2

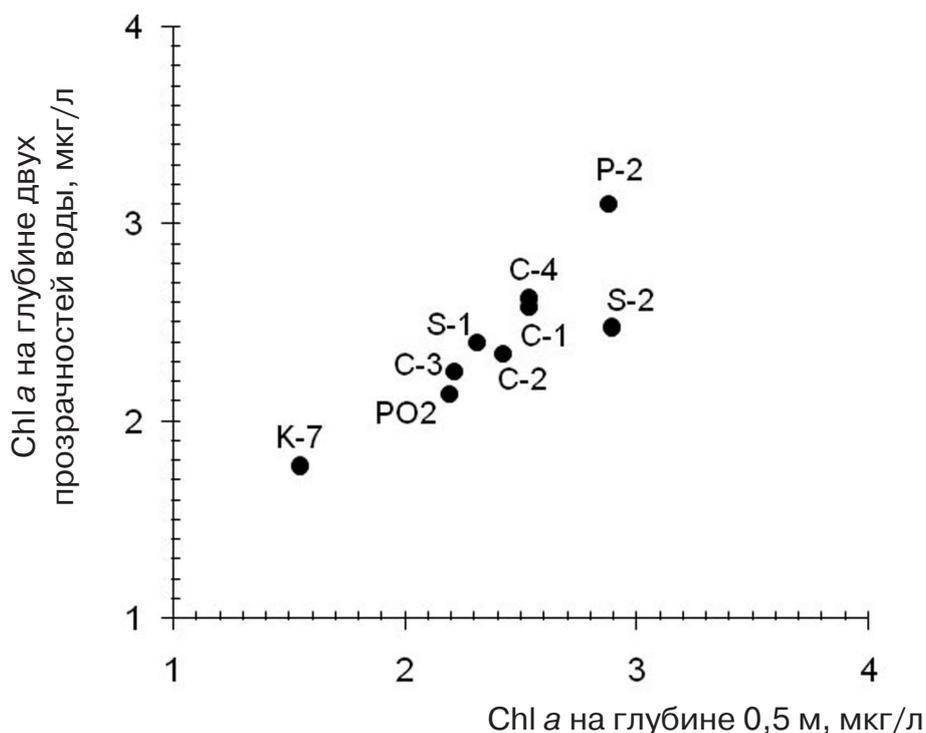


Рис. 3. Соотношение содержания хлорофилла *a* (Chl *a*) на глубине 0,5 м и на глубине, соответствующей двум прозрачностям воды на разных станциях открытого плеса Онежского озера

Fig. 3. Ratio of the chlorophyll *a* (Chl *a*) concentrations at a depth of 0,5 m and at the depth of two water transparencies at different stations of the open reaches of Lake Onego

В целом содержание растворенного кислорода в центральном и южном районах озера оказалось несколько ниже, чем приводится в литературе для 1980–1990-х годов [Пирожкова, 1990; Сабылина, 1999]. Для объяснения этих результатов требуются дополнительные исследования. Тем не менее по степени насыщения кислородом вода открытого плеса сохраняет высокое качество и относится к категориям чистых и удовлетворительно-чистых вод [Оксиюк и др., 1993; Р 52.24.763–2012]. В вершинной части Кондопожской губы, напротив, нами было отмечено двукратное увеличение концентрации растворенного кислорода и степени насыщения им воды, что напрямую связано со значительным снижением антропогенной нагрузки на залив со стороны Кондопожского ЦБК [Калинкина и др., 2017].

Цветность воды

Региональной особенностью Карелии является высокое содержание гуминовых и фульвокислот в водоемах, что связано с высокой заболоченностью водосборов [Лозовик и др., 2007; Лозовик, 2013]. Показателем содержа-

ния этих веществ и, соответственно, влияния водосбора является цветность воды. В период наблюдения цветность воды на основной акватории Онежского озера (Южного, Центрального и Петрозаводского Онего) варьировала в пределах 23–31 град. Pt-Co шкалы. Распределение окрашенных веществ в толще воды было относительно однородным (см. рис. 2). Другая картина наблюдалась в Петрозаводской и Кондопожской губах. Цветность воды здесь была заметно выше за счет стока полигумозных вод рек Шуи и Суны соответственно [Сабылина, 2015]. В Петрозаводской губе ее значения составили 25–42 град., а в Кондопожской достигали 36–66 град. Вертикальный профиль степени окрашенности воды в заливах характеризовался более низкими величинами в гипolimнионе по сравнению с верхним перемешанным слоем (см. рис. 2).

Сравнение полученных данных с литературными сведениями периода 1970–2000-х годов [Пирожкова, 1990; Сабылина, 1999, 2015] показало, что цветность воды в эпилимнионе заливов проявляет тенденцию к увеличению. В то же время в гипolimнионе таких тенденций не проявилось.

Хлорофилл а

Максимальные концентрации хлорофилла а во время исследований наблюдались в слое воды от поверхности до глубины двойной прозрачности по диску Секки. Распределение хлорофилла в этом слое было практически однородным (рис. 2). Это подтверждается и высокими коэффициентами корреляции между концентрацией хлорофилла а на горизонте 0,5 м и его содержанием на горизонте, соответствующем половине прозрачности воды ($r = 0,98$, $p < 0,5$, $n = 12$), одной прозрачности воды ($r = 0,99$; $p < 0,5$; $n = 12$) и двум прозрачностям воды ($r = 0,87$; $p < 0,5$; $n = 12$) (рис. 3).

В этом слое максимальных концентраций в Южном, Центральном и Петрозаводском Онего содержание хлорофилла а варьировало в пределах 2,0–3,2 мкг/л, что соответствует олиготрофному состоянию водной экосистемы. В Петрозаводской губе концентрация хлорофилла возрастала до 2,9–4,1 мкг/л, а в Кондопожской – до 3,6–6,6 мкг/л, что указывает на олигомезотрофное и мезотрофное состояние заливов соответственно [Китаев, 2007]. Ниже глубины двух прозрачностей воды количество хлорофилла резко снижалось и в гипolimнионе не превышало 0,5–1,2 мкг/л, а в Кондопожской губе – 1,6 мкг/л (см. рис. 2).

Определенную трудность представляло сравнение наших данных по хлорофиллу а с литературными за прошлые десятилетия по причине малочисленности последних. В целом можно сказать о том, что на основной акватории озера величина этого показателя эвтрофирования не претерпела существенных изменений. В то же время в Петрозаводской и Кондопожской губах наметилась тенденция к снижению уровня хлорофилла а. Это может быть связано с уменьшением антропогенного поступления биогенных веществ в эти заливы. Известно, что достоверно снизилось количество сточных вод, поступающих в Онежское озеро от Петрозаводского и Кондопожского промышленных центров [Калинкина и др., 2017]. Также значительно улучшилась очистка сточных вод городов Петрозаводска и Кондопоги в результате модернизации очистных сооружений. Кроме того, возможно, изменилось содержание нутриентов в речном стоке из-за сокращения интенсивности сельского хозяйства.

Сапрофитный бактериопланктон

В целом вертикальное распределение сапрофитных бактерий схоже с распределением хлорофилла а, а следовательно, и фитопланк-

тона в толще воды с максимальными величинами в слое эпилимниона (см. рис. 2). В эпилимнионе всех изученных районов озера, за исключением Кондопожской губы, концентрация бактерий этой группы не превышала 330 КОЕ в 1 мл воды, а в гипolimнионе – 65 КОЕ/мл. Согласно классификации О. П. Оксьюк с соавт. [1993], уровень развития сапрофитного бактериопланктона характеризует воду эпилимниона Онежского озера как чистую (категория 2), воду гипolimниона – как предельно чистую (категория 1), а состояние экосистемы – как фоновое [Руководство..., 1992].

В Кондопожской губе, где субстратом для развития сапрофитных бактерий в воде является не только фитопланктон, но и сточные воды Кондопожского ЦБК, их количество в эпилимнионе достигало 4,5 тысяч КОЕ/мл, а в гипolimнионе – не выше, чем в других глубинных районах озера. Такое количество сапрофитных бактерий характеризует вершинную часть как удовлетворительно чистую (категория 3), а центральную часть залива – как чистую (категория 2) [Оксьюк и др., 1993]. Несмотря на то что по общепринятой классификации вода Кондопожской губы Онежского озера не считается загрязненной, количество сапрофитной микрофлоры здесь на порядок выше, чем в других северо-западных заливах, не подверженных антропогенному воздействию, например, в Лижемской и Уницкой губах [Сярки и др., 2015]. В целом состояние экосистемы Кондопожской губы можно охарактеризовать как антропогенный экологический стресс [Руководство..., 1992].

В сравнении с предыдущими десятилетиями обилие сапрофитных бактерий в южной части озера и Кондопожской губе не претерпело значимых изменений. В то же время в центральной части озера, Петрозаводском Онего и Петрозаводской губе отмечается постепенная стабилизация численности сапрофитных бактерий на более низком уровне после падения их количества в 1990-е годы [Тимакова, 2015].

Заключение

Результаты исследований показали, что большая часть экосистемы Онежского озера по-прежнему сохраняет природные характеристики – высокое качество воды и низкий трофический статус. Повышенные значения цветности воды и количества гетеротрофных бактерий в приустьевых участках Петрозаводской и Кондопожской губ существенно снижаются, а насыщение воды кислородом, напротив, возрастает по мере продвижения в центральную

часть озера. Это свидетельствует об эффективной трансформации в пределах заливов аллохтонного органического вещества, поступающего с обогащенным гумусом речным стоком и коммунально-промышленными стоками крупных промышленных центров. Учитывая высокую цветность всех притоков Онежского озера, превращение питающих водоем полигумозных речных вод и антропогенного стока в озерные воды высокого качества позволяет образно назвать экосистему Онежского озера уникальной природной «фабрикой очищения воды».

Летом 2017 г. в отдельных районах озера обнаружены более низкие по сравнению с предыдущими десятилетиями величины численности сапрофитных бактерий, насыщения воды кислородом, концентрации хлорофилла *a* и более высокая цветность воды. Эти результаты требуют дополнительных исследований состояния экосистемы Онежского озера для оценки устойчивости выявленных изменений.

Авторы выражают благодарность сотрудникам Института водных проблем Севера КарНЦ РАН А. П. Георгиеву и М. В. Калмыкову за помощь в организации и проведении экспедиционных исследований.

Финансовое обеспечение исследований осуществлялось из средств федерального бюджета на выполнение государственного задания КарНЦ РАН (Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН).

Литература

Биоресурсы Онежского озера / Ред. В. И. Кухарев, А. А. Лукин. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2008. 272 с.

*ГОСТ 17.1.04.02–90. Вода. Методика спектрофотометрического определения хлорофилла *a*. М.: Госстандарт России, 1990. 15 с.*

Ефремова Т. В., Пальшин Н. И. Формирование вертикальной термической структуры озер северо-запада России и Финляндии // Водные ресурсы. 2003. Т. 30, № 6. С. 696–706.

Калинкина Н. М., Сидорова А. И., Полякова Т. Н., Белкина Н. А., Березина Н. А., Литвинова И. А. Снижение численности глубоководного макрозообентоса Онежского озера в условиях многофакторного воздействия // Принципы экологии. 2016. Т. 5, № 2. С. 47–68. doi: 10.15393/j1.art.2016.5182

Калинкина Н. М., Теканова Е. В., Сярки М. Т. Экосистема Онежского озера: реакция водных сообществ на антропогенные факторы и климатические изменения // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2017. № 1. С. 4–18.

Китаев С. П. Основы лимнологии для гидробиологов и ихтиологов. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2007. 395 с.

Крупнейшие озера-водохранилища Северо-Запада европейской части России: современное состояние и изменения экосистем при климатических и антропогенных воздействиях / Ред. Н. Н. Филатов. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2015. 375 с.

Кузнецов С. И., Дубинина Г. А. Методы изучения водных организмов. М.: Наука, 1989. 288 с.

Лозовик П. А. Геохимическая классификация поверхностных вод гумидной зоны на основе их кислотно-основного равновесия // Водн. ресурсы. 2013. Т. 40, № 6. С. 583–592. doi: 10.1134/S0097807813060067

Лозовик П. А., Морозов А. К., Зобков М. Б., Духовичева Т. А., Осипова Л. А. Аллохтонное и автохтонное органическое вещество в поверхностных водах Карелии // Водн. ресурсы. 2007. Т. 34, № 2. С. 225–237. doi: 10.1134/S009780780702011X

Оксиюк О. П., Жукинский В. Н., Брагинский Л. П., Линник П. Н., Кузьменко М. И., Клеinius В. Г. Комплексная экологическая классификация поверхностных вод суши // Гидробиол. журн. 1993. Т. 29, № 4. С. 62–76.

Онежское озеро. Атлас / Отв. ред. Н. Н. Филатов. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2010. 151 с.

Петров М. П. Термический режим // Экосистема Онежского озера и тенденции ее изменения. Л.: Наука, 1990. С. 32–37.

Пирожкова Г. П. Гидрохимический режим озера и его изменение под влиянием антропогенного воздействия // Экосистема Онежского озера и тенденции ее изменения. Л.: Наука, 1990. С. 95–146.

Р 52.24.763–2012. Оценка состояния пресноводных экосистем по комплексу химико-биологических показателей. Ростов-н/Д., 2012. 22 с.

РД 52.24.419–2005. Массовая концентрация растворенного кислорода в водах. Методика выполнения измерений йодометрическим методом. Ростов-н/Д.: Гидрохим. ин-т, 2005.

РД 52.24.497–95. Методические указания. Методика выполнения измерений цветности поверхностных вод суши фотометрическим методом / Государственный комитет СССР по гидрометеорологии. Ростов-н/Д.: Гидрохим. ин-т, 1995. 7 с.

Руководство по гидробиологическому мониторингу пресноводных экосистем / Ред. В. А. Абакумов. СПб.: Гидрометеиздат, 1992. 318 с.

Сабылина А. В. Современный гидрохимический режим озера // Онежское озеро. Экологические проблемы. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 1999. С. 58–109.

Сабылина А. В. Химический состав воды притоков // Крупнейшие озера-водохранилища северо-запада европейской территории России. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2015. С. 61–68.

Сярки М. Т., Теканова Е. В., Чекрыжева Т. А. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2015620274 «Планктон пелагиали Онежского озера». Дата регистрации в реестре баз данных 13 февраля 2015 г.

Теканова Е. В. Первичная продукция фитопланктона. Гидробиология // Онежское озеро. Атлас / Отв. ред. Н. Н. Филатов. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2010. С. 112–115.

Теканова Е. В., Тимакова Т. М. Первичная продукция и деструкция органического вещества

в Онежском озере // Состояние и проблемы продукционной гидробиологии. М.: КМК, 2006. С. 60–70.

Тимакова Т. М. Бактериопланктон // Крупнейшие озера-водохранилища северо-запада европейской территории России. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2015. С. 108–115.

Филатов Н. Н., Георгиев А. П., Ефремова Т. В., Назарова Л. Е., Пальшин Н. И., Руховец Л. А., Толстиков А. В., Шаров А. Н. Реакция озер Восточной Фенноскандии и Восточной Антарктиды на измене-

ния климата // ДАН. 2012. Т. 444, № 5. С. 1–4. doi: 10.1134/S1028334X1206013X

Филатов Н. Н., Руховец Л. А., Назарова Л. Е., Георгиев А. П., Ефремова Т. В., Пальшин Н. И. Влияние изменений климата на экосистемы озер севера европейской территории России // Учен. зап. РГГМУ. 2014. № 34. С. 49–55.

Поступила в редакцию 20.12.2017

References

Bioresursy Onezhskogo ozera [Bioresources of Lake Onego]. Petrozavodsk: KarRC RAS, 2008. 272 p.

Efremova T. V., Pal'shin N. I. Formirovanie vertikal'noi termicheskoi struktury ozer severo-zapada Rossii i Finlyandii [Formation of vertical thermal structure in lakes in Northwestern Russia and Finland]. *Vodn. resursy* [Water Resources]. 2003. Vol. 30, no. 6. P. 696–706.

Filatov N. N., Georgiev A. P., Efremova T. V., Nazarova L. E., Pal'shin N. I., Rukhovets L. A., Tolstikov A. V., Sharov A. N. Reaktsiya ozer Vostochnoi Fennoskandii i Vostochnoi Antarktidi na izmeneniya klimata [Response of lakes in Eastern Fennoscandia and Eastern Antarctica to climate changes]. *DAN* [Dokl. Earth Sciences]. 2012. Vol. 444, no. 5. P. 1–4. doi: 10.1134/S1028334X1206013X

Filatov N. N., Rukhovets L. A., Nazarova L. Y., Georgiev A. P., Efremova T. V., Pal'shin N. I. Vliyanie izmenenii klimata na ekosistemy ozer severa Evropeiskoi territorii Rossii [Climate change impact on lakes ecosystem in the north of European Russia]. *Uchen. zap. RGGMU*. 2014. No. 34. P. 49–55.

GOST 17.1.04.02–90. *Voda. Metodika spektrofotometricheskogo opredeleniya khlorofilla a* [Water. Spectrophotometric determination of chlorophyll a]. Moscow: Gosstandart Rossii, 1990. 15 p.

Kalinkina N. M., Sidorova A. I., Polyakova T. N., Belkina N. A., Berezina N. A., Litvinova I. A. Snizhenie chislennosti glubokovodnogo makrozoobentosa Onezhskogo ozera v usloviyakh mnogofaktornogo vozdeistviya [Decline in the deepwater benthic communities abundance in Lake Onego under multifactor influence]. *Printsipy ekol.* [Principles of the Ecol.]. 2016. Vol. 5, no. 2. P. 47–68. doi: 10.15393/j1.art.2016.5182

Kalinkina N. M., Tekanova E. V., Syarki M. T. Ekosistema Onezhskogo ozera: reaktsiya vodnykh soobshchestv na antropogennye faktory i klimaticheskie izmeneniya [Lake Onego ecosystem: aquatic communities response to anthropogenic factors and climate change]. *Vodn. khozyaistvo Rossii: problemy, tekhnologii, upravlenie* [Water economy in Russia: issues, technologies and management]. 2017. No. 1. P. 4–18.

Kitaev S. P. Osnovy limnologii dlya gidrobiologov i ikhtologov [Fundamentals of limnology for hydrobiologists and ichthyologists]. Petrozavodsk: KarRC RAS, 2007. 395 p.

Krupneishie ozera-vodokhranilishcha Severo-Zapada evropeiskoi chasti Rossii: sovremennoe sostoya-

nie i izmeneniya ekosistem pri klimaticheskikh i antropogennykh vozdeistviyakh [The largest lakes-reservoirs of the north-western European part of Russia: current state and changes of ecosystems under climate variability and anthropogenic impact]. Petrozavodsk: KarRC RAS, 2015. 375 p.

Kuznetsov S. I., Dubinina G. A. Metody izucheniya vodnykh organizmov [Methods for studying aquatic microorganisms]. Moscow: Nauka, 1989. 288 p.

Lozovik P. A. Geokhimicheskaya klassifikatsiya poverkhnostnykh vod gumidnoi zony na osnove ikh kislotno-osnovnogo ravnovesiya [Geochemical classification of surface waters in humid zone based on their acid-base equilibrium]. *Vodn. resursy* [Water Resources]. 2013. Vol. 40, no. 6. P. 583–592. doi: 10.1134/S0097807813060067

Lozovik P. A., Morozov A. K., Zobkov M. B., Dukhovicheva T. A., Osipova L. A. Allokhthonnoe i avtokhthonnoe organicheskoe veshchestvo v poverkhnostnykh vodakh Karelii [Allochthonous and autochthonous organic matter in surface waters in Karelia]. *Vodn. resursy* [Water Resources]. 2007. Vol. 34, no. 2. P. 225–237. doi: 10.1134/S009780780702011X

Oksiyuk O. P., Zhukinskii V. N., Braginskii L. P., Linnik P. N., Kuz'menko M. I., Klenius V. G. Kompleksnaya ekologicheskaya klassifikatsiya poverkhnostnykh vod sushi [The complex ecological classification of surface waters]. *Gidrobiol. zhurn.* [Hydrobiol. J.]. 1993. Vol. 29, no. 4. P. 62–76.

Onezhskoe ozero. Atlas [Lake Onego. An Atlas]. Petrozavodsk: KarRC RAS, 2010. 151 p.

Petrov M. P. Termicheskii rezhim [Thermal regime]. *Ekosist. Onezhskogo oz. i tendentsii ee izmeneniya* [Ecosystem of Lake Onego and its further changes]. Leningrad: Nauka, 1990. P. 32–37.

Pirozhkova G. P. Gidrokhimicheskii rezhim ozera i ego izmenenie pod vliyaniem antropogennogo vozdeistviya [Hydrochemical regime of the lake and its changes under anthropogenic impact]. *Ekosist. Onezhskogo oz. i tendentsii ee izmeneniya* [Ecosystem of Lake Onego and its further changes]. Leningrad: Nauka, 1990. P. 95–146.

Rekomendatsii 52.24.763–2012. *Otsenka sostoyaniya presnovodnykh ekosistem po kompleksu khimiko-biologicheskikh pokazatelei* [Recommendations P. 52.24.763–2012. Assessment of the fresh water ecosystems status by a set of chemical/biological indicators]. *FGBU GKhl*. Rostov-on-Don, 2012. 22 p.

RD 52.24.419–2005. *Massovaya kontsentratsiya rastvorennogo kisloroda v vodakh. Metodika vypolneniya iz-*

merenii iodometricheskim metodom [Mass concentration of dissolved oxygen in water. A measurement procedure by iodometric method]. Rostov-on-Don: Virazh, 2005.

RD 52.24.497–95. *Metodicheskie ukazaniya. Metodika vypolneniya izmerenii tsvetnosti poverkhnostnykh vod sushi fotometricheskim metodom* [A technique for measuring surface waters chromaticity by photometric method: guidelines]. Gos. komitet SSSR po gidrometeorol. [USSR St. Committee for Hydrometeorol.]. Rostov-on-Don, 1995. 7 p.

Rukovodstvo po gidrobiologicheskomu monitoringu presnovodnykh ekosistem [Manual on hydrobiological monitoring of freshwater ecosystems]. St. Petersburg: Gidrometeoizdat, 1992. 318 p.

Sabylina A. V. *Sovremenniy gidrokhimicheskii rezhim ozera* [Current hydrochemical regime of the lake]. *Onezhskoe ozero. Ekol. probl.* [Lake Onego. Ecol. probl.]. Petrozavodsk: KarRC RAS, 1999. P. 58–109.

Sabylina A. V. *Khimicheskii sostav vody pritokov* [The chemical composition of water inflows]. *Krupneishie ozera-vodokhranilishcha severo-zapada evropeiskoi territorii Rossii* [The largest lakes-reservoirs of the north-western European part of Russia: current state and changes of ecosystems under climate variability and anthropogenic impact]. Petrozavodsk: KarRC RAS, 2015. P. 61–68.

Syarki M. T., Tekanova E. V., Chekryzheva T. A. Baza dannykh "Plankton pelagiali Onezhskogo ozera". Svidetel'stvo o gosudarstvennoi registratsii v RF No. 2015620274 ot 13 fevralya [Database *Plankton of the pelagic zone of Lake Onega*. Certificate of state registration RF No. 2015620274].

Tekanova E. V. *Pervichnaya produktsiya fitoplanktona*. *Gidrobiologiya* [Primary production of phytoplankton. Hydrobiology]. *Onezhskoe ozero. Atlas* [Lake Onego: an atlas]. Petrozavodsk: KarRC RAS, 2010. P. 112–115.

Tekanova E. V., Timakova T. M. *Pervichnaya produktsiya i destrukttsiya organicheskogo veshchestva v Onezhskom ozere* [Primary production and destruction of organic matter in Lake Onego]. *Sostoyanie i probl. produktsionnoi gidrobiol.* [The state and probl. of production hydrobiol.]. Moscow: KMK, 2006. P. 60–70.

Timakova T. M. *Bakterioplankton* [Bacterioplankton]. *Krupneishie ozera-vodokhranilishcha severo-zapada evropeiskoi territorii Rossii* [The largest lakes-reservoirs of the north-western European part of Russia: current state and changes of ecosystems under climate variability and anthropogenic impact]. Petrozavodsk: KarRC RAS, 2015. P. 108–115.

Received December 20, 2017

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Теканова Елена Валентиновна

старший научный сотрудник, к. б. н.
Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН,
Федеральный исследовательский центр «Карельский научный центр РАН»
пр. А. Невского, 50, Петрозаводск, Республика Карелия, Россия, 185030
эл. почта: etekanova@mail.ru
тел.: (8142) 576520

Калинкина Наталия Михайловна

заведующая лаб. гидробиологии, д. б. н.
Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН,
Федеральный исследовательский центр «Карельский научный центр РАН»
пр. А. Невского, 50, Петрозаводск, Республика Карелия, Россия, 185030
эл. почта: cerioda@mail.ru

Здоровеннов Роман Эдуардович

старший научный сотрудник, к. г. н.
Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН,
Федеральный исследовательский центр «Карельский научный центр РАН»
пр. А. Невского, 50, Петрозаводск, Республика Карелия, Россия, 185030
эл. почта: romga74@gmail.com

Макарова Елена Михайловна

младший научный сотрудник
Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН,
Федеральный исследовательский центр «Карельский научный центр РАН»
пр. А. Невского, 50, Петрозаводск, Республика Карелия, Россия, 185030
эл. почта: emm777@bk.ru

CONTRIBUTORS:

Tekanova, Elena

Northern Water Problems Institute, Karelian Research Centre,
Russian Academy of Sciences
50 Al. Nevsky St., 185030 Petrozavodsk, Karelia, Russia
e-mail: etekanova@mail.ru
tel.: (8142) 576520

Kalinkina, Nataliia

Northern Water Problems Institute, Karelian Research Centre,
Russian Academy of Sciences
50 Al. Nevsky St., 185030 Petrozavodsk, Karelia, Russia
e-mail: cerioda@mail.ru

Zdorovenov, Roman

Northern Water Problems Institute, Karelian Research Centre,
Russian Academy of Sciences
50 Al. Nevsky St., 185030 Petrozavodsk, Karelia, Russia
e-mail: romga74@gmail.com

Makarova, Elena

Northern Water Problems Institute, Karelian Research Centre,
Russian Academy of Sciences
50 Al. Nevsky St., 185030 Petrozavodsk, Karelia, Russia
e-mail: emm777@bk.ru

УДК 574.583:551.583 (282.247.211)

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ЗООПЛАНКТОНА ПЕТРОЗАВОДСКОЙ ГУБЫ ОНЕЖСКОГО ОЗЕРА И ЕГО ОТКЛИК НА ИЗМЕНЕНИЕ КЛИМАТА

Ю. Ю. Фомина, М. Т. Сярки

*Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН, ФИЦ «Карельский научный центр РАН»,
Петрозаводск, Россия*

Рассмотрено современное состояние зоопланктона Петрозаводской губы Онежского озера и его отклик на климатические изменения по материалам комплексных съемок 2010–2017 гг. На основе современных и архивных сведений о зоопланктоне дана характеристика пяти сезонных фаз годового цикла. Впервые подробно изучено подледное состояние зоопланктона. Проанализированы видовой состав, доминирующий комплекс, структура, обилие зоопланктона с учетом годовой цикличности. Выделены комплексы видов-доминантов и субдоминантов, а также характерные для фаз виды-индикаторы. Показано, что по сравнению с состоянием, зафиксированным во второй половине прошлого века, в видовом составе и доминантном комплексе зоопланктона изменений не произошло. Летние (август) показатели общей численности в период исследований были ниже средних, но находились в пределах многолетней межгодовой изменчивости. Откликом на сдвиги сроков весенних гидрологических явлений явилось быстрое развитие коловраток и начало раннелетней фазы развития, которые происходили раньше среднемноголетних сроков. В последние десятилетия также отмечены изменения в соотношении видов тепло- и холодноводного комплекса.

Ключевые слова: зоопланктонное сообщество; влияние климата; фенологические фазы; сезонная динамика; Онежское озеро.

Yu. Yu. Fomina, M. T. Syarki. MODERN STATE OF ZOOPLANKTON AND ITS RESPONSE TO CLIMATE CHANGE IN PETROZAVODSK BAY OF LAKE ONEGO

The current state of zooplankton in Petrozavodsk Bay of Lake Onego and its response to climate change have been considered using data collected during multidisciplinary surveys in 2010–2017. Five seasonal phases of the annual cycle are described relying on modern and archival zooplankton data. The condition of zooplankton under ice has been studied in detail for the first time. The species composition and the dominant complex, as well as the structure and quantitative characteristics were analyzed taking annual cyclicality into consideration. The dominant, subdominant species and indicators species of phenological phases were determined. It was shown that the zooplankton species composition and dominants complex have not changed since the second half of the past century. Total summer (August) zooplankton abundance during the surveys was below average, but within the limits of long-term among-year variation. Rapid development of rotifers and early onset of the summer development phase (before long-term average dates) was the response to shifts in the timing of vernal hydrological phenomena. In the past few decades, changes have also occurred in the ratio of warm-water and cold-water species.

Введение

Онежское озеро – второй по величине водоем Европы и европейского Северо-Запада России. Его площадь составляет 9840 км², средняя глубина – 30 м, объем водной массы – 295 км³. Озеро уникальное, является одним из наименее минерализованных озер мира (39–46 мг/л). Воды слабоокрашены, содержат небольшое количество органических веществ и биогенных элементов. В целом его акватория сохранила естественный олиготрофный статус [Онежское..., 2010]. В северо-западной части водоема располагается один из крупнейших заливов – Петрозаводский. Он служит источником водоснабжения для города Петрозаводска.

В последние десятилетия в пресноводных экосистемах по всему миру отмечают увеличение температуры поверхности воды, продолжительности безледоставного периода, периода температурной стратификации и другие последствия изменения климата. В Онежском озере также отмечена тенденция увеличения продолжительности безледоставного периода, длительность которого возросла на 20–30 суток [Ефремова, Пальшин, 2017].

Зоопланктон выступает ярким индикатором состояния экосистемы и ее изменения. Так, в связи с потеплением климата в озере Байкал отмечено увеличение численности *Cyclops kolensis* в 12 раз и доли тепловодных видов в структуре летнего зоопланктона [Hampton et al., 2014; Izmet'eva et al., 2016]. В озере Вашингтон зарегистрировано снижение плотности *Leptodiatomus densities*, сдвиг жизненного цикла рачка с одной к двум генерациям за год, сдвиг на более ранние сроки весеннего цветения фитопланктона и максимума коловраток [Winder, Schindler, 2004; Winder et al., 2009]. В исследовании на озере Мюггелзе в весенний период пик численности ветвистоусых рачков *Daphnia* и *Bosmina* наблюдали на 2–4 недели раньше [Adrian et al., 2006].

Во второй половине XIX века исследования зоопланктона Онежского озера проводили отдельные зоологи-энтузиасты. Первые сведения о зоопланктоне Онежского озера, в том числе Петрозаводской губы, были собраны в 1866 г. русским биологом Карлом Кесслером [1868]. Для исследования планктонной фауны Петрозаводской губы в 1897 г. Александр Линко впервые использовал планктонную сеть [Николаев, 1972]. 1901–1926 гг. – период эпизо-

дических исследований озера, среди которых выделяют Олонецкую экспедицию под руководством Г. Ю. Верещагина [Герд, 1946]. С 1926 г. по настоящее время накоплено большое количество информации о зоопланктоне Петрозаводской губы: видовом составе, доминантном комплексе, количественных показателях, экологии видов, горизонтальных и вертикальных миграциях, кормовой ценности для рыб, биоресурсном потенциале и др. [Смирнова, 1972; Филимонова, 1974; Куликова, Щурова, 1980; Куликова и др., 1997; Куликова, Сярки, 2007; Сярки, 2008, 2015]. Однако вопросы сезонной динамики и фенологии планктона изучены недостаточно.

Цель данной работы – изучить современное состояние и годовую цикличность зоопланктона Петрозаводской губы Онежского озера и выявить его реакцию на климатические изменения.

Материалы и методы

Характеристика района исследования. Площадь поверхности Петрозаводской губы около 125 км², объем водных масс в заливе 1,17 км³, длина залива – 19 км, средняя ширина – 7 км, максимальная глубина – 32 м, средняя – 18,2 м. Наибольшие глубины сосредоточены в юго-восточной части губы. Залив вытянут с северо-запада на юго-восток, вдается в сушу на 13 км, отделен от открытой части озера Ивановскими островами [Филимонова, 1974]. Химический состав вод формируется за счет смешения озерных, речных и сточных вод г. Петрозаводска. Речной сток в залив представлен в основном водами реки Шуи, обогащенными органическими и биогенными веществами. Промышленно-бытовые стоки вносят органоминеральные и биогенные загрязнители. Преобладающие в заливе течения определяют перемещение вод реки Шуи и сточных вод города вдоль городского побережья в сторону открытой части озера, поэтому центральная часть залива этому влиянию подвержена меньше [Онежское..., 1999].

В основу работы положен материал комплексных съемок лаборатории гидробиологии ИВПС РАН с 1988 по 2017 гг. в период вегетации (июнь–октябрь) [Сярки, Куликова, 2012; Сярки и др., 2015]. Пробы зоопланктона отбирали 1–2 раза в год в пелагиали Петрозаводского залива на двух станциях (глубины 26 и 28 м) – всего 210 проб, в том числе 30 проб

с 2010 по 2017 гг. для оценки современного состояния зоопланктона.

Для описания зимнего состояния зоопланктона были использованы материалы, полученные в рамках российско-швейцарского мультидисциплинарного проекта «Lake Ladoga: life under ice interplay of under-ice processes by global change» в марте 2015–2016 гг. (64 пробы).

Отбор проб зоопланктона осуществлялся по стандартной методике планктонной сетью Джели (с диаметром отверстий 100 мкм), камеральная обработка проб проводилась согласно общепринятой методике [Методические..., 1984]. При вычислении биомассы зоопланктона использовались размеры и значения индивидуального веса, рассчитанные для Онежского озера [Куликова, Сярки, 1994].

Ввиду высокой изменчивости и нерегулярности рядов применялся метод скользящего среднего в модификации двойного сглаживания, который позволяет получить плавные кривые сезонной динамики показателей [Сярки, 2013]. Для оценки разнообразия сообщества применяли индекс Шеннона – Уивера, рассчитанный для каждой станции отдельно.

В годовом цикле наблюдается высокая сезонная изменчивость показателей, что требует рассмотрения отдельных периодов – фенологических фаз с характерными особенностями состава, структуры, количества. По соотношению основных таксономических групп зоопланктона статистически достоверно были выделены пять фенологических фаз методом дискриминантного анализа. Определены сроки начала и окончания, а также продолжительность фаз и наличие переходных периодов [Сярки, Фомина, 2014, 2015].

Результаты и обсуждение

За период исследования (1988 по 2017 гг.) в Петрозаводской губе было обнаружено 82 таксона зоопланктона рангом до рода и ниже (Calanoida – 4; Cyclopoida – 16; Cladocera – 34; Rotatoria – 28). По географическому распространению 36 % видов относятся к космополитам, 23 % – к голоарктическим, 21 % – к палеарктическим, 20 % – к бореальным [Куликова, 2001].

Сезонные изменения в зоопланктоне определяют характерные фазы годовой цикличности, которые выражаются в изменении состава, структуры и количественных характеристик. На основе эмпирических данных статистически достоверно выделено пять сезонных фаз: зимняя, весенняя, раннелетняя, позднелетняя и осенняя.

Выявлено, что комплекс доминантных видов, который состоит из круглогодичных и сезонно специфичных видов, сменяется в годовом цикле (табл. 1, 2). При этом индекс Шеннона – Уивера варьирует по численности зоопланктона от 2,1 до 3,9; по биомассе – от 1,2 до 3,6.

Характеристика состояния сообщества зависит от сложного комплекса причин – как внешних, таких как температура воды и трофическая ситуация, так и внутренних, таких как особенности жизненных циклов планктонов и взаимодействие элементов трофической сети.

Зимняя фенофаза. Средняя многолетняя продолжительность ледостава на Петрозаводском заливе составляет 144 сут. Средние даты начала установления ледового покрова и очищения от льда – 18 декабря и 9 мая соответственно [Ефремова, Пальшин, 2015]. Низкие температуры, дефицит солнечного света, минимальные показатели биомассы и продуктивности фитопланктона в этот период создают особые неблагоприятные условия для зоопланктона.

Установлено, что зимой по численности и биомассе доминируют круглогодичные (табл. 1) и типично зимние (табл. 2) виды зоопланктона. В пробах преобладали науплии *Limnocalanus macrurus* и *Megacyclops gigas*. Науплии *Limnocalanus macrurus* были сконцентрированы в основном в верхнем 10-метровом слое. Взрослые веслоногие рачки *E. gracilis* и *L. macrurus* тяготели к нижним слоям и образовывали скопления в слоях ниже 15 м. *Mesocyclops leuckarti* и *Thermocyclops oithonoides* встречались только на стадии старших копеподитов в паузе в придонных слоях. Науплии циклопов и коловратки распределялись в толще воды более равномерно. Ветвистые рачки представлены очень редко *Daphnia cristata*.

Зимой 2015 г. численность зоопланктона составляла $0,7 \pm 0,1$ тыс. экз./м³, биомасса – $0,012 \pm 0,005$ г/м³, в 2016 г. численность была почти в 1,5 раза меньше – $0,5 \pm 0,1$ тыс. экз./м³, а биомасса несколько больше – $0,018 \pm 0,005$ г/м³. В структуре зоопланктона в 2015 и 2016 гг. преобладали веслоногие рачки (90 % общей численности и биомассы), однако в 2015 г. доля коловраток выше – $0,08 \pm 0,03$ тыс. экз./м³ (около 15 %), в 2016 г. доля ротаторного планктона в среднем 8 % ($0,04 \pm 0,01$ тыс. экз./м³). Исследуемые годы различались по характеру ледового покрова и температурному режиму. В 2015 г. лед был прозрачным, практически без снега, и подо льдом началась конвекция, активизирующая продукционные процессы. В 2016 г. лед был

Таблица 1. Доминантный комплекс зоопланктона по фенофазам

Table 1. Dominant complex of zooplankton by phenophases

Фенофаза Phenophase	Доминант Dominant	Субдоминант Subdominant
Зимняя Winter	<i>Limnocalanus macrurus</i> Sars, 1863* <i>Eudiaptomus gracilis</i> (Sars, 1863)* <i>Megacyclops gigas</i> (Claus, 1857)	<i>Thermocyclops oithonoides</i> (Sars, 1863)* <i>Kellicottia longispina</i> (Kellicott, 1879)*
Весенняя Spring	<i>Limnocalanus macrurus</i> Sars, 1863* <i>Kellicottia longispina</i> (Kellicott, 1879)* Asplanchna sp.	<i>Bosmina longispina</i> Leydig, 1860 <i>Notholca caudata</i> Carlin, 1943 Synchaeta sp. науплии циклопов (nauplii of Cyclops)
Раннелетняя Early summer	<i>Limnocalanus macrurus</i> Sars, 1863* <i>Bosmina longispina</i> Leydig, 1860 <i>Kellicottia longispina</i> (Kellicott, 1879)* Asplanchna sp.	<i>Notholca cinetura</i> Skorikov, 1914 Synchaeta sp.
Позднелетняя Late summer	<i>Limnocalanus macrurus</i> Sars, 1863* <i>Bosmina longispina</i> Leydig, 1860 <i>Daphnia cristata</i> Sars, 1862* <i>Kellicottia longispina</i> (Kellicott, 1879)* Asplanchna sp.	<i>Eudiaptomus gracilis</i> (Sars, 1863)* <i>Mesocyclops leuckarti</i> (Claus, 1857)* <i>Thermocyclops oithonoides</i> (Sars, 1863)* <i>Daphnia longispina</i> Müller, 1785 науплии циклопов (nauplii of Cyclops) науплии калянид (nauplii of Calanoida)
Осенняя Autumn	<i>Limnocalanus macrurus</i> Sars, 1863* <i>Eudiaptomus gracilis</i> (Sars, 1863)* <i>Daphnia cristata</i> Sars, 1862* <i>Kellicottia longispina</i> (Kellicott, 1879)* науплии циклопов (nauplii of Cyclops) науплии калянид (nauplii of Calanoida)	<i>Eutytemora lacustris</i> (Poppe, 1887) <i>Thermocyclops oithonoides</i> (Sars, 1863)* <i>Mesocyclops leuckarti</i> (Claus, 1857)* <i>Bosmina longispina</i> Leydig, 1860 Asplanchna sp.

Примечание.*Круглогодичные виды.

Note.*Species is active all year round.

Таблица 2. Сезонно специфичные виды

Table 2. Seasonally specific species

Фенофаза Phenophase	Вид Species
Зимняя Winter	<i>Megacyclops gigas</i> (Claus, 1857) <i>Cyclops kolensis</i> Lilljeborg, 1901 <i>Notholca cinetura</i> Skorikov, 1914
Весенняя Spring	<i>Holopedium gibberum</i> (Zaddach, 1855) <i>Polyarthra dolichoptera</i> Idelson, 1925 <i>Notholca cinetura</i> Skorikov, 1914
Раннелетняя Early summer	<i>Bosmina longirostris</i> (Müller, 1785) <i>Holopedium gibberum</i> (Zaddach, 1855) <i>Leptodora kindtii</i> (Focke, 1844) <i>Polyphemus pediculus</i> (Linnaeus, 1761) <i>Euchlanis dilatata</i> Ehrenberg, 1832 <i>Notholca caudata</i> Carlin, 1943
Позднелетняя Late summer	<i>Leptodora kindtii</i> (Focke, 1844) <i>Diaphanosoma brachyurum</i> (Lievin, 1848) <i>Limnosida frontosa</i> Sars, 1862 <i>Daphnia longispina</i> Müller, 1785
Осенняя Autumn	<i>Limnosida frontosa</i> Sars, 1862 <i>Daphnia longispina</i> Müller, 1785

покрыт слоем снега, затрудняющим процессы прогревания, и конвективные перемешивания еще не начались [Сярки, Фомина, 2017]. Характер ледового покрова, температурный режим

и наличие конвекции подо льдом влияют на состояние подледного зоопланктона.

В связи с трудностями подледных полевых исследований зимнее состояние зоопланктона

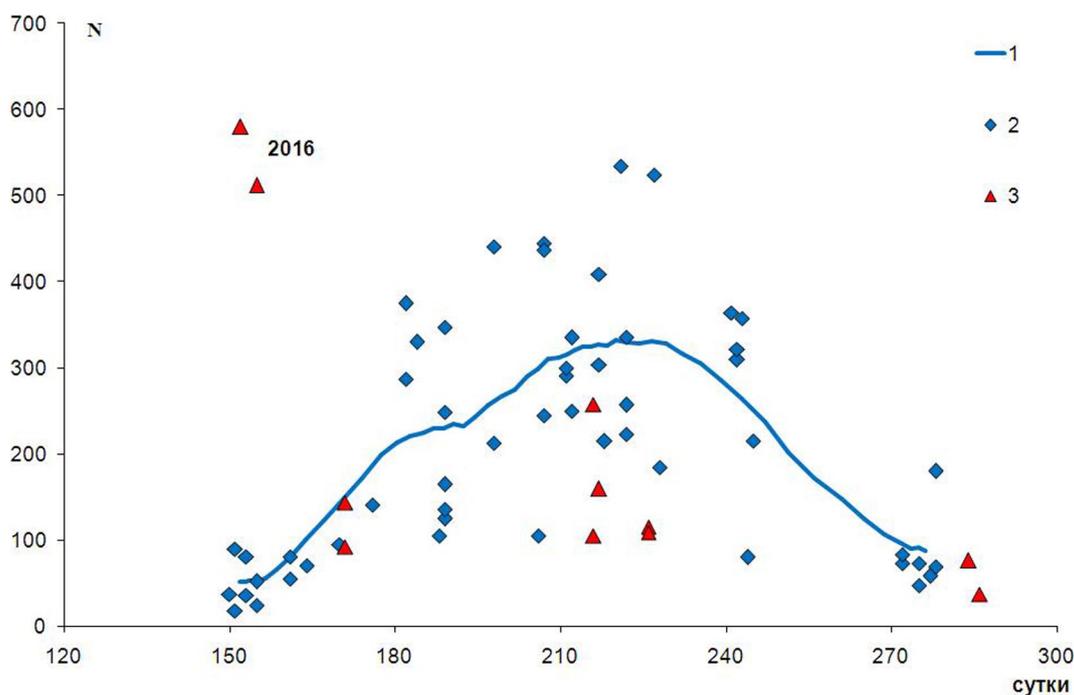


Рис. 1. Сезонная и межгодовая изменчивость численности зоопланктона (N, тыс. экз./м²):

1 – среднемноголетняя траектория; 2 – данные 1988–2007 гг.; 3 – данные 2010–2017 гг.

Fig. 1. Seasonal and interannual variability of zooplankton abundance (N, th. ind./m²):

1 – annual average trajectory; 2 – data: 1988–2007; 3 – data: 2010–2017

в Петрозаводской губе было изучено фрагментарно.

По данным З. И. Филимоновой [1974], в апреле 1969 г. ведущая роль в планктоне принадлежала *Eudiaptomus gracilis*. Также были отмечены *Limnocalanus macrurus*, *Thermocyclops oithonoides*, *Notholca cinetura*, *Synchaeta kitina* и *Cyclops* sp. Состав доминантов, структура сообщества, а также показатели численности (0,98 тыс. экз./м³) и биомассы (0,021 г/м³) были сходны с нашими данными, что свидетельствует о стабильности зимнего состояния зоопланктона.

Весенняя фенофаза начинается с таяния льда и продолжается до конца июня. Весной после таяния льда прибрежные мелководные районы нагреваются быстрее, что приводит к формированию фронта термического бара. По Петрозаводской губе он проходит в конце мая – начале июня [Онежское..., 2010]. Термобар отделяет залив от центральной части озера и запирает речные воды в заливе. Река Шуя вносит большое количество органических веществ. Трофические условия в этот период определяются крупноразмерными диатомовыми водорослями (90 % от общей численности), которые напрямую не используются зоопланктоном, но выделяемое ими внеклеточное органическое вещество способствует развитию

бактерий. Кормовой фитопланктон – синезеленые и хлорококковые – малочислен и только начинает развиваться [Вислянская, 1999].

В весеннюю фенофазу по биомассе доминируют веслоногие рачки (около 55 % от общей численности зоопланктона). Науплии *Limnocalanus macrurus* превращаются в копеподиты и могут достигать численности 0,40 тыс. экз./м³ (в среднем 0,16 тыс. экз./м³). В это время *Eudiaptomus gracilis* начинает активно размножаться, количество науплий в среднем 0,13 тыс. экз./м³. Весной по численности преобладает ротаторный планктон (более 40 %), поскольку коловратки используют для питания бактерии. Наиболее многочисленны в этот период *Kellicottia longispina* и *Notholca caudate*, кроме того, в планктоне отмечены *Polyarthra dolichoptera*, *Notholca cinetura* (табл. 1, 2).

По данным 1988–2007 гг., численность в этот период в среднем 3,2 тыс. экз./м³, биомасса – 0,11 г/м³. В июне 2010 г. количественные показатели зоопланктона были близки к среднемноголетним, средняя численность составляла 4,4 тыс. экз./м³, биомасса – около 0,02 г/м³ (рис. 1). Однако в структуре сообщества отмечался сдвиг в сторону увеличения численности (более 69 %) и биомассы (около 55 %) коловраток и снижения роли веслоногих по численности до 21 % и по биомассе до 35 %.

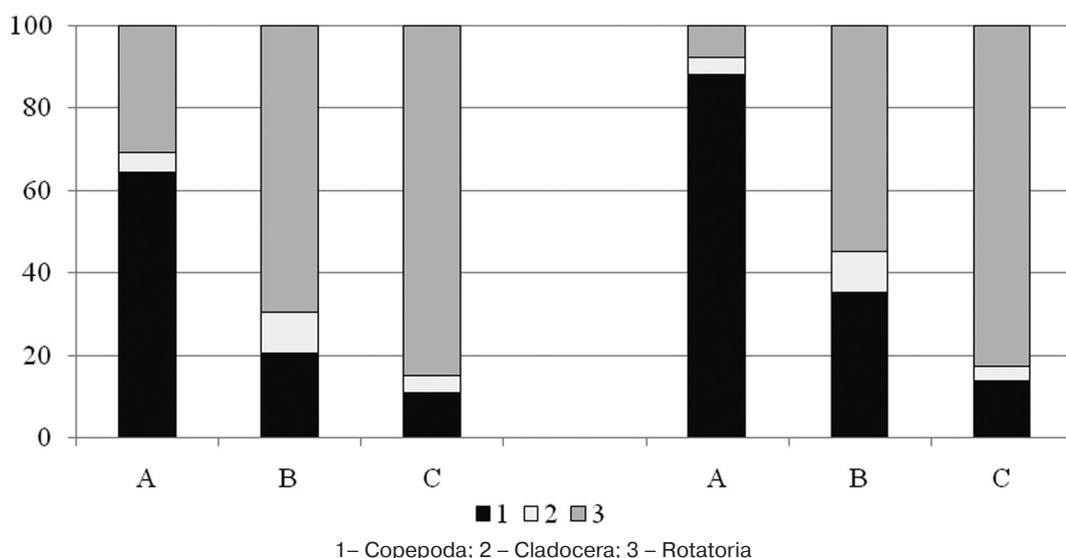


Рис. 2. Структура зоопланктона по соотношению основных групп (%) в первой декаде июня: А – среднее за 1988–2007 гг.; В – 2010 г.; С – 2016 г.

Fig. 2. Zooplankton structure by the ratio of groups (%) in the first ten days of June: А – average for 1988–2007; В – 2010; С – 2016

Доля ветвистоусых составляла по 10 % (рис. 2). Температура поверхности воды в мае 2010 г. была выше среднемноголетней на 3°, что привело к более раннему развитию коловраток.

Необычная ситуация наблюдалась в июне 2016 г. Биомасса зоопланктона превышала ранневесенние значения в 12 раз (20,5 г/м² или 0,80 г/м³), численность – в 10 раз (545 тыс. экз./м² или 21,0 тыс. экз./м³). По численности ротаторный планктон превышал среднемноголетние значения в 20 раз (463 тыс. экз./м² или 17,8 тыс. экз./м³), по биомассе – в 78 раз (17,2 г/м² или 0,08 г/м³). Это связано с тем, что коловратки имеют короткий жизненный цикл, высокую скорость прироста популяций и их биомассы [Сярки, Фомина, 2016]. Количество рачкового планктона, имеющего более длительные сроки развития, увеличилось почти в 3 раза (83 тыс. экз./м² или 3,2 тыс. экз./м³), по биомассе в 2 раза (3,2 г/м² или 0,13 г/м³). Преобладание коловраток в структуре по численности и биомассе – более 80 %. Роль веслоногих и ветвистоусых рачков минимальна – 10 и 4 % соответственно. Обычно в этот период индекс Шеннона по численности в среднем 3,41; по биомассе – 2,11. В июне 2016 г. отмечено снижение видового разнообразия: так, индекс Шеннона по численности составлял 2,24–2,26, а по биомассе 0,98–1,56.

Возможны две причины таких аномальных показателей: термобар и высокая температура воды. В мае 2016 г. наблюдалась чрезвычай-

но высокая температура воды – до 15°, хотя обычно в это время она колеблется около 6°. В этот год образование термобара сместилось на более ранние сроки, что привело к накоплению речных вод в заливе на несколько дней. Сочетание повышенных температур и речных вод, обогащенных органическим веществом, привело к аномально высоким показателям на большей части акватории залива, изменению соотношения основных групп зоопланктона и сдвигу раннелетней фазы на 11 дней. Стоит отметить, что такая ситуация ранее нами не наблюдалась.

Раннелетняя фенофаза развития планктона протекает с начала до конца июля. В начале месяца количество диатомовых снижается, увеличивается доля синезеленых и хлорококковых водорослей [Вислянская, 1999]. Активный прогрев водных масс создает благоприятные условия для роста коловраток, они доминируют по численности (около 65 %) и по биомассе (более 45 %). Развиваются виды тепловодного комплекса зоопланктона умеренных широт (по классификации М. Л. Пидгайко [1984]) – *Leptodora kindtii* и *Bosmina longirostris* (табл. 1, 2). В планктоне появляется крупный рачок *Heterocope appendiculata* Sars, 1863.

В этот период происходит активный рост общих количественных показателей зоопланктона. Численность изменяется в широких пределах – от 4,5 тыс. экз./м³ в начале июля до 62,4 тыс. экз./м³ в конце месяца (в среднем 16,7 тыс. экз./м³), а биомасса – от 0,08 до

0,97 г/м³ (в среднем 0,38 г/м³). В 2016 г. наблюдалась экстремальная ситуация, при которой уже в июне количество зоопланктона и его структура соответствовали раннелетней фазе.

Позднелетняя фазофаза начинается с конца июля и продолжается до середины августа. В этот период температура поверхности воды достигает максимума. В августе возрастает роль мелких водорослей, синезеленых и хлорококковых, что улучшает кормовые условия для ветвистоусых. В структуре зоопланктона по численности (около 32 %) и биомассе (около 42 %) преобладают ветвистоусые рачки. В доминирующем комплексе наблюдается увеличение числа тепловодных видов, таких как *Daphnia longispina* и *Diaphanosoma brachyurum*, причем последняя входит в состав доминантного комплекса только в позднелетнюю фазу (табл. 2).

Количественные характеристики зоопланктона в августе 2014, 2015 и 2017 гг. были сходны. Они находились в пределах межгодовых колебаний, но были несколько ниже среднепогодных (12,2 тыс. экз./м³ и 0,39 г/м³) (рис. 1). Численность планктеров в среднем составляла 5,6 тыс. экз./м³ (3,9–9,2 тыс. экз./м³), биомасса – 0,21 г/м³ (0,11–0,37 г/м³). По численности примерно равную долю имели циклопы и ветвистоусые рачки (около 30 %), по биомассе – каляноиды и ветвистоусые рачки, примерно по 38 %. Доля коловраток составляла в среднем 13–15 %.

Осенняя фазофаза длится с последней декады августа до образования ледяного покрова. Доля ветвистоусых и коловраток, в основном теплолюбивых, снижается, роль веслоногих рачков, соответственно, увеличивается, и они составляют более 60 % по численности и биомассе. Среднепогодная численность зоопланктонного сообщества – 6,5 тыс. экз./м³ (2,0–19,2 тыс. экз./м³), биомасса – 0,13 г/м³ (0,05–0,33 г/м³). В октябре 2015 г. количественные показатели находились в пределах межгодовых колебаний. Численность отмечена в среднем 2,1 тыс. экз./м³, биомасса – 0,05 г/м³ (рис. 1).

Сравнение с данными предыдущих лет исследований показало [Филимонова, 1974; Куликова, Щурова, 1980], что с 1960–80-х годов принципиальных изменений в сезонных процессах не происходило. По результатам анализа современного состояния, показатели зоопланктона в летний период находились в пределах многолетней межгодовой изменчивости, но были ниже средних показателей. В другие сезоны показатели были сходны.

Годовая динамика температуры определяет сезонные явления, такие как изменение состава и структуры, обилия и продуктивности сообщества. В многолетнем плане изменение температуры приводит к сдвигам в соотношении видов тепловодного и холодноводного комплексов.

В последнее десятилетие в Петрозаводской губе наблюдаются изменения в соотношении видов кладоцерного планктона. Причем *Daphnia cristata*, принадлежащая к холодноводному комплексу и хорошо адаптированная к условиям, не лимитируется температурой, и ее сезонная цикличность носит естественный характер. *Daphnia longispina* принадлежит к тепловодному комплексу и более требовательна к температуре [Пидгайко, 1984]. В последние годы, особенно в позднелетней фазе, наблюдается увеличение роли *D. longispina*, в некоторых случаях рачок превосходил по количеству массовый вид *D. cristata*.

В составе зоопланктона Петрозаводской губы отмечено 5 видов босмин. *Bosmina longispina* является постоянным доминантом или субдоминантом. Однако в последние годы отмечается массовое развитие другого вида, *Bosmina crassicornis* Lilljeborg, 1887. Ранее он встречался только на литорали и в пелагиали отмечен не был. В 2013 г. *B. crassicornis* был обнаружен на открытой литорали и в прибрежной зоне Петрозаводской губы. В августе 2014 г. этот вид впервые в заметном количестве (до 200 тыс. экз./м³) наблюдался в пелагиали центральной части Петрозаводской губы. В 2016 и 2017 гг. в позднелетний период вид *B. crassicornis* составлял до четверти от численности всех босмин.

Причиной подобных явлений могут быть изменения в температурном режиме, в частности смещение дат наступления и окончания теплового периода года, а также изменение длительности ледового покрытия, что вызывает перераспределение видов холодноводного и тепловодного комплекса и массовое развитие ранее редких видов. Было ли это явление случайным или существует определенный тренд в сообществе зоопланктона, покажут дальнейшие наблюдения [Сярки, 2015].

Заключение

С 1960-х годов видовой состав, структура доминантного комплекса и сезонная динамика зоопланктона Петрозаводской губы Онежского озера не изменились. В 2014–2017 гг. показатели зоопланктона в летний период находились в пределах многолетней межгодовой измен-

чивости, но были ниже средних показателей. В другие сезоны показатели были сходны. Отмечены сдвиги в весеннем развитии на более ранние сроки. Состояние зоопланктона в первой декаде июня до 2000 года характеризовалось как весеннее. В 2010 и 2016 годах – соответствовало раннелетней фазе. В последнее десятилетие наблюдаются сдвиги в соотношении видов тепловодного и холодноводного комплексов.

Финансовое обеспечение исследований осуществлялось из средств федерального бюджета на выполнение государственного задания КарНЦ РАН (Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН).

Литература

- Висянская И. Г.* Структура и динамика биомассы фитопланктона // Онежское озеро. Экологические проблемы. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 1999. С. 146–158.
- Герд С. В.* Обзор гидробиологических исследований озер Карелии // Тр. Карело-Фин. отд. ВНИОРХ. 1946. Вып. 11. С. 28–140.
- Ефремова Т. В., Пальшин Н. И.* Ледовая фенология и термическая структура озер северо-запада России в период ледостава (по данным многолетних наблюдений) // Озера Евразии: проблемы и пути их решения: Мат-лы 1-й Междунар. конф. (11–15 сентября 2017 г.). Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2017. С. 222–228.
- Ефремова Т. В., Пальшин Н. И.* Многолетняя изменчивость температуры воды и ледовая фенология // Крупнейшие озера-водохранилища Северо-Запада европейской территории России: современное состояние и изменения экосистем при климатических и антропогенных воздействиях. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2015. С. 38–44.
- Кесслер К. Ф.* Материалы для познания Онежского озера и Обонежского края, преимущественно в зоологическом отношении: Приложение к трудам Первого съезда русских естествоиспытателей. СПб.: Тип. Императорской Академии Наук, 1868. 148 с.
- Куликова Т. П.* Видовой состав зоопланктона внутренних водоемов Карелии // Труды КарНЦ РАН. Биогеография Карелии. 2001. Вып. 2. С. 133–151.
- Куликова Т. П., Кустовлянкина Н. Б., Сярки М. Т.* Зоопланктон как компонент экосистемы Онежского озера. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 1997. 112 с.
- Куликова Т. П., Сярки М. Т.* Зоопланктон. Состояние водных объектов Республики Карелия. По результатам мониторинга 1998–2006 гг. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2007. С. 54–62.
- Куликова Т. П., Сярки М. Т.* Размерно-весовая характеристика массовых видов ракообразных и коловраток Онежского озера (справочно-информационный материал). Петрозаводск: КарНЦ РАН, 1994. 16 с.
- Куликова Т. П., Щурова Л. Э.* Метазойный зоопланктон Петрозаводской губы Онежского озера // Гидробиология Петрозаводской губы Онежского озера. Петрозаводск: Карел. фил. АН СССР, 1980. С. 74–96.
- Методические рекомендации по сбору и обработке материалов в гидробиологических исследованиях на пресноводных водоемах. Зоопланктон и его продукция / Ред. Г. Г. Винберг, Г. М. Лаврентьева. Л.: ГосНИОРХ, 1984. С. 33.*
- Николаев И. И.* История исследования зоопланктона Онежского озера // Зоопланктон Онежского озера. Л.: Наука, 1972. С. 5–23.
- Онежское озеро. Атлас / Ред. Н. Н. Филатов. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2010. 151 с.*
- Онежское озеро. Экологические проблемы / Ред. Н. Н. Филатов. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 1999. 293 с.*
- Пидгайко М. Л.* Зоопланктон водоемов европейской части СССР. М.: Наука, 1984. 208 с.
- Поливанная М. Ф.* Материалы к познанию зоопланктона Онежского озера: Автореф. дис. ... канд. биол. наук / Карело-Фин. гос. ун-т. Петрозаводск, 1950. 18 с.
- Смирнова Т. С.* Планктонные коловратки и ракообразные // Зоопланктон Онежского озера. Л.: Наука, 1972. С. 126–233.
- Сярки М. Т.* Зоопланктон. Крупнейшие озера-водохранилища Северо-Запада европейской территории России: современное состояние и изменения экосистем при климатических и антропогенных воздействиях. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2015. С. 121–127.
- Сярки М. Т.* Изучение траектории сезонной динамики планктона с помощью метода двойного сглаживания // Принципы экологии. 2013. № 1(5). С. 61–67.
- Сярки М. Т.* Оценка рыбопродуктивности по состоянию кормовой базы. Зоопланктон. Биологические ресурсы Онежского озера. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2008. С. 54–67.
- Сярки М. Т., Куликова Т. П.* Зоопланктон Онежского озера. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2012621150. Правообладатель: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт водных проблем Севера Карельского научного центра РАН (ИВПС КарНЦ РАН) (RU). Дата регистрации в реестре баз данных 9 ноября 2012 г.
- Сярки М. Т., Теканова Е. В., Чекрыжева Т. А.* Планктон пелагиали Онежского озера. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2015620274. Правообладатель: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт водных проблем Севера Карельского научного центра РАН (ИВПС КарНЦ РАН) (RU). Дата регистрации в реестре баз данных 13 февраля 2015 г.
- Сярки М. Т., Фомина Ю. Ю.* Зоопланктон Петрозаводской губы Онежского озера в подледный период // Учен. зап. Петрозавод. гос. ун-та. 2017. № 6(167). С. 90–95.
- Сярки М. Т., Фомина Ю. Ю.* Определение динамических характеристик зоопланктона Онежского озера // Принципы экологии. 2016. № 4. С. 26–33. doi: 10.15393/j1.art.2016.5223
- Сярки М. Т., Фомина Ю. Ю.* Особенности сезонных явлений в зоопланктоне Петрозаводской губы

Онежского озера // Принципы экологии. 2014. Т. 3, № 3. С. 36–43. doi: 10.15393/j1.art.2014.3682

Сярки М. Т., Фомина Ю. Ю. Сезонные изменения в зоопланктоне Петрозаводской губы Онежского озера // Труды КарНЦ РАН. 2015. № 1. С. 63–68. doi: 10.17076/eco37

Филимонова З. И. Зоопланктон Петрозаводской губы Онежского озера // Охрана и использование водных ресурсов Карелии. Петрозаводск: Карел. фил. АН СССР, 1974. С. 212–247.

Adrian R., Wilhelm S., Gerten D. Life-history traits of lake plankton species may govern their phenological response to climate warming // *Global Change Biology*. 2006. Vol. 12. P. 652–661.

Hampton S. E., Gray D. K., Izmest'eva L. R., Moore M. V., Ozersky T. The rise and fall of plankton: long-term changes in the vertical distribution of algae

and grazers in Lake Baikal, Siberia // *PLoS ONE*. 2014. Vol. 9, iss. 2. P. 1–10.

Izmest'eva L. R., Moore M. V., Hampton S. E., Ferwerda C. J., Gray D. K., Woo K. H., Pislegina H. V., Krashchuk L. S., Shimaraeva S. V., Silow E. A. Lake-wide physical and biological trends associated with warming in Lake Baikal // *Great Lakes Research*. 2016. Vol. 42, no. 1. P. 6–17.

Winder M., Schindler D. E. Climatic effects on the phenology of lake processes // *Global Change Biology*. 2004. Vol. 10, iss. 11. P. 1844–1856.

Winder M., Schindler D. E., Essington T. E., Litt A. H. Disrupted seasonal clockwork in the population dynamics of a freshwater copepod by climate warming // *Limnol. Oceanogr.* 2009. 54(6, part 2). P. 2493–2505.

Поступила в редакцию 21.03.2018

References

Efremova T. V., Pal'shin N. I. Ledovaya fenologiya i termicheskaya struktura ozer severo-zapada Rossii v period ledostava (po dannym mnogoletnikh nablyudenii) [Ice phenology and thermal structure in lakes of northwestern Russia during the freeze-up (according to the data of long-term observations)]. *Ozera Evrazii: problemy i puti ikh resheniya: Mat-ly 1-i Mezhdunar. konf. (11–15 sentyabrya 2017 g.)* [Lakes of Eurasia: problems and ways of their solution: Proceed. 1st Int. Conf. (Sept., 11–15, 2017)]. Petrozavodsk: KarRC RAS, 2017. P. 222–228.

Efremova T. V., Pal'shin N. I. Mnogoletnyaya izmenchivost' temperatury vody i ledovaya fenologiya [Long-term variability of water temperature and ice phenology]. *Krupneishie ozera-vodokhranilishcha Severo-Zapada evropeiskoi territorii Rossii: sovremennoe sostoyanie i izmeneniya ekosistem pri klimaticheskikh i antropogennykh vozdeistviyakh* [The largest lakes-reservoirs of the north-western European part of Russia: current state and changes of ecosystems under climate variability and anthropogenic impact]. Petrozavodsk: KarRC RAS, 2015. P. 38–44.

Filimonova Z. I. Zooplankton Petrozavodskoi guby Onezhskogo ozera [Zooplankton in Petrozavodsk Bay of Lake Onego]. *Okhrana i ispol'zovanie vodnykh resursov Karelii* [Protection and use of water resources of Karelia]. Petrozavodsk: Karel. fil. AN SSSR, 1974. P. 212–247.

Gerd S. V. Obzor gidrobiologicheskikh issledovaniy ozer Karelii [An overview of hydrobiological research of lakes of Karelia]. *Tr. Karelo-Fin. otd. VNIORH*. 1946. Iss. 11. P. 28–140.

Kessler K. F. Materialy dlya poznaniya Onezhskogo ozera i Obonezhskogo kraya, preimushchestvenno v zoologicheskom otnoshenii: Prilozhenie k trudam Perвого s'ezda russkikh estestvoispytatelei [Materials for the knowledge of Lake Onego and Obonezhsky district, mainly in zoological terms: Supplement to the proceedings of the 1st Congress of Russian naturalists]. St. Petersburg: Tip. Imperatorskoi Akademii Nauk, 1868. 148 p.

Kulikova T. P. Vidovoi sostav zooplanktona vnutrennikh vodoemov Karelii [Species composition of zoo-

plankton in inland waters of Karelia]. *Trudy KarNTs RAN* [Trans. KarRC RAS]. 2001. Iss. 2. P. 133–151.

Kulikova T. P., Kustovlyankina H. B., Syarki M. T. Zooplankton kak komponent ekosistemy Onezhskogo ozera [Zooplankton as a component of the ecosystem of Lake Onego]. Petrozavodsk: KarRC RAS, 1997. 112 p.

Kulikova T. P., Syarki M. T. Zooplankton. Sostoyanie vodnykh ob'ektov Respubliki Kareliya. Po rezul'tatam monitoringa 1998–2006 gg. [Zooplankton. State of water bodies in the Republic of Karelia according to the results of the monitoring in 1998–2006]. Petrozavodsk: KarRC RAS, 2007. P. 54–62.

Kulikova T. P., Syarki M. T. Razmerno-vesovaya kharakteristika massovykh vidov rakoobraznykh i kollovratok Onezhskogo ozera (spravochno-informatsionnyi material) [Size and weight characteristics of mass species of crustaceans and rotifers in Lake Onego (reference and information material)]. Petrozavodsk: KarRC RAS, 1994. 16 p.

Kulikova T. P., Shchurova L. E. Metazoinyi zooplankton Petrozavodskoi guby Onezhskogo ozera [Metazoan zooplankton in Petrozavodsk Bay of Lake Onego]. *Gidrobiol. Petrozavodskoi guby Onezhskogo ozera* [Hydrobiol. of Petrozavodsk Bay of Lake Onego]. Petrozavodsk: Karel. fil. AN SSSR, 1980. P. 74–96.

Metodicheskie rekomendatsii po sboru i obrabotke materialov v gidrobiologicheskikh issledovaniyakh na presnovodnykh vodoemakh. Zooplankton i ego produktsiya [Methodical recommendations for the collection and processing of materials in hydrobiological research on freshwater reservoirs. Zooplankton and its products]. Leningrad: GosNIORH, 1984. P. 33.

Nikolaev I. I. Istoriya issledovaniya zooplanktona Onezhskogo ozera [History of zooplankton research in Lake Onego]. *Zooplankton Onezhskogo ozera* [Zooplankton of Lake Onego]. Leningrad: Nauka, 1972. P. 5–23.

Onezhskoe ozero. Atlas [Lake Onego. An atlas]. Petrozavodsk: KarRC RAS, 2010. 151 p.

Onezhskoe ozero. Ekologicheskie problemy [Lake Onego. Ecological problems]. Petrozavodsk: KarRC RAS, 1999. 293 p.

Pidgaiko M. L. Zooplankton vodoemov evropeiskoi chasti SSSR [Zooplankton of water bodies in the European part of the USSR]. Moscow: Nauka, 1984. 208 p.

Polivannaya M. F. Materialy k poznaniyu zooplanktona Onezhskogo ozera [Materials for the knowledge of the zooplankton in Lake Onego]: Summary of PhD (Cand. of Biol.) thesis. Petrozavodsk, 1950. 18 p.

Smirnova T. S. Planktonnye kolovratki i rakoobraznye [Plankton rotifers and crustaceans]. *Zooplankton Onezhskogo ozera* [Zooplankton of Lake Onego]. Leningrad: Nauka, 1972. P. 126–233.

Syarki M. T. Zooplankton. Krupneishie ozera-vodokhranilishcha Severo-Zapada evropeiskoi territorii Rossii: sovremennoe sostoyanie i izmeneniya ekosistem pri klimaticheskikh i antropogennykh vozdeystviyakh [Zooplankton. The largest lakes-reservoirs of the north-western European part of Russia: current state and changes of ecosystems under climate variability and anthropogenic impact]. Petrozavodsk: KarRC RAS, 2015. P. 121–127.

Syarki M. T. Izuchenie traektorii sezonnoi dinamiki planktona s pomoshch'ju metoda dvoynogo sglazhivaniya [Study of the trajectory of seasonal dynamics of plankton using the method of double smoothing]. *Printsipy ekol.* [Principles of the Ecol.]. 2013. No. 1(5). P. 61–67.

Syarki M. T. Otsenka ryboproduktivnosti po sostoyaniyu kormovoi bazy. Zooplankton. Biologicheskie resursy Onezhskogo ozera [Evaluation of fish productivity according to the state of the forage reserve. Zooplankton. Biological resources of Lake Onego]. Petrozavodsk: KarRC RAS, 2008. P. 54–67.

Syarki M. T., Kulikova T. P. Zooplankton Onezhskogo ozera. Svidetel'stvo o gosudarstvennoi registratsii bazy dannykh № 2012621150. Pravoobladatel': Federal'noe gosudarstvennoe byudzhethnoe uchrezhdenie nauki Institut vodnykh problem Severa Karel'skogo nauchnogo tsentra RAN (IVPS KarNTs RAN) (RU). Data registratsii v reestre baz dannykh 9 noyabrya 2012 g. [Zooplankton of Lake Onego. The certificate of the state registration of database No. 2012621150. Copyright holder: FSBI Northern Water Problems Institute, Karelian Research Centre, Russian Academy of Sciences (NWPI KarRC RAS) (RU). The date of the registration in the register of databases: 9.11.2012].

Syarki M. T., Tekanova E. V., Chekryzheva T. A. Plankton pelagiali Onezhskogo ozera. Svidetel'stvo o gosudarstvennoi registratsii bazy dannykh № 2015620274. Pravoobladatel': Federal'noe gosudarstvennoe byudzhethnoe uchrezhdenie nauki Institut vodnykh problem Severa Karel'skogo nauchnogo tsentra RAN (IVPS KarNTs RAN) (RU). Data registratsii v reestre baz dannykh 13 fevralya 2015 g. [Plankton of the pelagic in Lake Onego. The certificate of the state registration of database No. 2015620274. Copyright holder: FSBI Northern Water Problems Institute, Karelian Research Centre,

Russian Academy of Sciences (NWPI KarRC RAS) (RU). The date of the registration in the register of databases: 13.02.2015].

Syarki M. T., Fomina Yu. Yu. Opredelenie dinamicheskikh kharakteristik zooplanktona Onezhskogo ozera [Determination of the dynamic characteristics of the zooplankton of Lake Onego]. *Printsipy ekol.* [Principles of the Ecol.]. 2016. No. 4. P. 26–33. doi: 10.15393/j1.art.2016.5223

Syarki M. T., Fomina Yu. Yu. Osobennosti sezonnykh yavlenii v zooplanktone Petrozavodskoi guby Onezhskogo ozera [Features of seasonal phenomena in the zooplankton in Petrozavodsk Bay of Lake Onego]. *Printsipy ekol.* [Principles of the Ecol.]. 2014. Vol. 3, no. 3. P. 36–43. doi: 10.15393/j1.art.2014.3682

Syarki M. T., Fomina Yu. Yu. Sezonnye izmeneniya v zooplanktone Petrozavodskoi guby Onezhskogo ozera [Seasonal changes in the zooplankton in Petrozavodsk Bay of Lake Onego]. *Trudy KarNC RAN* [Trans. KarRC RAS]. 2015. No. 1. P. 63–68. doi: 10.17076/eco37

Syarki M. T., Fomina Yu. Yu. Zooplankton Petrozavodskoi guby Onezhskogo ozera v podlednyi period [Zooplankton in Petrozavodsk Bay of Lake Onego in the subglacial period]. *Uchen. zap. Petrozavod. gos. un-ta* [Proceed. Petrozavodsk St. Univ.]. 2017. No. 6(167). P. 90–95.

Vislyanskaya I. G. Struktura i dinamika biomassy fitoplanktona [Structure and dynamics of phytoplankton biomass]. *Onezhskoe ozero. Ekol. problemy.* [Lake Onego. Environmental problems]. Petrozavodsk: KarRC RAS, 1999. P. 146–158.

Adrian R., Wilhelm S., Gerten D. Life-history traits of lake plankton species may govern their phenological response to climate warming. *Global Change Biology.* 2006. Vol. 12. P. 652–661.

Hampton S. E., Gray D. K., Izmest'eva L. R., Moore M. V., Ozersky T. The rise and fall of plankton: long-term changes in the vertical distribution of algae and grazers in Lake Baikal, Siberia. *PLoS ONE.* 2014. Vol. 9, iss. 2. P. 1–10.

Izmest'eva L. R., Moore M. V., Hampton S. E., Ferwerda C. J., Gray D. K., Woo K. H., Pislegina H. V., Krashchuk L. S., Shimaraeva S. V., Silow E. A. Lake-wide physical and biological trends associated with warming in Lake Baikal. *Great Lakes Research.* 2015. P. 6–17.

Winder M., Schindler D. E. Climatic effects on the phenology of lake processes. *Global Change Biology.* 2004. Vol. 10, iss. 11. P. 1844–1856.

Winder M., Schindler D. E., Essington T. E., Litt A. H. Disrupted seasonal clockwork in the population dynamics of a freshwater copepod by climate warming. *Limnol. Oceanogr.* 2009. Vol. 54(6, part 2). P. 2493–2505.

Received March 21, 2018

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Фомина Юлия Юрьевна

младший научный сотрудник
Институт водных проблем Севера Карельского научного
центра РАН, Федеральный исследовательский центр
«Карельский научный центр РАН»
пр. А. Невского, 50, Петрозаводск, Республика Карелия,
Россия, 185030
эл. почта: rambler7780@rambler.ru

Сярки Мария Тагевна

старший научный сотрудник лаб. гидробиологии, к. б. н.
Институт водных проблем Севера Карельского научного
центра РАН, Федеральный исследовательский центр
«Карельский научный центр РАН»
пр. А. Невского, 50, Петрозаводск, Республика Карелия,
Россия, 185030
эл. почта: msyarki@yandex.ru

CONTRIBUTORS:

Fomina, Yuliya

Northern Water Problems Institute, Karelian Research Centre,
Russian Academy of Sciences
50 Al. Nevsky St., 185030 Petrozavodsk, Karelia, Russia
e-mail: rambler7780@rambler.ru

Syarki, Mariya

Northern Water Problems Institute, Karelian Research Centre,
Russian Academy of Sciences
50 Al. Nevsky St., 185030 Petrozavodsk, Karelia, Russia
e-mail: msyarki@yandex.ru

УДК 574.5

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МАЛЫХ ОЗЕР В ЗОНЕ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ МОНЧЕГОРСКОЙ ПЛОЩАДКИ АО «КОЛЬСКАЯ ГМК»

**Д. Б. Денисов, С. А. Валькова, П. М. Терентьев,
А. А. Черепанов, А. В. Разумовская**

*Институт проблем промышленной экологии Севера – обособленное подразделение
ФГБУН ФИЦ «Кольский научный центр РАН», Апатиты Мурманской обл., Россия*

Представлены результаты комплексных экологических исследований пяти малых озер, находящихся в зоне непосредственного воздействия Мончегорской площадки АО «Кольская ГМК». Выявлено, что экосистемы водоемов находятся в условиях экстремального загрязнения, характеризуются обедненным видовым составом гидробионтов и их количественными показателями. Озеро Кумужье, с наименее трансформированным водосбором, больше всего соответствует природным биотическим показателям. Озеро Нюдъявр, принимающее стоки металлургических цехов, дополнительно подвержено антропогенному эвтрофированию, что, очевидно, отчасти способствует устойчивости гидробионтов к токсической нагрузке. Установлено, что использование традиционных гидробиологических критериев оценки качества вод и трофического статуса для исследованных водоемов ограничено.

К л ю ч е в ы е с л о в а: малые озера; медно-никелевое производство; гидрохимия; планктон; бентос; ихтиофауна; макрофиты.

**D. B. Denisov, S. A. Valkova, P. M. Terentjev, A. A. Cherepanov,
A. V. Razumovskaya. ECOLOGICAL STATE OF SMALL LAKES IN THE
IMPACT ZONE OF THE MONCHEGORSK SITE OF JSC “KOLSKAYA GMK”**

Multidisciplinary ecological studies of five small lakes under direct impact of the Monchegorsk site of JSC «Kolskaya GMK» have been carried out. The lakes' ecosystems are exposed to critically heavy pollution, and are characterized by a poorer species composition of aquatic organisms and low values of their abundance and biomass. The biota of Lake Kumuzhye, with its least disturbed catchment, is the closest to the natural state. Lake Nyudyavr, which receives metal processing wastewater, is additionally suffering anthropogenic eutrophication, which probably contributes in part to the resistance of aquatic organisms to toxic stress. Traditional hydrobiological criteria for the assessment of water quality and trophic status were found to be of limited applicability to the studied water bodies.

Ke y w o r d s: small lakes; copper-nickel production; hydrochemistry; plankton; benthos; ichthyofauna; macrophytes.

Введение

Металлургическая промышленность является одним из наиболее опасных для состояния окружающей природной среды производств. Тяжелые металлы (ТМ) относятся к категории приоритетных загрязняющих водные экосистемы веществ из-за их высокой токсичности и способности к аккумуляции в гидробионтах [Mousavi et al., 2003; Чухлебова и др., 2011; Колесников, Бойченко, 2012; Колесник, 2014; Girunje et al., 2016]. Малые пресные водоемы промышленных регионов Арктической зоны являются наиболее уязвимыми компонентами природной среды, что делает их хорошими индикаторами антропогенного загрязнения. В зоне влияния Мончегорской площадки АО «Кольская горно-металлургическая компания» (МП КГМК) расположены ряд малых озер, подверженных непосредственному загрязнению стоками медно-никелевого производства наряду с интенсивным аэротехногенным загрязнением. Экосистемы этих водоемов развиваются в условиях долговременной экстремальной техногенной нагрузки, сочетающей высокие концентрации загрязнителей в воде и донных отложениях [Даувальтер, Кашулин, 2011], значительную деградацию почвенного покрова и растительности на водосборе, выпадение кислотообразующих соединений с атмосферными осадками. Предыдущие исследования влияния МП КГМК на водные объекты были посвящены преимущественно озеру Имандра [Антропогенные..., 2002], куда в конечном итоге поступают стоки металлургических цехов, в то время как информация об экологическом состоянии малых озер, с учетом населяющих их гидробионтов, ограничивается рядом специализированных отчетов [Исследование..., 2006].

Цель данной работы – оценить современное состояние основных абиотических (химический состав вод) и биотических (планктон, бентос, ихтиофауна) компонентов экосистем малых озер в зоне влияния МП КГМК и выявить последствия долговременного промышленного загрязнения.

Материалы и методы

Район исследования расположен в западной части Кольского полуострова на территории Мончегорского района Мурманской области. Всего изучено 5 озер, находящихся в непосредственной близости от зданий и сооружений МП КГМК (рис., табл. 1). В результате интенсивного развития промышленной и транспортной инфраструктуры, выбросов большого ко-

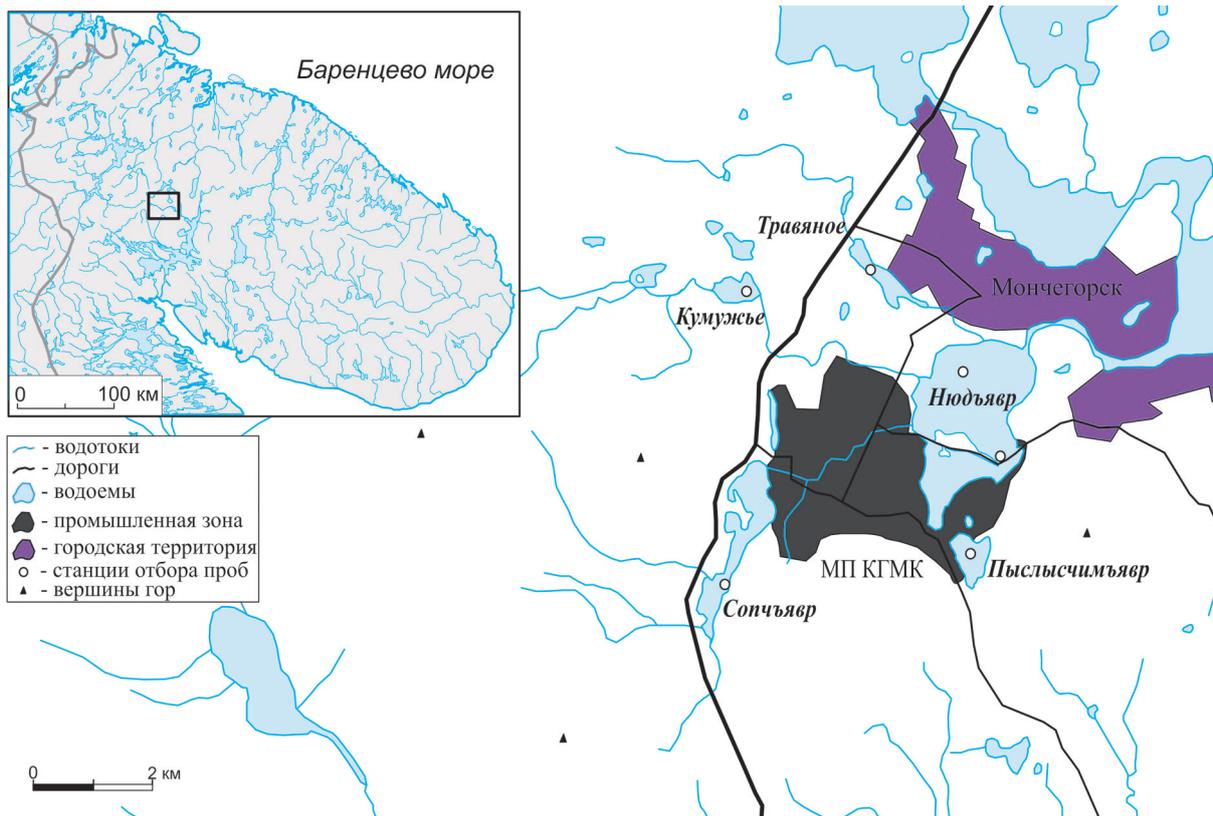
личества сернистого газа и тяжелых металлов в атмосферу в течение длительного периода (с 1938 г.) природно-ландшафтные комплексы, где расположены озера, в значительной степени подвергались деградации почвенно-растительного покрова, от угнетения лишайников до полного разрушения почв и образования техногенных пустошей. В наименьшей степени техногенное преобразование коснулось приозерной низменности оз. Кумужье, где в основном сохранилась характерная для региона северотаежная растительность. Оз. Нюдъявр является самым крупным внутренним водоемом района с площадью водосбора 90,54 км², в состав которого входят водосборы прочих исследованных озер (рис., табл. 1).

Южная часть водоема отделена дамбой от основной акватории и представляет собой технологический отстойник солевых сточных вод металлургических цехов и хозяйственно-бытовых стоков МП КГМК, гидрологически связанный через трубы перетока с северной частью. Оз. Пыслычимъявр соединено искусственным каналом с северной частью озера Нюдъявр для отвода стока в обход южной части озера Нюдъявр. Река Нюдауй сбрасывает весь сток бассейна и впадает в оз. Имандра.

Отбор и анализ проб планктона и зообентоса был произведен согласно ГОСТ 17.1.3.07–82 [2010], с использованием рекомендованных стандартных методик [Методы..., 1989; Руководство..., 1992], по схеме, принятой в ИППЭС КНЦ РАН [Денисов, Кашулин, 2013]. Определение таксономической принадлежности зоопланктона проводили по следующим источникам [Боруцкий, 1952; Кутикова, 1970; Определитель..., 1994, 1995].

Гидрохимический анализ был выполнен в аналитической лаборатории ИППЭС КНЦ РАН согласно общепринятым методикам [Standard method..., 1975; Руководство..., 1977]. Для сравнения в качестве условно фоновых использовались усредненные гидрохимические показатели озер тундровой и северо-таежной зоны Мурманской области, удаленных от промышленных предприятий [Моисеенко, Яковлев, 1990; Денисов, 2012; Кашулин и др., 2013; Валькова и др., 2015]. Трофический статус вод оценивался по классификации, предложенной С. П. Китаевым [1984], класс качества определялся по индексу сапробности согласно ГОСТ 17.1.3.07–82.

Учет видов высшей водной растительности проводился визуально с регистрацией мест их обитания на трансектах, по маршрутам, проложенным по мелководным частям акватории озер от береговой линии до максимальной



Станции отбора проб
Sampling stations

глубины обитаемости макрофитов (до 4–5 м). На обнаруженных местах скопления макрофитов, а также в прибрежных экотопах производились геоботанические описания по общепринятой методике [Катанская, 1981]. Для определения видового состава описаний и выявления флоры макрофитов исследованных озер велись гербарные сборы, хранящиеся в гербарии ИППЭС КНЦ РАН (INER KSC RAS).

Отбор и анализ ихтиологического материала проведен согласно общепринятым методикам [Правдин, 1966; Аршаница, Лесников, 1987; Кашулин и др., 1999].

Результаты и обсуждение

Гидрохимические показатели. Для всех исследованных озер зарегистрировано многократное превышение условного фона по основным загрязняющим веществам – ТМ (Cu, Ni, Pb, Cd) и сульфатам, а также биогенным элементам (табл. 1). Наибольшие концентрации загрязнителей наблюдались для оз. Нудъявр, являющегося приемником сточных вод: концентрация хлоридов, сульфатов, меди и никеля на два порядка превышала условный фон. Воды озера в настоящее время могут рас-

сматриваться как слабосоленые [Даувальтер, Кашулин, 2011]. Гидрохимические параметры прочих водоемов отражают преимущественно результат азротехногенного загрязнения. Очевидно, экосистемы озер развиваются под влиянием комплекса двух основных факторов: биогенной и токсической нагрузки. Присутствие доступных биогенных элементов может в определенной степени способствовать повышению устойчивости водных организмов к воздействию токсикантов.

Фитопланктон. Всего в пробах было выявлено 65 таксонов водорослей и цианопрокариот рангом ниже рода. Из них: Cyanoprokaryota – 6, Dinoflagellata – 4, Cryptophyta – 1, Bacillariophyta – 33, Chlorophyta – 10, Charophyta – 12. Для озер исследованной территории характерен сравнительно обедненный видовой состав, низкий уровень биомассы и содержания хлорофилла *a* (табл. 2). Наибольшая биомасса была зарегистрирована в озерах Нудъявр и Травяное. В альгоценозах значительную долю по численности и биомассе составляли виды рода *Peridinium* – *Peridinium bipes* Stein и *P. willei* Huitfeldt-Kaas.

Индекс сапробности для исследованных озер характеризует в большей степени не класс

Таблица 1. Некоторые характеристики и средние гидрохимические показатели (2016–2017 гг.) исследованных озер

Table 1. Some characteristics and average hydrochemical indicators (2016–2017) of the studied lakes

Показатель Index	Кумужье Kumuzhye	Сопчъявр Sopchyavr	Пыслычимъявр Pyslyschimyavr	Травяное Travyanoe	Нюдъявр Nyudyavr	«Фон» natural conditions
Площадь зеркала, км ² Water surface area, km ²	0,25	1,36	0,49	0,46	3,78	
Высота н. у. м., м Altitude, m	187	172	136	132	128	
Ср. глубина, м Average depth, m	2,6	1,8	2,0	1,3	2,1	
Макс. глубина, м Maximum depth, m	7,0	4,2	5,5	2,1	4,5	
pH	6,89	7,06	6,70	6,97	8,62	6,80
NH ₄ , мкгN/л NH ₄ , μg N/l	31	17	16	39	74	15
SO ₄ , мг/л SO ₄ , mg/l	14,0	20,3	26,5	13,2	550,0	2,0
NO ₃ , мкгN/л NO ₃ , μg N/l	13,43	139,14	15,71	46,29	95,86	3,50
Cl, мг/л Cl, mg/l	0,80	4,34	1,24	4,49	241,91	1,60
N (общ), мкгN/л N (tot), μgN/l	174,0	288,6	252,4	350,9	518,1	130,0
PO ₄ , мкгP/л PO ₄ , μgP/l	6,00	4,29	2,43	6,71	19,00	0,80
P (общ), мкг/л P (tot), μg /l	10,71	12,14	9,29	20,29	41,43	6,00
Органическое в-во, мгC/л Organic matter, mgC/l	3,65	2,52	4,44	6,54	4,85	5,00
Cu, мкг/л Cu, μg /l	16,4	41,0	98,6	177,3	199,5	< 1,0
Ni, мкг/л Ni, μg /l	77,8	270,3	275,6	186,1	335,3	< 1,0
Pb, мкг/л Pb, μg /l	0,34	1,40	0,44	0,86	0,50	0,00
Cd, мкг/л Cd, μg /l	0,02	0,04	0,12	0,08	0,10	0,01

качества вод, а интенсивность развития фитопланктона, и может рассматриваться как показатель низкого обилия индикаторных водорослей – сапробионтов, находящихся в угнетенном состоянии вследствие токсической нагрузки (табл. 2). Так, фитопланктон оз. Нюдъявр даже в условиях наличия значительного количества биогенных элементов (табл. 1) сравнительно слабо развит в количественном отношении. Наиболее близкими к естественно-природному состоянию оказались водорослевые сообщества планктона оз. Кумужье, где присутствуют чувствительные к загрязнению харовые водоросли. Наиболее трансформированной следует признать альгофлору оз. Травяное, где абсолютным доминантом по численности и биомассе являлись цианопрокариоты. В слабосоленом щелочном оз. Нюдъявр, в условиях

как токсической нагрузки, так и антропогенного эвтрофирования, формируется специфическая алкалофильная альгофлора, представленная сравнительно устойчивыми к загрязнению видами диатомей: *Surirella brebissonii* Kramm. & Lange-Bert, *Fragilaria capucina* var. *gracilis* (Oestr.) Hust., *F. capucina* subsp. *rumpens* (Kütz.) Lange-Bert. Очевидно, присутствие токсичных веществ (в первую очередь ТМ), угнетающих фотосинтетическую активность, препятствует обильному массовому развитию фитопланктона. Наличие элементов минерального питания водорослей, вероятно, способствует определенной резистентности к токсической нагрузке.

Зоопланктон. Выявлено 10 видов организмов: Rotatoria – 6, Cladocera – 1, Cyclopoida – 1, Calanoida – 2. В составе руководящего комплекса преобладали коловратки *Aplanchna pri-*

Таблица 2. Некоторые показатели планктона (средние за лето 2016–2017 гг.) и трофический статус вод исследованных озер

Table 2. Some average plankton characteristics (summer of 2016–2017) and the trophic state of the studied lakes

	Кумужье Kumuzhye	Сопчъявр Sorpyav	Пыслычимъявр Pyslyschimyavr	Травяное Travyanoe	Нюдъявр Nyudyavr
фитопланктон phytoplankton					
B, г/м ³ B, g/m ³	0,25	0,25	0,36	1,19	1,06
N, тыс. экз./м ³ N, thousand ind./m ³	1448	87	119	56980	748
N _{sp.}	29	8	10	21	32
Chl a, мг/м ³ Chl a, mg/m ³	0,88	0,87	1,16	2,99	2,71
H', бит/экз. H', bit/ind.	1,30	2,76	1,74	0,03	2,22
1/D	2,26	10,55	5,41	1,01	5,92
S	0,90	0,36	1,10	1,60	0,91
Трофический статус вод Trophic status of lakes	α-олиготрофный α-oligotrophic	α-олиготрофный α-oligotrophic	α-олиготрофный α-oligotrophic	β-олиготрофный β-oligotrophic	β-олиготрофный β-oligotrophic
зоопланктон zooplankton					
B, г/м ³ B, g/m ³	0,1	1,8	0,9	0,6	0,8
N, тыс. экз./м ³ N, thousand ind./m ³	5,6	157,3	496,4	304,5	690,9
H', бит/экз. H', bit/ind.	1,8	1,9	0,8	1,1	0,3
Rot : Clad : Cop, % B _{общ} Rot : Clad : Cop, % B _{tot}	0,4:0:99,6	17,8:68,7:13,5	100:0:0	99,7:0:0,3	46,7:0:53,3
Rot : Clad : Cop, % N _{общ} Rot : Clad : Cop, % N _{tot}	24:0:76	65,5:30,3:3,2	100:0:0	97:0:3	99,3:0:0,7
B _{Crust} /B _{Rot}	249,0	4,6	0,0	0,0	1,1
N _{Clad} /N _{Cop}	0,0	9,5	0,0	0,0	0,0
B ₃ /B ₂	4,3	0,1	0,0	0,9	1,7
W = B/N (мг)	0,018	0,011	0,001	0,001	0,001
S	1,4	1,6	1,5	1,5	1,5
Трофический статус вод Trophic status of lakes	α-олиготрофный α-oligotrophic	α-мезотрофный α-mezotrophic	β-олиготрофный β-oligotrophic	β-олиготрофный α-oligotrophic	β-олиготрофный α-oligotrophic

Примечание. N – численность, B – биомасса, H' – индекс Шеннона – Уивера, 1/D – обратный индекс Симпсона, N_{sp.} – число таксонов рангом ниже рода, S – индекс сапробности; N_{Rot}, N_{Clad}, N_{Cop} и B_{Rot}, B_{Clad}, B_{Cop} – численность и биомасса коловраток, кладоцер и копепод соответственно; B₃ и B₂ – биомасса хищного и «мирного» зоопланктона; w = B/N (мг) – индекс средней индивидуальной массы зоопланктеров.

Note. N – total abundance, B – biomass, H' – Shannon-Weaver index, 1/D – inverse Simpson index, N_{sp.} – number of taxa below the genus, S – saprobity index; N_{Rot}, N_{Clad}, N_{Cop} and B_{Rot}, B_{Clad}, B_{Cop} – the abundance and biomass of Rotifers, Cladocera and Copepods respectively; B₃ and B₂ – biomass of predatory and «peaceful» zooplankton; w = B/N (mg) – index of the average individual weight of zooplankters.

odonta Gosse, *Keratella quadrata* (Muller), *Ploesoma trunkatum* (Levander), *Polyarthra vulgaris* Carlin. Ветвистоусые ракообразные – «тонкие» фильтраторы были обнаружены исключительно в оз. Сопчъявр и представлены одним ви-

дом *Bosmina obtusirostris* Sars. В оз. Кумужье и Сопчъявр были выявлены чувствительные к загрязнению каланоиды *Eudiaptomus gracilis* Sars, *Eudiaptomus graciloides* Lilljeborg во взрослой и науплиальной стадии. Функциональные

показатели зоопланктонного сообщества также специфичны в каждом исследованном водоеме (табл. 2). Зоопланктонное сообщество оз. Пыслычимьявр отличается отсутствием групп «тонких» и «грубых» фильтраторов – ветвистоусых и веслоногих ракообразных. Крайне низкие показатели индексов w и H' также отражают превалирование мелкоразмерных форм с простыми жизненными циклами и высокой скоростью размножения и усиление доминантности отдельных видов коловраток. По индексу сапробности озера соответствуют III классу качества воды (умеренно загрязненные) (табл. 2). Зоопланктон исследованных озер также отличается обедненным видовым составом, включающим преимущественно устойчивые к загрязнению формы (коловратки). Отсутствие или низкие показатели видового разнообразия и численные показатели групп Cladocera, Copepoda, Calanoida свидетельствуют об угнетенном состоянии зоопланктона.

Трофический статус большинства водоемов по показателям планктона оценивается как α - и β -олиготрофный, за исключением оз. Сопчъявр, которое по показателям зоопланктона характеризуется как α -мезотрофное (табл. 1). Низкая численность фитопланктона в этом водоеме, очевидно, является следствием выедания рачковым планктоном.

Зообентос. Для исследованных водоемов характерен обедненный видовой состав макрозообентоса и крайне низкие количественные показатели. Основу фауны озер составляли хирономиды, другие группы были малочисленны. В оз. Сопчъявр макрозообентос был представлен только единичными экземплярами хирономид рода *Psectrocladius*, в оз. Травяном отмечены немногочисленные представители родов *Polypedilum* (*Pentapedilum*) и *Procladius*. Численность донных беспозвоночных не превышала 40 экз./м², биомасса – 0,2 г/м². В оз. Пыслычимьявр, которое расположено в непосредственной близости от МП КГМК, донные организмы не обнаружены.

В донных отложениях глубоководной зоны оз. Нюдъявр единично отмечены широко распространенные в пресноводных водоемах субарктической зоны хирономиды *Procladius* (*Holotanypus*) *choreus* gr. Значительно выше разнообразие бентосной фауны, развивающейся в районе труб перетока, связывающих отстойник и основную часть акватории озера. Здесь зарегистрированы хирономиды родов *Psectrocladius*, *Glyptotendipes*, *Procladius*, *Cricotopus* и *Orthocladius*, доминировали в составе сообществ личинки *Psectrocladius*, субдоминантом были приуроченные преимущественно к со-

обществам макрофитов представители рода *Cricotopus*. Также встречались водные клопы: гребляки (*Sigara* sp.) и клопы-водомерки (*Gerris* sp.).

В составе макрозообентоса озера Кумужье зарегистрированы ручейники *Polycentropus flavomaculatus* Pictet, 1834, хирономиды *Procladius* (*Holotanypus*) *choreus* gr., *Chironomus* sp., *Polypedilum* (*Pentapedilum*) sp., личинки двукрылых сем. Rhagionidae и Dolihopodidae и амфиподы *Gammarus lacustris* Sars, 1863. По составу макрозообентоса озеро Кумужье наиболее близко к водоемам незагрязненных районов северотаежной зоны Мурманской области [Яковлев, 2005]. Численность зообентоса в зоне литорали составляла 90 экз./м², биомасса – 1,8 г/м², в зоне профундали – 154 экз./м² и 1,2 г/м² соответственно.

Трофический статус исследованных водных объектов оценивается как олиготрофный, что в значительной степени обусловлено воздействием на водоемы азротехногенных выбросов металлургического комбината, способствующих процессам «олиготрофизации» вод в результате общего замедления биопродукционных процессов в токсической среде.

Высшая водная растительность. Техногенное загрязнение озер Мончегорского промышленного узла привело к значительным трансформациям растительного покрова сосудистых макрофитов вплоть до полного уничтожения в находящих в непосредственной близости от промплощадки озерах Сопчъявр и Пыслычимьявр. Придонные сообщества на глубине 0,5–6 м здесь сформированы куртинами водного мха *Fontinalis antipyretica* Hedw., занимающими от 5 % (оз. Сопчъявр) до 60–80 % (оз. Пыслычимьявр) общего проективного покрытия (ОПП). Растительность оз. Травяного и большей части акватории оз. Нюдъявр представлена редкими моновидовыми группировками рдестов и хвоща водного, являющимися, согласно ранее проведенным наблюдениям [Разумовская, Петрова, 2017], одними из самых устойчивых к техногенному и биогенному загрязнению видами макрофитов. Наибольшее обилие в группировках (до 25 % ОПП) достигалось в местах впадения или истока ручьев, здесь также отмечалось присутствие других видов в составе растительных сообществ. Так, в оз. Травяном в устьевой зоне ручья обнаружено сообщество ежеголовника плавающего (до 20 %) с единичными особями урути очередноцветковой.

Высшая водная растительность оз. Кумужье отличается сформированностью сообществ и их повсеместным распространением на при-

годных для расселения экотопах. Прибрежные сообщества на глубинах до 0,7 м образованы ежеголовником (*Sparganium angustifolium* Michx., 10–20 %), в местах выхода из озера водотоков – с шелковником (*Batrachium peltatum* (Schrank) C. Presl) и хвостником (*Hippuris melanocarpa* N. Semen.). На больших глубинах – от 1 до 5–6 м – встречаются редкотравные рдестовые (*Potamogeton gramineus* L., *Potamogeton praelongus* Wulf.) группировки, занимающие до 80 % пригодных для развития макрофитов песчано-щебнистых участков каменистого субстрата. На западной оконечности озера в местах расположения нескольких постоянно действующих водных скважин (прямо в акватории и на берегу, ручьем стекающей в озеро) в устье и в подречьях ручьев на глубинах до 1,5–2,5 м развиваются сообщества погруженных макрофитов союза *Littorellion uniflorae* (асс. *Isoetetum echinosporae*), сходные с описываемыми для незагрязненных районов [Dierssen, 1996; Chepinoga et al., 2013]. Сообщества малосомкнутые (ОПП до 25 %), 2–3-ярусные, видовая насыщенность 5–6 видов. Верхний ярус с выходом на поверхность водного зеркала образует ежеголовник (10–15 %), на глубинах до 0,7 м – совместно с хвостником. Разреженный (2–4 %) и не всегда выраженный средний ярус, расположенный в придонном слое водяной толщи, сформирован рдестом Берггольда (*Potamogeton bertholdii* Fieb.) и шелковником (*Batrachium peltatum* (Schrank) C. Presl). В придонном ярусе активен шильник водный (*Subularia aquatica* L.) и полушник колючеспоровый (*Isoetes setacea* Lam.) – вид, занесенный в Красные книги Российской Федерации [2008] и Мурманской области [2014]. Обнаруженная популяция полушника насчитывает более 300 взрослых особей.

Несмотря на расположение оз. Кумужье вблизи от источника аэротехногенного загрязнения, по составу макрофитной растительности оно близко к водоемам незагрязненных районов северотаежной полосы Мурманской области [Волкова, 1974]. Особо значимым маркером «фоновости» служит развитие полноценных сообществ ассоциации *Isoetetum echinosporae* и присутствие значительной популяции самого полушника. По всей вероятности, данная ситуация сложилась благодаря проточности озера и значительному разбавлению водами скважин загрязненных вод, поступающих с поверхностными стоками.

Ихтиофауна. Представители фауны рыб отмечены лишь в оз. Нюдъявр (европейская ряпушка *Coregonus albula* L.) и оз. Кумужье (кумжа *Salmo trutta* L., обыкновенный голяк *Phoxinus phoxinus* L. и налим *Lota lota* L.).

Кумжа оз. Кумужье является наиболее ценным представителем рыбной части сообщества исследованных водоемов. Численность рыб в уловах была крайне низка, размерно-весовые показатели также невелики. При массе 93–207 г (в среднем 160 г) и длине 19,7–26,7 см (в среднем 23,8 см) возраст рыб варьировал в пределах 3+...5+. Вероятно, кумжа данного водоема представляет локальную популяцию, распространенную в пределах озера и в придаточном озере, расположенном выше по течению. Необходимо отметить, что патологических трансформаций наружных и внутренних органов, характерных для рыб ряда водоемов Мурманской области в условиях промышленного загрязнения [Кашулин и др., 1999; Терентьев, Кашулин, 2012], у исследованных экземпляров кумжи оз. Кумужье не обнаружено.

Ряпушка, отмеченная в уловах оз. Нюдъявр, была представлена единичными особями, что может свидетельствовать о неблагоприятных условиях для ее обитания. Масса рыб варьировала от 1,8 до 5,9 г (средняя 4 г). Длина особей изменялась от 6 до 9,2 см (средняя 7,9 см). Рыбы были представлены главным образом двухлетками (1+). Отсутствие в уловах других видов рыб в оз. Нюдъявр, по-видимому, обусловлено значительной трансформацией водоема и долговременным влиянием МП КГМК.

В качестве показателя антропогенной нагрузки на исследованные водоемы можно рассматривать уровни накопления ТМ в органах и тканях рыб. Для кумжи оз. Кумужье был проведен сравнительный анализ содержания ТМ в органах рыб (табл. 3).

Установлено, что рассматриваемые ТМ и алюминий в меньшей степени накапливаются в мышечной ткани рыб. Наиболее высокие концентрации меди отмечались в печени; никеля, алюминия, свинца и ртути – в почках; цинка и марганца – в жабрах и костной ткани (табл. 3). Абсолютные величины накопления меди, как приоритетного загрязняющего вещества, в печени кумжи достигали 824,3 мкг/г сухого веса. Таким образом, несмотря на относительное удаление и закрытость водоема и его водосборного бассейна массивом Мончегорских тундр от дымовых выбросов МП КГМК, нагрузка загрязняющих веществ на экосистему водоема достаточно интенсивна. Содержание меди в тканях кумжи оз. Кумужье выше по сравнению с рыбами оз. Куэтсъярви, испытывающего аналогичное долговременное влияние Печенгской площадки АО «Кольская ГМК». Содержание никеля (в почках), меди (в печени), свинца (в почках) и ртути (в мышцах) в несколько раз выше по сравнению с рыбами данного вида оз. Иман-

Таблица 3. Содержание тяжелых металлов и алюминия в органах кумжи оз. Кумужье

Table 3. The concentration of heavy metals and aluminum in trout organs of Lake Kumuzhye

	Cu	Ni	Zn	Mn	Al	Pb	Hg
мышцы muscle	$1,16 \pm 0,19$ 0,88–1,39	$0,42 \pm 0,25$ 0,07–0,77	$17,43 \pm 2,46$ 15,40–21,19	$0,59 \pm 0,38$ 0,24–1,28	$1,48 \pm 0,30$ 1,22–2,04	$0,17 \pm 0,05$ 0,12–0,25	$0,15 \pm 0,03$ 0,11–0,21
печень liver	$509,44 \pm 198,06$ 326,54–824,34	$3,69 \pm 1,18$ 2,24–5,05	$128,91 \pm 31,39$ 95,71–184,21	$7,20 \pm 1,86$ 4,99–10,12	$4,36 \pm 1,64$ 2,92–7,08	$0,50 \pm 0,41$ 0,12–1,19	$0,21 \pm 0,07$ 0,15–0,35
почки kidneys	$9,25 \pm 1,55$ 7,26–11,37	$10,53 \pm 3,29$ 7,37–14,19	$165,74 \pm 42,02$ 117,91–225,23	$4,79 \pm 1,04$ 3,82–6,75	$8,79 \pm 3,23$ 6,34–15,08	$0,51 \pm 0,24$ 0,28–0,95	$0,31 \pm 0,07$ 0,22–0,42
жабры gills	$19,44 \pm 16,27$ 4,62–46,71	$6,81 \pm 0,77$ 5,80–8,03	$304,56 \pm 93,52$ 207,14–422,44	$16,42 \pm 3,66$ 12,56–22,34	$7,03 \pm 2,89$ 4,73–12,18	- -	$0,10 \pm 0,03$ 0,06–0,14
скелет skeleton	$1,07 \pm 0,31$ 0,62–1,46	$1,05 \pm 0,52$ 0,47–1,69	$168,98 \pm 52,65$ 110,11–256,05	$21,26 \pm 6,48$ 12,98–28,56	$3,64 \pm 0,92$ 2,53–4,70	- -	$0,06 \pm 0,001$ 0,05–0,07

Примечание. Вверху – среднее значение \pm станд. отклонение; внизу – диапазон величин концентраций, мкг/г сухой массы.
Note. In the numerator – average value \pm st. deviation; in the denominator – range of concentration values, $\mu\text{g} / \text{g}$ dry weight.

дра (Йокостровский плес) [Терентьев, Кашулин, 2012].

Заключение

Экосистемы всех исследованных водоемов развиваются в условиях многократного превышения условного фона по приоритетным загрязнителям (ТМ и сульфатам). Оз. Нюдъявр также подвержено антропогенному эвтрофированию. В настоящее время в наибольшей степени трансформированы гидрохимические условия в оз. Нюдъявр, в наименьшей – в оз. Кумужье.

Планктон характеризуется обедненным видовым составом и малыми численными показателями. В связи с низким обилием видов-сапробионтов использование традиционного показателя оценки качества вод – индекса сапробности – для данных озер ограничено и его заниженные значения целесообразно рассматривать как косвенный индикатор токсической нагрузки. Одним из факторов устойчивости планктонных организмов к токсической нагрузке, очевидно, следует считать наличие избытка биогенных элементов. При этом экстремальные концентрации токсикантов замедляют процессы эвтрофирования, что демонстрирует низкий трофический статус озер.

Сообщества макрозообентоса исследованных водных объектов развиваются в условиях токсификации, что обуславливает обедненный видовой состав и низкий уровень численности и биомассы донной фауны.

Оценка состояния рыбной части сообщества оз. Нюдъявр показала, что, несмотря на серьезные преобразования экосистемы, в водоеме отмечается европейская ряпушка, которая попадает в водоем из оз. Имандра по р. Нюдуй. Открытость системы оз. Нюдъявр и его бассей-

на, связь с крупнейшим водоемом региона – оз. Имандра, а также достаточное количество планктонных организмов в некоторой степени способны нивелировать высокий уровень антропогенной нагрузки и обуславливают проникновение в оз. Нюдъявр европейской ряпушки.

Оз. Кумужье в настоящее время в наибольшей степени сохраняет черты природного водоема. Расположенная выше озера придаточная речная система, а также наличие выходов подземных вод, вероятно, обеспечивают благоприятные условия для обитания гидробионтов, включая наиболее ценных представителей ихтиофауны. В то же время уровень накопления тяжелых металлов в тканях рыб свидетельствует о значительной азротехногенной нагрузке на водоем и его водосборную территорию.

Литература

Антропогенные модификации экосистемы озера Имандра / Ред. Т. И. Моисеенко. М.: Наука, 2002. 403 с.

Аршаница Н. М., Лесников Л. А. Патологоморфологический анализ состояния рыб в полевых и экспериментальных токсикологических исследованиях // Методы ихтиотоксикологических исследований. Л.: ГосНИОРХ, НПО Промрыбвод, 1987. С. 7–9.

Боруцкий Е. В. Награтикоиды пресных вод // Фауна СССР. Ракообразные. М.; Л.: АН СССР, 1952. Т. 3, вып. 4. 426 с.

Валькова С. А., Денисов Д. Б., Терентьев П. М., Вандыш О. А., Кашулин Н. А. Гидробиологическая характеристика некоторых малых озер зоны северной тайги (Кольский полуостров) // Труды КарНЦ РАН. 2015. № 4. С. 79–93. doi: 10.17076/bg16

Волкова Л. А. Высшая водная растительность озер Кольского полуострова // Озера различных ландшафтов Кольского полуострова. Ч. II. Гидрохимия и гидробиология. Л.: Наука, 1974. С. 63–77.

ГОСТ 17.1.3.07–82. Охрана природы. Гидросфера. Правила контроля качества воды водоемов и во-

дотоков // Контроль качества воды: Сб. ГОСТов. М.: Стандартиформ, 2010.

Даувальтер В. А., Кашулин Н. А. Эколого-экономическая оценка необходимости извлечения донных отложений оз. Нюдъявр Мончегорского района Мурманской области // Вестник МГТУ. 2011. Т. 14, № 4. С. 884–891.

Денисов Д. Б. Реконструкция развития экосистемы малого горного субарктического водоема за последние 900 лет (на примере оз. Академическое, Хибин, Кольский полуостров) // Труды КНЦ РАН «Прикладная экология Севера». 2012. № 10. С. 127–148.

Денисов Д. Б., Кашулин Н. А. Современное состояние водорослевых сообществ планктона в зоне влияния Кольской АЭС (оз. Имандра) // Труды КНЦ РАН «Прикладная экология Севера». 2013. № 3(16). С. 70–96.

Исследование состояния северной части оз. Нюд-Явр и разработка практических рекомендаций по снижению поступления загрязняющих веществ на контрольный створ // Отчет о выполнении научно-исследовательских работ по договорной теме № 22–82/08. Апатиты, 2006. 157 с.

Катанская В. М. Высшая водная растительность континентальных водоемов СССР. Л.: Наука, 1981. 188 с.

Кашулин Н. А., Лукин А. А., Амундсен П. А. Рыбы пресных вод субарктики как биоиндикаторы техногенного загрязнения. Апатиты: КНЦ РАН, 1999. 142 с.

Кашулин Н. А., Сандимиров С. С., Даувальтер В. А., Кудрявцева Л. П., Терентьев П. М., Денисов Д. Б., Вандыш О. И., Королева И. М., Валькова С. А., Кашулина Т. Г. Аннотированный экологический каталог озер Мурманской области: центральный и юго-западный районы Мурманской области (бассейны Баренцева и Белого морей и Ботнического залива Балтийского моря). Апатиты: КНЦ РАН, 2013. Ч. 1. 298 с., ч. 2. 253 с.

Китаев С. П. Экологические основы биопродуктивности озер разных природных зон. М.: Наука, 1984. 204 с.

Колесник Н. Л. Распределение тяжелых металлов среди компонентов пресноводных экосистем (обзор) // Рыбогосподарська наука України. 2014. № 3(29). С. 35–54.

Колесников В. А., Бойченко Н. Б. Содержание соединений тяжелых металлов в воде, органах и тканях рыб реки Чулым Ачинского района Красноярского края // Вестник Красноярского гос. агр. ун-та. 2012. № 6. С. 99–104.

Красная книга Мурманской области. Изд. 2-е, перераб. и доп. / Отв. ред. Н. А. Константинова, А. С. Корякин, О. А. Макарова, В. В. Бианки. Кемерово: Азия-принт, 2014. 584 с.

Красная книга Российской Федерации (растения и грибы). М.: КМК, 2008. 855 с.

Кутикова Л. А. Коловратки фауны СССР: Rotatoria: подкласс Eurotatoria: отряды: Ploimida, Moni-

motrochida, Paedotrochida / Гл. ред. Б. Е. Быховский. Зоол. ин-т АН СССР. Л.: Наука, 1970. 744 с.

Методы биоиндикации и биотестирования природных вод. Л.: Гидрометеиздат, 1989. 277 с.

Моисеенко Т. И., Яковлев В. А. Антропогенные преобразования водных экосистем Кольского Севера. Л.: Наука, 1990. 221 с.

Определитель пресноводных беспозвоночных России и сопредельных территорий. Т. 1. Низшие беспозвоночные / Ред. С. Я. Цалолихин. ЗИН РАН. СПб.: Наука, 1994. 395 с.

Определитель пресноводных беспозвоночных России и сопредельных территорий. Ракообразные / Ред. С. Я. Цалолихин. ЗИН РАН. СПб.: Наука, 1995. Т. 2, 629 с.

Правдин И. Ф. Руководство по изучению рыб. М.: Пищ. пром., 1966. 456 с.

Разумовская А. В., Петрова О. В. Флора макрофитов озера Имандра // Ботан. журнал. 2017. Т. 102, № 1. С. 62–78.

Руководство по гидробиологическому мониторингу пресноводных экосистем. СПб.: Гидрометеиздат, 1992. 320 с.

Руководство по методам химического анализа морских вод / Ред. С. Г. Орадовский. Л.: Гидрометеиздат, 1977. 208 с.

Терентьев П. М., Кашулин Н. А. Трансформации рыбной части сообществ водоемов Мурманской области // Труды КНЦ РАН. 2012. № 11. С. 62–101.

Чухлебова Л. М., Бердников Н. В., Панасенко Н. М. Тяжелые металлы в воде, донных отложениях и мышцах рыб реки Амур // Гидробиологический журнал. Т. 47, № 3. 2011. С. 110–120.

Яковлев В. А. Пресноводный зообентос Северной Фенноскандии (разнообразие, структура и антропогенная динамика). Апатиты: КНЦ РАН, 2005. Ч. 1. 161 с.

Chepinoga V. V., Bergmeier E., Rosbakh S. A. Classification of aquatic vegetation (Potametea) in Baikal Siberia, Russia and its diversity in a northern Eurasian context // Phytocoenol. 2013. Vol. 43, iss. 1–2. P. 127–167.

Dierssen K. Vegetation Nordeuropas. Stuttgart: Ulmer, 1996. 838 p.

Giripunje M. D., Fulke A. B., Meshram P. U. Assessment of heavy metals and estimation of human health risk in Tilapia fish from Naik Lake of Nagpur, India // J. Toxicol. Environ. Health Sci. 2016. Vol. 8(4). P. 22–29.

Mousavi S. K., Primicerio P., Amundsen P.-A. Diversity and structure of Chironomidae (Diptera) communities along a gradient of heavy metal contamination in a subarctic watercourse // Sci. Total Environ. 2003. Vol. 307. P. 93–110.

Standard method for examination for water and wastewater / L. S. Clescerl et al. (eds.). USA, 1975. 119 p.

Поступила в редакцию 19.04.2018

References

- Antropogennyye modifikatsii ekosistemy ozera Imandra* [Anthropogenic modifications of Lake Imandra ecosystem]. Moscow: Nauka, 2002. 403 p.
- Arshanitsa N. M., Lesnikov L. A. Patologomorfologicheskii analiz sostoyaniya ryb v polevykh i eksperimental'nykh toksikologicheskikh issledovaniyakh [Patomorphological analysis of fish in field and experimental toxicological research]. *Metody ikhtiotoksikol. issled.* [Methods of ichthyotoxicol. research]. Leningrad: GosNIORH NPO Promrybvod, 1987. P. 7–9.
- Borutskii E. V. Harpacticoida presnykh vod [Harpacticoida in fresh waters]. *Fauna SSSR. Rakoobraznye* [Fauna of the USSR. Crustacea]. Moscow; Leningrad: AN SSSR, 1952. Vol. 3, iss. 4. 426 p.
- Chukhlebova L. M., Berdnikov N. V., Panasenko N. M. Tyazhelye metally v vode, donnykh otlozheniyakh i myshtsakh ryb reki Amur [Heavy metals in water, bottom sediments and muscles of fish in the Amur River]. *Gidrobiol. zhurn.* [Hydrobiol. J.]. 2011. Vol. 47, no. 3. P. 110–120.
- Dauvalter V. A., Kashulin N. A. Ekologo-ekonomicheskaya otsenka neobkhodimosti izvlecheniya donnykh otlozhenii oz. Nyud"yavr Monchegorskogo raiona Murmanskoi oblasti [Ecological and economical assessment of necessity to extract bottom sediments of Lake Nyudyavr in Monchegorsk District of the Murmansk Region]. *Vestnik MGTU* [Herald of the Bauman Moscow St. Tech. Univ.]. 2011. Vol. 14, no. 4. P. 884–891.
- Denisov D. B. Rekonstruktsiya razvitiya ekosistemy malogo gornogo subarkticheskogo vodoema za poslednie 900 let (na primere oz. Akademicheskoe, Khibiny, Kol'skii poluostrov) [The diatom-infer small subarctic waterbody ecosystem development reconstruction during the last 900 years (Lake Akademicheskoe, the Khibiny, the Kola Peninsula)]. *Trudy KNTs RAN «Prikladnaya ekol. Severa»* [Proceed. of the Kola Sci. Centre RAS *Appl. Ecol. of the North*]. 2012. No. 10. P. 127–148.
- Denisov D. B., Kashulin N. A. Sovremennoe sostoyanie vodoroslevykh soobshchestv planktona v zone vliyaniya Kol'skoi AES (oz. Imandra) [The phytoplankton communities under the Kola nuclear power plant impact (Lake Imandra)]. *Trudy KNTs RAN «Prikladnaya ekol. Severa»* [Proceed. of the Kola Sci. Centre RAS *Appl. Ecol. of the North*]. 2013. No. 3(16). P. 70–96.
- GOST 17.1.3.07–82. *Okhrana prirody. Gidrosfera. Pravila kontrolya kachestva vody vodoemov i vodotokov* [Nature protection. Hydrosphere. Procedures for quality control of water in reservoirs and stream flows]. Kontrol' kachestva vody: Sb. GOSTov [Quality control of water: Coll. of State standards (GOSTs)]. Moscow: Standartinform, 2010.
- Issledovanie sostoyaniya severnoi chasti oz. Nyud-Yavr i razrabotka prakticheskikh rekomendatsii po snizheniyu postupleniya zagryaznyayushchikh veshchestv na kontrol'nyi stvor* [Study of the current state of the northern Lake Nyud-Yavr and development of practical recommendations for decreasing pollutants entrance to monitoring section]. Otchet o vypolnenii nauchno-issled. rabot po dogovornoj teme № 22–82/08 [A completion report on research on the contract project No. 22–82/08]. Apatity, 2006. 157 p.
- Katanskaya V. M. Vysshaya vodnaya rastitel'nost' kontinental'nykh vodoemov SSSR [Higher aquatic vegetation of continental water bodies of the USSR]. Leningrad: Nauka, 1981. 188 p.
- Kashulin N. A., Lukin A. A., Amundsen P. A. Ryby presnykh vod subarktiki kak bioindikatory tekhnogenogo zagryazneniya [Fish of fresh waters of the subarctic region as biological indicators of technogenic pollution]. Apatity: KNC RAN, 1999. 142 p.
- Kashulin N. A., Sandimirov S. S., Dauvalter V. A., Kudryavtseva L. P., Terent'ev P. M., Denisov D. B., Vandyshev O. I., Koroleva I. M., Val'kova S. A., Kashulina T. G. Annotirovannyi ekologicheskii katalog ozer Murmanskoi oblasti: tsentral'nyi i yugo-zapadnyi raiony Murmanskoi oblasti (basseiny Barentseva i Belogo morei i Botnicheskogo zaliva Baltiiskogo morya) [Annotated ecological inventory of lakes of the Murmansk Region: central and south-western parts of the Murmansk region (basins of the Barents, White Sea and the Gulf of Bothnia of the Baltic Sea)]. Apatity: KNTs RAN, 2013. Part. 1. 298 p.; part. 2. 253 p.
- Kitaev S. P. Ekologicheskie osnovy bioproduktivnosti ozer raznykh prirodnykh zon [Ecological bases of biological productivity in different natural zones]. Moscow: Nauka, 1984. 204 p.
- Kolesnik N. L. Raspredelenie tyazhelykh metallov sredi komponentov presnovodnykh ekosistem (obzor) [Heavy metals distribution among components of freshwater ecosystems (a review)]. *Ribogospodars'ka nauka Ukraini*. 2014. No. 3(29). P. 35–54.
- Kolesnikov V. A., Boichenko N. B. Soderzhanie soedinenii tyazhelykh metallov v vode, organakh i tkanyakh ryb reki Chulym Achinskogo raiiona Krasnoyarskogo kraja [Heavy metal compound availability in water, fish organs and tissues in Chulym River in the Krasnoyarsk region, Achinsk area]. *Vestnik Krasnoyarskogo gos. agr. un-ta* [The Bull. of KrasGAU]. 2012. No. 6. P. 99–104.
- Kolovratki fauny SSSR: Rotatoria: podklass Eurotatoria: otryady: Ploimida, Monimotrochida, Paedotrochida [Rotifers of the fauna of the USSR: Rotatoria: subclass Eurotatoria: orders Ploimida, Monimotrochida, Paedotrochida]. Leningrad: Nauka, 1970. 744 p.
- Krasnaya kniga Murmanskoi oblasti* [The Red Data Book of the Murmansk Region]. Izd. 2-e, pererab. i dop. Kemerovo: Aziya-print, 2014. 584 p.
- Krasnaya kniga Rossiiskoi Federatsii (rasteniya i griby)* [The Red Data Book of the Russian Federation (plants and fungi)]. Moscow: KMK, 2008. 855 p.
- Metody bioindikatsii i biotestirovaniya prirodnykh vod* [Methods of bioindication and biotesting of natural waters]. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1989. 277 p.
- Moiseenko T. I., Yakovlev V. A. Antropogennyye preobrazovaniya vodnykh ekosistem Kol'skogo Severa [Man-induced changes of water ecosystems of the Kola North]. Leningrad: Nauka, 1990. 221 p.
- Opredelitel' presnovodnykh bespozvonochnykh Rossii i sopredel'nykh territorii. Nizshie bespozvonochnye* [Identification guide of freshwater invertebrates in Russia and adjacent territories. Lower invertebrates]. St. Petersburg: Nauka, 1994. Vol. 1. 395 p.
- Opredelitel' presnovodnykh bespozvonochnykh Rossii i sopredel'nykh territorii. Rakoobraznye* [Identification guide of freshwater invertebrates in Russia

and adjacent territories. Crustacea]. Vol. 2. St. Petersburg: Nauka, 1995. 629 p.

Pravdin I. F. Rukovodstvo po izucheniyu ryb [Manual on fish studying]. Moscow: Pishch. prom., 1966. 456 p.

Razumovskaya A. V., Petrova O. V. Flora makrofitov ozera Imandra [Flora of macrophytes of Lake Imandra]. *Botan. zhurn.* [Botan. J.]. 2017. Vol. 102, no. 1. P. 62–78.

Rukovodstvo po gidrobiologicheskomu monitoringu presnovodnykh ekosistem [Manual on hydrobiological monitoring of freshwater ecosystems]. St. Petersburg.: Gidrometeoizdat, 1992. 320 p.

Rukovodstvo po metodam khimicheskogo analiza morskikh vod [Manual on methods for chemical analysis of sea water]. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1977. 208 p.

Terent'ev P. M., Kashulin N. A. Transformatsii rybnoi chasti soobshchestv vodoemov Murmanskoi oblasti [The transformation of fish communities in the waterbodies of the Murmansk Region]. *Trudy KNTs RAN* [Trans. KarRC RAS]. 2012. No. 11. P. 62–101.

Val'kova S. A., Denisov D. B., Terent'ev P. M., Vandysh O. A., Kashulin N. A. Gidrobiologicheskaya kharakteristika nekotorykh malykh ozer zony severnoi taigi (Kol'skii poluostrov) [Hydrobiological characteristics of some small lakes in the northern taiga zone (Kola Peninsula)]. *Trudy KarNTs RAN* [Trans. KarRC RAS]. 2015. No. 4. P. 79–93. doi: 10.17076/bg16

Volkova L. A. Vysshaya vodnaya rastitel'nost' ozer Kol'skogo poluostrova [Higher aquatic vegetation

in lakes of the Kola Peninsula]. *Ozera razlichnykh landshaftov Kol'skogo poluostrova*. Ch. II. Gidrokhiimiya i gidrobiologiya [Lakes of different landscapes of the Kola Peninsula]. Leningrad: Nauka, 1974. P. 63–77.

Yakovlev V. A. Presnovodnyi zoobentos Severnoi Fennoskandii (raznoobrazie, struktura i antropogennaya dinamika) [Freshwater zoobenthos of Northern Fennoscandia (diversity, structure, and anthropogenic dynamics)]. Apatity: KNTs RAN, 2005. Part. 1. 161 p.

Chepinoga V. V., Bergmeier E., Rosbakh S. A. Classification of aquatic vegetation (Potamogeton) in Baikal Siberia, Russia and its diversity in a northern Eurasian context. *Phytocoenol.* 2013. Vol. 43, iss. 1–2. P. 127–167.

Dierssen K. Vegetation Nordeuropas. Stuttgart: Ulmer, 1996. 838 p.

Giripunje M. D., Fulke A. B., Meshram P. U. Assessment of heavy metals and estimation of human health risk in Tilapia fish from Naik Lake of Nagpur, India. *J. Toxicol. Environ. Health Sci.* 2016. Vol. 8(4). P. 22–29.

Mousavi S. K., Primicerio P., Amundsen P.-A. Diversity and structure of Chironomidae (Diptera) communities along a gradient of heavy metal contamination in a subarctic watercourse. *Sci. Total Environ.* 2003. Vol. 307. P. 93–110.

Standard method for examination for water and wastewater. USA, 1975. 119 p.

Received April 19, 2018

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Денисов Дмитрий Борисович

старший научный сотрудник лаб. «Водные экосистемы», к. б. н.
Институт проблем промышленной экологии Севера – обособленное подразделение ФГБУН ФИЦ «Кольский научный центр РАН»
Академгородок 14а, Апатиты, Мурманская область, Россия, 184209
эл. почта: proffessuir@gmail.com

Валькова Светлана Александровна

научный сотрудник лаб. «Водные экосистемы», к. б. н.
Институт проблем промышленной экологии Севера – обособленное подразделение ФГБУН ФИЦ «Кольский научный центр РАН»
Академгородок 14а, Апатиты, Мурманская область, Россия, 184209
эл. почта: valkova@inep.ksc.ru

Терентьев Петр Михайлович

старший научный сотрудник лаб. «Водные экосистемы», к. б. н.
Институт проблем промышленной экологии Севера – обособленное подразделение ФГБУН ФИЦ «Кольский научный центр РАН»
Академгородок 14а, Апатиты, Мурманская область, Россия, 184209
эл. почта: p_terentjev@inep.ksc.ru

CONTRIBUTORS:

Denisov, Dmitrii

Institute of North Industrial Ecology Problems,
Kola Science Centre, Russian Academy of Sciences
14a Academgorodok, 184209 Apatity, Murmansk Region
e-mail: proffessuir@gmail.com

Val'kova, Svetlana

Institute of North Industrial Ecology Problems,
Kola Science Centre, Russian Academy of Sciences
14a Academgorodok, 184209 Apatity, Murmansk Region
e-mail: valkova@inep.ksc.ru

Terent'ev, Petr

Institute of North Industrial Ecology Problems,
Kola Science Centre, Russian Academy of Sciences
14a Academgorodok, 184209 Apatity, Murmansk Region
e-mail: p_terentjev@inep.ksc.ru

Черепанов Александр Александрович

ведущий инженер лаб. «Водные экосистемы»
Институт проблем промышленной экологии Севера –
обособленное подразделение ФГБУН
ФИЦ «Кольский научный центр РАН»
Академгородок 14а, Апатиты, Мурманская область,
Россия, 184209
эл. почта: cherepanov@inep.ksc.ru

Разумовская Анна Владимировна

научный сотрудник лаб. «Водные экосистемы»
Институт проблем промышленной экологии Севера –
обособленное подразделение ФГБУН
ФИЦ «Кольский научный центр РАН»
Академгородок 14а, Апатиты, Мурманская область,
Россия, 184209
эл. почта: anna-lynx@mail.ru

Cherepanov, Aleksandr

Institute of North Industrial Ecology Problems,
Kola Science Centre, Russian Academy of Sciences
14a Academgorodok, 184209 Apatity, Murmansk Region
e-mail: cherepanov@inep.ksc.ru

Razumovskaya, Anna

Institute of North Industrial Ecology Problems,
Kola Science Centre, Russian Academy of Sciences
14a Academgorodok, 184209 Apatity, Murmansk Region
e-mail: anna-lynx@mail.ru

ПАЛЕОЛИМНОЛОГИЯ

УДК 551.312:556.55

РАЗВИТИЕ ЭКОСИСТЕМЫ ОЗЕРА ТРИДЦАТКА (МУРМАНСКАЯ ОБЛАСТЬ) В ГОЛОЦЕНЕ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ДИАТОМОВОГО АНАЛИЗА ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ

А. Л. Косова¹, Д. Б. Денисов¹, С. Б. Николаева²

¹ *Институт проблем промышленной экологии Севера Кольского научного центра РАН, Апатиты Мурманской обл., Россия*

² *Геологический институт Кольского научного центра РАН, Апатиты Мурманской обл., Россия*

Приводятся новые данные микропалеонтологического (диатомового) и литолого-стратиграфического изучения донных отложений озера Тридцатка, расположенного на Карельском берегу Кандалакшского залива (Мурманская область). По результатам диатомового анализа с учетом литологических и хронометрических данных установлены этапы формирования донных отложений, изучен таксономический состав и структура диатомовых комплексов, реконструирована историческая динамика развития экосистемы водоема в голоцене. Установлено, что на начальном этапе осадконакопление происходило в условиях приледникового пресноводного водоема, которые затем сменились морскими. Время полной изоляции бассейна от моря произошло 7060 ± 160 л. н. (кал.). Полученные данные свидетельствуют о быстром выведении бассейна из условий морской седиментации. Это четко отражается как в литологии осадков, так и в смене диатомовых комплексов. В настоящее время озеро представляет собой типичный субарктический олигогалобный водоем.

Ключевые слова: донные отложения; палеолимнология; диатомовые водоросли; литология; голоцен; Мурманская область.

A. L. Kosova, D. B. Denisov, S. B. Nikolaeva. THE HISTORY OF LAKE TRIDTSATKA (MURMANSK REGION) ECOSYSTEM DEVELOPMENT IN THE HOLOCENE BASED ON DIATOM SEDIMENT RECORDS

New data yielded by diatom and lithologic-stratigraphic study of sediments from Lake Tridtsatka, located on the Karelian Coast of the Gulf of Kandalaksha (Murmansk Region), are presented. Based on the results of diatom analysis, lithological and chronometric data, the stages of sedimentation were reconstructed, and the taxonomic composition and structure of diatom complexes were studied. Diatom-inferred ecosystem history in the Holocene was revealed. The initial stage of the sedimentation process occurred within a periglacial freshwater body, with the following change to marine conditions.

The lake became fully isolated from the sea at 7060 ± 160 years ago (cal.). The data obtained indicate a rapid isolation of the lake basin from the marine conditions of sedimentation. This is clearly reflected both in the sediment lithology, and in the change of diatom assemblages. Currently, the lake is a typical subarctic oligohalobic freshwater body.

Keywords: bottom sediments; paleolimnology; diatoms; lithology; Holocene; Murmansk Region.

Введение

Изучение состава и строения донных отложений (ДО) малых озер Кольского полуострова и Карелии, в том числе и на побережьях Кандакшского залива Белого моря, проводится на протяжении многих лет [Лаврова, 1960; Каган, 1975; Евзеров и др., 2007; Колька и др., 2012, 2013; Субетто и др., 2017]. Результаты палеолимнологических исследований способствуют получению данных для неотектонических и палеогеографических реконструкций и вносят свой вклад в понимание истории развития всего региона, служат основой для построения схем поднятия земной коры в позднеледниковье и голоцене и реконструкций перемещений береговой линии моря. Основные этапы развития водоемов на побережьях Белого моря в позднем плейстоцене и голоцене были отмечены в работах [Романенко, Шилова, 2012; Колька и др., 2015; Шелехова, Лаврова, 2017]. Одно из направлений исследований – изучение стратиграфии ДО озер, в разное время изолировавшихся от моря [Евзеров и др., 2007; Колька и др., 2012]. В этой связи особую актуальность приобретает реконструкция исторической динамики водных экосистем, последовательная смена гидролого-геохимических, батиметрических и температурных условий.

Целью исследования, представленного в настоящей работе, было выявление этапов формирования осадочной последовательности, образующейся в изолированных бассейнах карельского побережья Белого моря на примере малого водоема – озера Тридцатка, расположенного в районе пос. Зеленоборский (рис. 1), и установление палеогеографических и неотектонических особенностей в развитии разных частей беломорского побережья в голоцене. В основе исследований лежит комплексное изучение донных осадков, включающее диатомовый анализ, литологические и хронометрические (радиоуглеродный анализ) данные.

Материалы и методы

Материалом для анализа послужили ДО озера Тридцатка ($66^{\circ}47'129''N$, $32^{\circ}23'043''E$)

с абсолютной отметкой уреза воды 49,6 м, расположенного в 11 км западнее Карельского берега Белого моря (рис. 1). Исходный материал – керн, полученный в летний период в результате бурения донных отложений с катмарана с помощью поршневого бура. Длина трубки 1 м, диаметр 5 см. С глубины 6,5 м были отобраны осадки мощностью 1 м. Керны отобраны с перекрытием в несколько сантиметров. Непосредственно в поле выполнялось литологическое описание. Образцы для диатомового анализа отбирались в зонах керна, отличающихся типом седиментов (рис. 2, 3), процедура отбора и количество проб соответствовали стандартной общепринятой методике [Диатомовый..., 1949]. Наиболее подробно изучены осадки с глубины 712–703 см. Нижняя часть разреза с глубины 750–712 см изучена с интервалом 10 см, верхняя часть с глубины 703–657 см изучена с интервалом 10–20 см. Лабораторная обработка проб с целью извлечения створок диатомей из ДО проведена по схеме, используемой в Институте проблем промышленной экологии Севера Кольского научного центра Российской академии наук (ИППЭС КНЦ РАН) [Косова и др., 2011]. Обработка проб включает комплекс последовательных этапов, целью которых является выделение створок диатомей из вмещающего материала (ДО) в максимально чистом виде для последующего заключения в постоянные препараты. Было проведено высушивание и прокалывание материала в муфельной печи при температуре $550^{\circ}C$, с последующим выдерживанием в крепких окислителях ($H_2O_2 + HNO_3$) в тефлоновых «бомбах» при температуре $140^{\circ}C$, что позволяет получить диатомовый материал высокой чистоты, с минимальным содержанием минеральных примесей и полным отсутствием органики.

Приготовление постоянных препаратов для световой микроскопии производилось по общепринятой методике [Диатомовый..., 1949; Давыдова, 1985]. В качестве оптической среды была использована анилин-формальдегидная смола А. А. Эльяшева ($n = 1,67–1,68$). Все обнаруженные в препаратах створки диатомовых водорослей определялись по возможности до внутривидовых таксономических

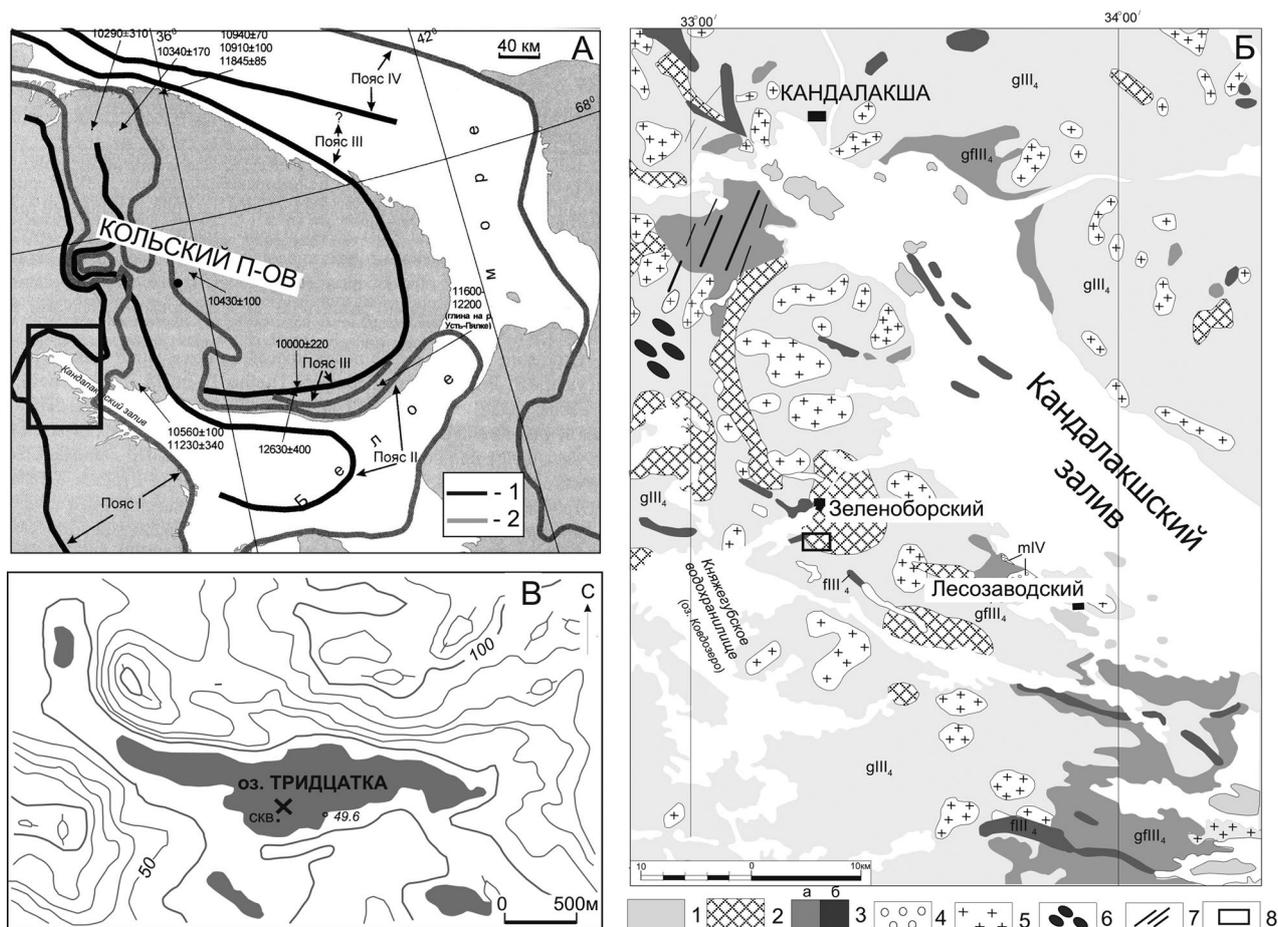


Рис. 1. Схема расположения района исследований в системе поясов поздневалдайского ледника в Беломорской котловине по: [Система..., 2010] (А), карта распространения четвертичных отложений по: [Niemelä, 1993] (Б) и местоположение озера Тридцатка (В).

А: Положение края активного льда (установленное и предполагаемое) во время: 1 – межстадиальных потеплений, 2 – стадияльных похолоданий;

Б: 1 – гравийно-песчаные морены; 2 – холмистые морены, 3 – песчано-гравийные отложения вне озера (а), озера, флювиогляциальные дельты (б), 4 – морские отложения, 5 – выходы дочетвертичных пород, 6 – друмлины, 7 – конечные морены, 8 – участок работ, показанный на рис. В;

В: 1 – горизонтали рельефа (проведены через 10 м), 2 – местоположение изученной озерной котловины

Fig. 1. The scheme of the research area location in the system of belts of the Late Valdai glacier in the White Sea basin according to [Systema..., 2010] (A), the map of the Quaternary deposits distribution according to [Niemelä, 1993] (Б) and (В) the Lake Tridtsatka location.

А: Position of the active ice edge (defined and presumed) in the periods of: 1 – interstadial warming, 2 – stadial cooling;

Б: 1 – gravel-sand moraines, 2 – hilly moraines, 3 – sand-gravel sediments outside the esker (a), eskers, fluvio-glacial deltas (b), 4 – marine sediments, 5 – outputs of the pre-Quaternary rocks, 6-drumlins, 7 – terminal moraines, 8 – the research area shown in fig. В;

В: 1 – relief lines (10 m), 2 – the studied lake location

категорий. Экологическая характеристика видов диатомей приведена согласно источникам [Диатомовый..., 1949, 1950; Диатомовые..., 1974; Krammer, Lange-Bertalot, 1988–1991; An Atlas..., 1996; Krammer, 2000, 2002, 2003; Баринава и др., 2006; Каган, 2012; Демидова, 2013]. Номенклатуру приводили согласно международной альгологической базе данных [http://www.algaebase.org]. Подсчет и таксономическая идентификация диатомей осуществлялись с использованием световых микро-

скопов «Wild Leitz GmbH» (Type 020–507.010) и «Olympus CX 41» при увеличении в 1000 раз, с применением иммерсионного объектива. Радиоуглеродное датирование образца гиттии выполнено в лаборатории палеогеографии и геохронологии четвертичного периода факультета географии и геоэкологии СПбГУ в Санкт-Петербурге. Значения календарного возраста приведены на основании калибровочной программы «CalPal2007_HULU» Кельнского университета 2007 года [http://www.calpal.de].

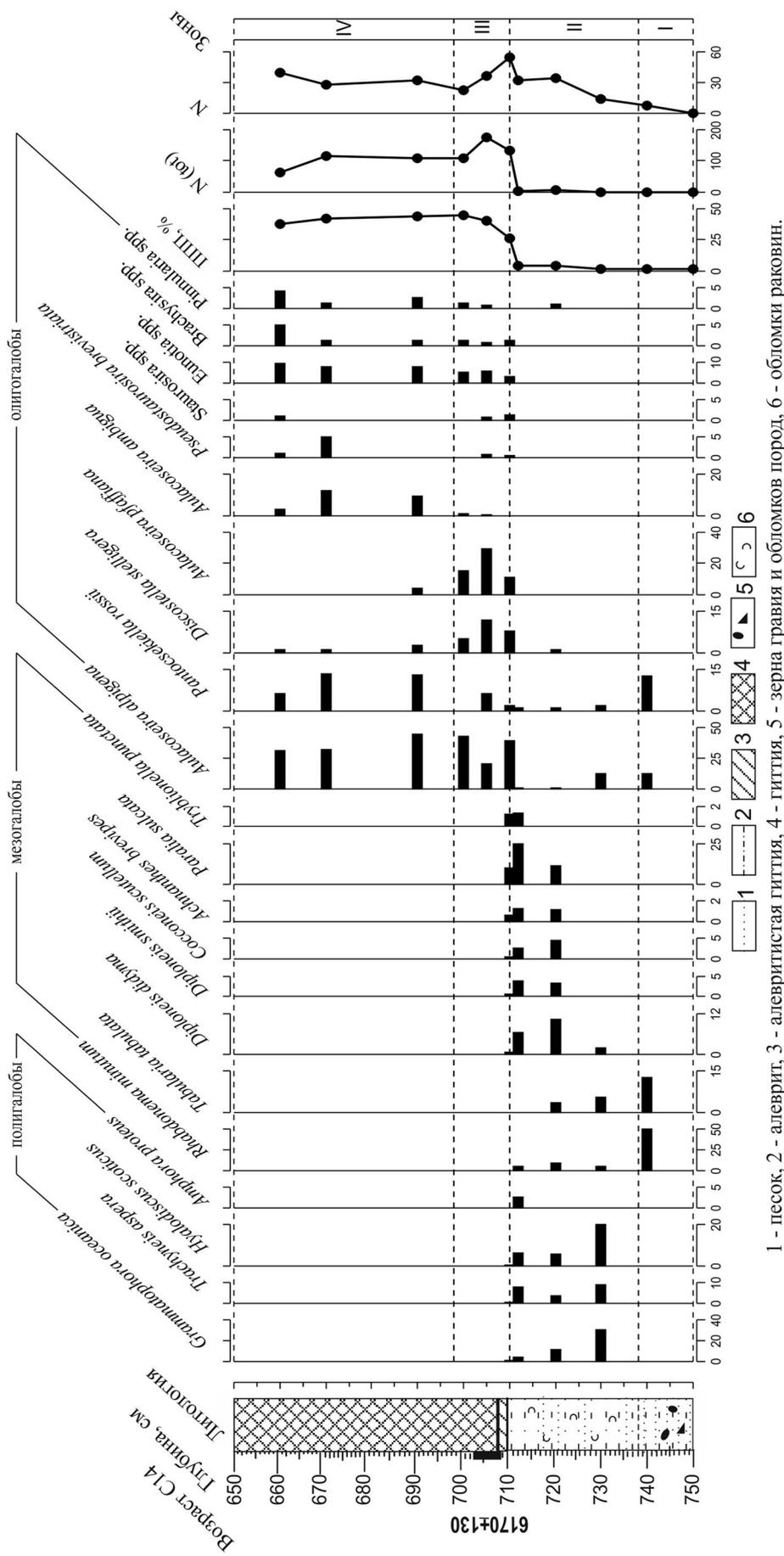


Рис. 2. Литологический разрез и диаграмма массовых и индикаторных видов (ППП – потери при прокаливании, %; N (tot) – численность створок диатомей, млн экз./г сух. в-ва; N – количество видов)
 Fig. 2. Lithologic and diatom diagram of mass and indicator species (%) of bottom sediments in Lake Tritsatka (PT – loss on ignition, %; N (tot) – the diatom abundance, million ind./g of dry substance; N – number of species)

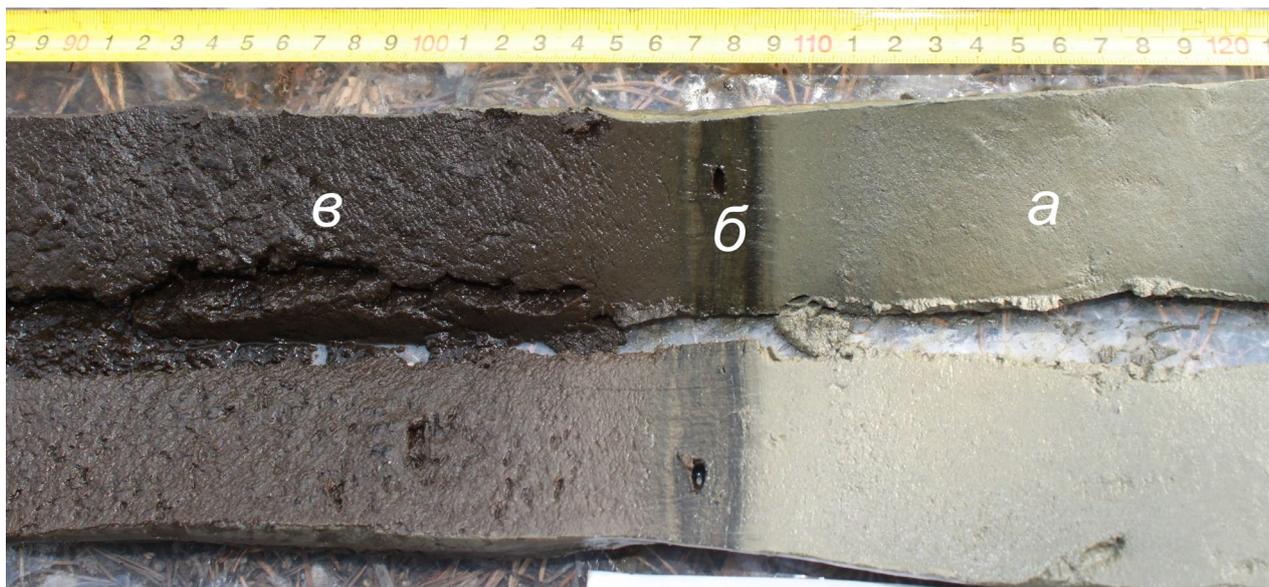


Рис. 3. Керн, разрезанный на две половины и иллюстрирующий резкий переход от морских алевритов и песков (а) к гиттии пресноводного озера (в) с маломощной переходной зоной (б)

Fig. 3. Sediment's core, cut into 2 halves and illustrating the abrupt transition from marine siltsand sands (а) to gyttja of a freshwater lake (в) with a thin transitional zone (б)

Краткая характеристика района исследований

Озеро Тридцатка расположено на карельском побережье Кандалакшского залива, ближе к его кутовой части. В геолого-структурном отношении эта территория находится в Беломорском подвижном поясе Фенноскандинавского щита и принадлежит позднеархейскому (Беломорскому) аллохтону, сложенному архейскими метавулканогенными осадочными образованиями. Породы представлены различными гнейсами беломорского комплекса и комплекса основания, а также интрузивными образованиями [Геологическая..., 2001].

Рыхлые отложения распределены по территории неравномерно и заполняют понижения и впадины. В строении осадков принимают участие в основном морены и флювиогляциальные отложения (рис. 1, Б). Озовые гряды и друмлины вытянуты с северо-запада на юго-восток, определяя направление движения основных лопастей ледникового покрова [Niemiälä, 1993]. Вблизи побережья залива развиты морские галечники, по речкам, впадающим в залив, – аллювиальные отложения.

Основные этапы деградации последнего ледникового покрова и формирование Белого моря в позднеледниковье и голоцене имеют свои особенности и обобщены в [Система..., 2010]. После распада Беломорской ледниковой лопасти глобальное похолодание в позднем плейстоцене вызвало вынужденные подвижки ледниково-

го края, известные как стадии сальпаусселькя I, II, III в Финляндии. На протяжении этого периода выделяются три похолодания климата, приведшие к наступлениям ледникового края и образованию этих стадий. Озеро Тридцатка находится между внутренним и внешним поясами краевых маргинальных образований пояса I, возраст которого оценивается в 11,2–10,5¹⁴C тыс. лет (рис. 1, А) [Евзеров, Николаева, 2000].

Озерная котловина расположена в эрозионно-тектонической депрессии коренного фундамента, в основании крутого субширотного уступа. Озеро вытянуто с запада на восток на 1,3 км при ширине от 50 до 200 м. Глубина озера в месте бурения скважины составляет 6,5 м. Сток озера осуществляется через ручей, а порог стока представлен коренными породами.

Результаты и обсуждение

Литологическое строение разреза донных отложений

Котловина озера выполнена следующими разновидностями донных осадков (номера слоев и их описание указаны сверху вниз от поверхности осадка) (рис. 2, 3).

Слой 1. 650–708 см – гиттия темно-коричневая, слабой консистенции, с шарообразными буровато-коричневыми включениями органического материала размером 0,1–0,15 см. Переход к подстилающему слою резкий, отчетливый.

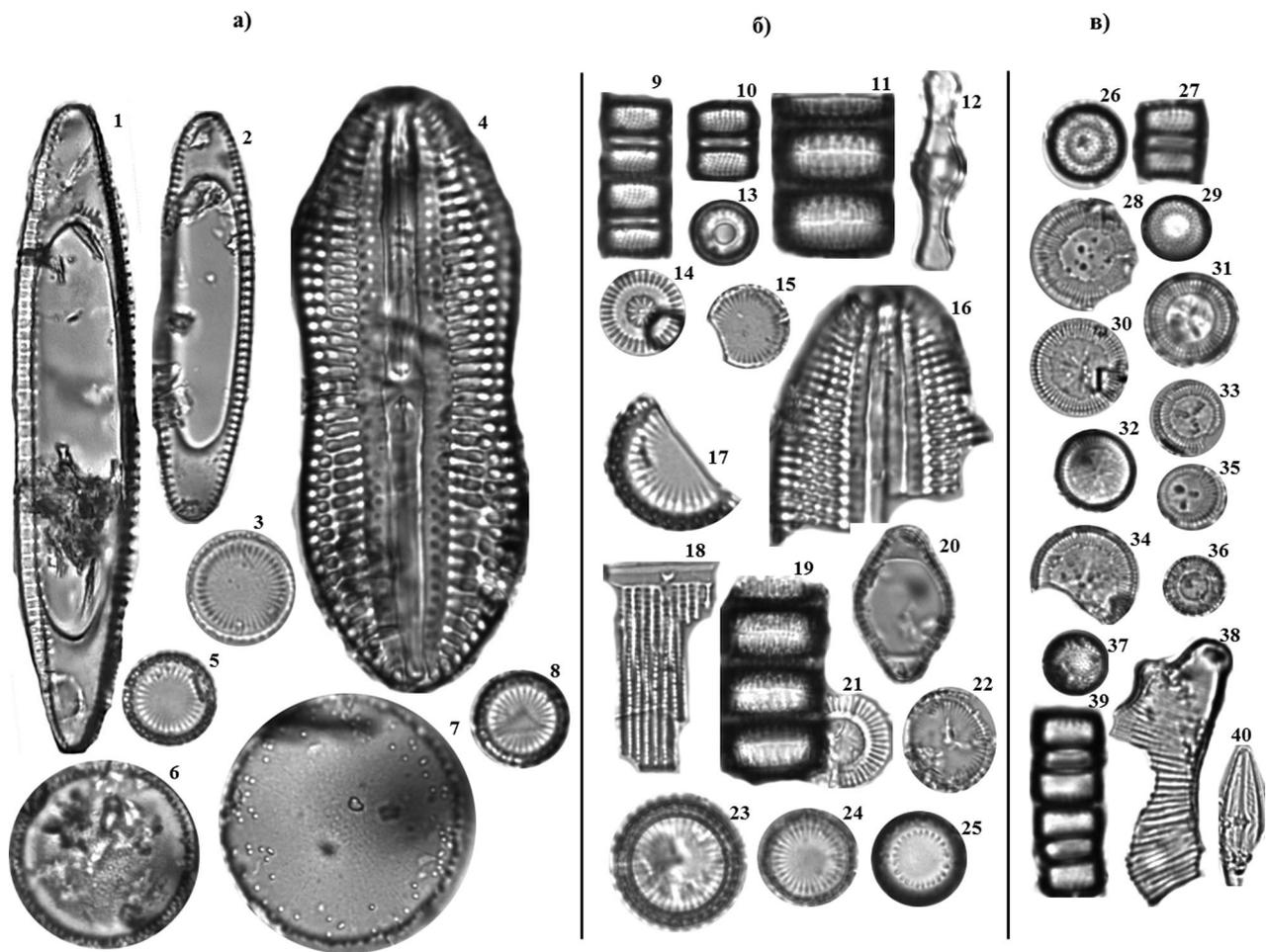


Рис. 4. Некоторые типичные представители диатомовых комплексов различных стадий развития озера Тридцатка: а) – морская, б) – переходная, в) – пресноводная:

1, 2 – *Rhabdonema arcuatum* (Lyngbye) Kützing; 3, 5, 8, 11, 15, 17, 19, 22–25 – *Paralia sulcata*; 4 – *Diploneis didyma* (Ehrb.) Cl.; 6 – *Hyalodiscus* sp.; 7 – *Porosira glacialis* (Grun.) Jørg.; 9, 10, 13, 26, 27, 29, 36, 37, 39 – *Aulacoseira alpigena*; 12 – *Tabellaria flocculosa* (Roth) Kütz.; 14 – *Discostella stelligera*; 16 – *Diploneis* sp.; 18 – фрагмент створки; 20 – *Rhabdonema minutum*; 21 – *Cyclotella* sp.; 28, 30–34 – *Pantocsekiella rossii*; 35 – *Cyclotella ocellata* Pantocsek; 38 – *Eunotia serra* var. *diadema* (Ehrenberg) R. M. Patrick; 40 – *Brachysira brebissonii* R. Ross (линейка – 10 мкм)

Fig. 4. Some typical diatom species from different ecosystem stages of Lake Tridtsatka: а) – sea, б) – transitional, в) – freshwater:

1, 2 – *Rhabdonema arcuatum* (Lyngbye) Kützing; 3, 5, 8, 11, 15, 17, 19, 22–25 – *Paralia sulcata*; 4 – *Diploneis didyma* (Ehrb.) Cl.; 6 – *Hyalodiscus* sp.; 7 – *Porosira glacialis* (Grun.) Jørg.; 9, 10, 13, 26, 27, 29, 36, 37, 39 – *Aulacoseira aalpigena*; 12 – *Tabellaria flocculosa* (Roth) Kütz.; 14 – *Discostella stelligera*; 16 – *Diploneis* sp.; 18 – diatom valve fragment; 20 – *Rhabdonema minutum*; 21 – *Cyclotella* sp.; 28, 30–34 – *Pantocsekiella rossii*; 35 – *Cyclotella ocellata* Pantocsek; 38 – *Eunotia serra* var. *diadema* (Ehrenberg) R. M. Patrick; 40 – *Brachysira brebissonii* R. Ross (scale – 10 microns)

Слой 2. 708–710 см – гиттия алевритистая, тонкослоистая (толщина слоев 3–9 мм) с чередованием слоев темного и светлого цвета. Переход к подстилающему слою резкий.

Слой 3. 710–738 см – алеврит с песком серый, светло-серый, обогащенный ракушняковым детритом, представленным тонкими пластинками белого цвета.

Слой 4. 738–750 см – алеврит с прослоями и линзами тонкозернистого песка, с зернами гравия и обломками пород (до 3,5 см в поперечном сечении).

Диатомовый анализ

Всего в изученных отложениях было обнаружено 123 вида из 37 родов (рис. 4). Значимые изменения видового состава и структуры диатомовых комплексов по разрезу позволили выделить четыре диатомовые зоны (ДЗ), которые подтверждаются результатами кластерного анализа, выполненного на основе соотношения относительной численности диатомей (рис. 2).

ДЗ1 (интервал 750–738 см). В образце из данного интервала на глубине 750–748 см

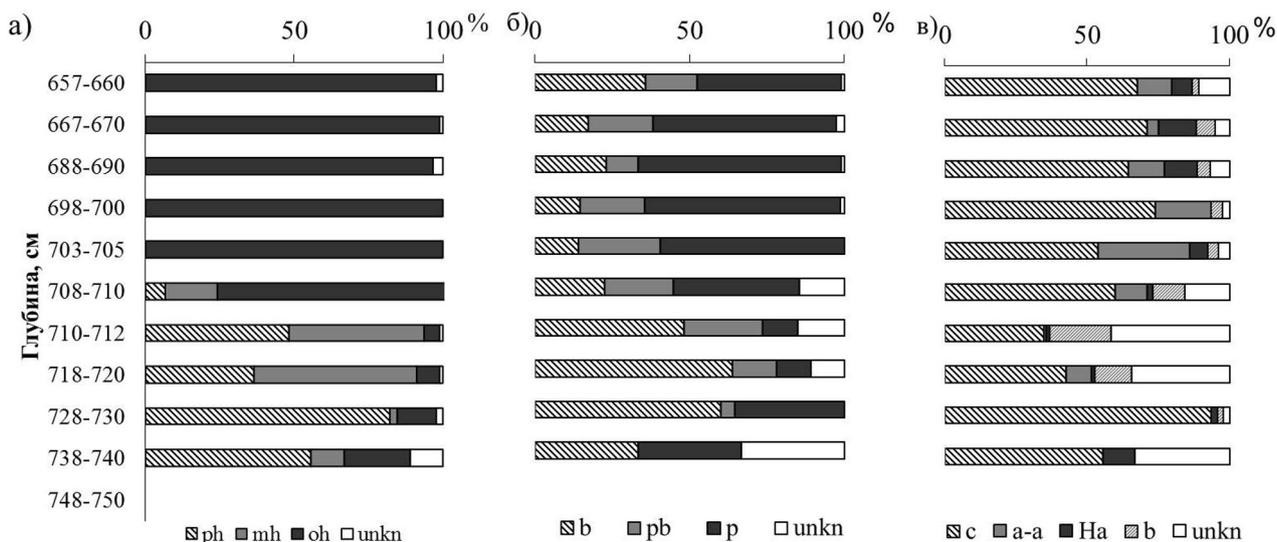


Рис. 5. Экологическая характеристика диатомовых комплексов в донных отложениях озера: а – соотношение видов по отношению к солености (ph – полигалобы, mh – мезогалобы, oh – олигогалобы, unkn – неизвестно); б – по отношению к местообитанию (b – бентосные, pb – планктонно-бентосные, p – планктонные, unkn – неизвестно); в – географическая приуроченность (c – космополиты, a-a – арктоальпийские, Ha – голарктические, b – бореальные, unkn – неизвестно)

Fig. 5. Ecological characteristics of diatom complexes in the lake sediments: a – the proportion of species in relation to salinity (ph – polyhalobous, mh – mesohaline, oh – oligohaline, unkn – unknown); б – in relation to the locality (b – benthic, pb – planktonic-benthic, p – planktonic, unkn – unknown); в – geographical coincidence (c – cosmopolitan, a-a – arctoalpine, Ha – Holarctic, b – boreal, unkn – unknown)

удалось обнаружить только спикулы губок. На глубине 740–738 см содержание диатомей предельно мало; единично были отмечены отдельные обломки створок морских и пресноводных видов, а также спикулы губок. В целом эти образцы можно считать немymi. Выше по разрезу численность диатомей незначительно возросла, выявлено присутствие морского сублиторального вида *Rhabdonema minutum* Kütz., а также пресноводного *Aulacoseira alpigena* (Grun.) Kramm. Вероятно, этот период соответствует формированию отложений в условиях приледникового водоема, где сказывалось влияние морских вод, о чем свидетельствует плохая сохранность створок диатомей и присутствие в осадках морских видов наряду с пресноводными.

ДЗII (интервал 738–710 см) соответствует преимущественно морскому седиментогенезу. В составе диатомовых комплексов по численности преобладают северобореальные сублиторальные виды: *Paralia sulcata* (Ehrb.) Cleve, *Hyalodiscus scoticus* (Kütz.) Grun, *Rhabdonema minutum*, *Cocconeis scutellum* var. *scutellum* (Ehrb.), виды рода *Diploneis* (особенно характерные для песчаных отложений), *Achnanthes brevipes* var. *brevipes* Agardh и другие широко распространенные в опресненной литорали современных морей виды. В группе олигогалобов представлены *Aulacoseira alpigena*, *Dis-*

costella stelligera (Cleve & Grunow) Houk & Klee, *Pantocsekiella rossii* (H. Håkansson) K. T. Kiss & E. Ács. Единичное присутствие в отложениях этой зоны створок пресноводных диатомей указывает на некоторую гидрологическую связь исследуемого водного объекта с пресными водоемами. В данной зоне сумма солоноватоводных и морских видов составляет более 90%, из них полигалобы – 36–82,2%; мезогалобы – 2,2–55%; олигогалобы – 5–22% (рис. 5, а). Доля морских видов максимальна в интервале ДО 730–728 см (82,2%), выше по разрезу наблюдается сокращение и возрастание солоноватоводных видов, доля которых в интервале 720–718 см соответствует 54,9%. Концентрация створок диатомей увеличивается вверх по разрезу от 13,6 тыс. ств./г до 6,6 млн ств./г (рис. 2). Видовое богатство невелико и увеличивается от нижних слоев к верхним от 8 до 34 видов в образце. Основу диатомовых ассоциаций составляют бентосные виды (33,4–64,0%) и космополиты (43–93%). Увеличение доли бореальных и планктонно-бентосных форм (рис. 4, в) отмечается в интервале ДО 720–718 см за счет значимого роста обилия *Paralia sulcata* (25%). Этот вид является сублиторальным, тихопелагическим, населяет шельфовую зону морей, толерантен к абиотическим факторам среды и служит маркером смены условий в экосистеме. Рост численности *P. sulcata* ука-

зывает на процессы распреснения морских вод [Обрезкова и др., 2014].

ДЗIII (интервал 710–698 см). Интервал донных отложений (ДО) 710–708 см представлен осадками переходной зоны от морских к озерным условиям седиментации. На этом этапе развития водоема происходит резкая смена видового состава и структуры диатомовых комплексов. Исчезают типичные морские планктонные диатомеи – *Hyalodiscus scoticus*, резко уменьшается доля мезогалобных видов (*Paralia sulcata*, *Rhabdonema minutum*) наряду с увеличением численности пресноводных до 80 % (*Aulacoseira alpigena*; *A. pfaffiana* (Reinsch) Kramm; *Discostella stelligera*; *Pantocsekiella rossii*). Значительно увеличивается доля планктонных форм (41 %), что свидетельствует об увеличении водности водоема (рис. 5, б). Основную часть диатомовых ассоциаций составляют виды-космополиты – 65 %, доля бореальных видов уменьшается по сравнению с предыдущим интервалом ДО до 12,3 %, содержание арктоальпийских видов – 2,2 %. Для этой зоны характерны резкое увеличение концентрации диатомей в отложениях до 131,8 млн ств./г, видовое богатство диатомей максимальное для разреза, но в целом невысокое, 55 видов в образце (рис. 2). Отмечено появление цист хризофитовых водорослей, которые являются в основном пресноводными организмами. В ДО с глубины 705–703 см концентрация диатомей выше, чем в предыдущем интервале ДО, – 174,6 млн ств./г, но меньше их видовое богатство, 36 видов в образце. Полностью исчезли из состава диатомовых комплексов морские и мезогалобные формы, началось формирование пресноводных отложений (рис. 5, а). Основу диатомовых ассоциаций составляют планктонные виды (59 %). Доля бентосных форм минимальная для разреза (14 %). В этом интервале ДО отмечается максимальное для разреза содержание галобионтов (42 %). Выше по разрезу (глубина 700–698 см) продолжает увеличиваться доля планктонных диатомей (63,2 %), что указывает на увеличение объема воды и глубины озера в этот период по сравнению с предыдущими этапами. По отношению к солености доминирует группа индифферентов (65,8 %). Отмечено уменьшение доли галобионтов до 21 % и увеличение доли галофилов до 11,8 %. Концентрация диатомей и видовое обилие снижаются по сравнению с нижележащим интервалом ДО и соответствуют 109,1 млн ств./г и 23 видам в образце. Из осадочного разреза с глубины 708–700 см получена радиоуглеродная датировка, показавшая возраст 7060 ± 160 калиброванных лет назад (л. н. (кал.)) или 6140 ± 130 ¹⁴C (ЛУ-7574) (рис. 2).

ДЗIV (интервал 690–657 см). Продолжается развитие пресноводного водоема. Диатомовые комплексы этой зоны составлены преимущественно типичными пресноводными планктонными центрическими таксонами родов *Aulacoseira* и *Cyclotella*, которые характерны для субарктических озер с низким уровнем минерализации. Вверх по разрезу отмечается уменьшение доли планктонных диатомей до 46,4 %, увеличение бентосных форм до 35,7 %, среди которых преобладают *Frustulia rhomboides* (Ehrenberg) De Toni, представители родов *Eunotia* и *Brachysira*. По отношению к pH среды преобладают индифференты (46–53 %), доля алкалофилов изменяется в диапазоне от 19 до 34 %. В интервале ДО 660–657 см возрастает доля ацидофилов (до 26,2 %). Это свидетельствует об уменьшении глубины водоема, зарастании его берегов и некотором заболачивании. По отношению к географической приуроченности преобладают космополиты (71 %) (рис. 5, в). В данной диатомовой зоне отмечается снижение концентрации створок до 62,4 млн ств./г. Видовое богатство низкое, 40 видов в образце (рис. 2).

Реконструкция этапов развития озера Тридцатка

Неоднократные изменения условий осадко-накопления отразились в литологии и диатомовых комплексах донных отложений оз. Тридцатка.

В результате предыдущих исследований было установлено, что стратифицированная толща донных осадков в озерах [Колька и др., 2005; Евзеров и др., 2007] представлена пятью основными типами осадков (фациями): приледникового пресноводного озера (ФI), бассейна, осолоняющегося за счет притока в пресное приледниковое озеро морской воды (ФII), морского водоема (ФIII), переходной зоны от морских к пресноводным (ФIV), пресноводного озера (ФV). Образование всех этих фаций обусловлено восходящими движениями земной коры, регрессией береговой линии моря и общей палеогеографической ситуацией в позднем плейстоцене и голоцене Беломорья. Литостратиграфический анализ донных отложений озера Тридцатка показал, что в разрезе отсутствует фация I и фациальная последовательность имеет вид II–III–IV–V.

В строении осадков обращают на себя внимание резкие границы между фациями III–IV и IV–V, что соответствует быстрой смене обстановок седиментации.

По данным диатомового анализа с учетом литологических и хронометрических (радиоуг-

леродного датирования) данных установлены основные этапы формирования ДО и условия осадконакопления в котловине озера Тридцатка.

На начальном этапе в этом районе существовал приледниковый водоем, в котором происходило накопление алевритов и песков. Диатомовый комплекс отличается содержанием единичных обломков морских видов *Trachyneis*, солоноватоводных *Rhabdonema minutum*, *Diploneis*, а также пресноводных *Aulacoseira alpigena*, *Pantocsekiella rossii*. Такой состав и малочисленность створок отражают слабо осолоненные условия седиментации осадков за счет притока в пресное приледниковое озеро морской воды. На втором этапе развития осадконакопления происходило в условиях мелководного морского залива, отложения в котором, вероятно, формировались в условиях активной гидродинамики, на что указывает наличие в ДО створок пелагического вида *Hyalodiscus scoticus* и мелких фрагментов раковин. Следующий этап характеризуется быстрой сменой морских условий на пресноводные. Об этом свидетельствует и малая мощность переходной зоны (рис. 3), и смена диатомовой флоры (рис. 2). В ДО переходной зоны наблюдается значительное изменение видового состава диатомовых комплексов и резкое снижение содержания поли- и мезогалобов. В составе диатомовых комплексов преобладают планктонные олигогалобы родов *Aulacoseira* и *Cyclotella*, а представители рода *Fragilaria*, увеличение численности которых отмечается в ходе изоляции от морских бассейнов [Субетто и др., 2012; Корсакова и др., 2016; Шилова, Репкина, 2017], представлены единично. Виды рода *Cyclotella* характерны для крупных олиготрофных озер высоких широт и развиваются при устойчивой стратификации вод.

Следует отметить, такой состав диатомовой флоры в изученной озерной котловине свидетельствует об улучшении климатических условий в этот период [Ruhland et al., 2015]. Сдвиг состава диатомовых ассоциаций в сторону увеличения содержания *Cyclotella* spp. также отмечается в ответ на современное повышение температур в высоких широтах и увеличение продолжительности безледного периода [Smol et al., 2005]. Концентрации и таксономическое разнообразие возрастают в связи с установлением более спокойных и благоприятных для развития диатомей условий. Лежащая выше толща осадков представлена темно-коричневой гиттией, в которой доминирующая роль полностью принадлежит диатомеям-олигогалобам (*A. alpigena*, *P. rossii*, *A. pfaffiana*). По ре-

зультатам радиоуглеродного датирования время полной изоляции бассейна от моря произошло 7060 ± 160 л. н. (кал.).

При изучении осадочной последовательности было установлено, что формирование переходной зоны (ФIV) происходило в глубоководных условиях, нехарактерных для других изолированных озер беломорского побережья [Колька и др., 2012; Корсакова и др., 2016]. Объяснением резкого изменения водности и быстрой смены седиментационной обстановки может быть быстрое поднятие континента и/или блоковые перемещения. О предполагаемом участии тектонической компоненты свидетельствуют и явные следы подновления уступа, в основании которого расположена озерная котловина, а также неотектоника всего Беломорья, где в последние годы обнаружены многочисленные проявления послеледниковой тектонической активности [Тарасов, Шлыкова, 2006; Рыбалко и др., 2011; Евзеров и др., 2016; Шварев, Никонов, 2017 и др.].

Подобный характер изменения диатомовой флоры был отмечен еще в одном водоеме Кольского региона, расположенном на западном побережье озера Бабинская Имандра [Николаева и др., 2015, 2016]. Резкую смену диатомовой флоры в ответ на увеличение водности в этом водоеме авторы связывают с катастрофическим событием, которое произошло приблизительно в то же время, что и в озере Тридцатка.

Полученные результаты были сопоставлены с данными исследований ДО озер, проводимых на карельском побережье Кандалакшского залива ранее [Колька и др., 2005, 2012; Корсакова и др., 2016]. Сопоставление этих данных на разных участках побережья позволило более полно реконструировать палеогеографические условия в период голоцена, а также уточнить характер миграции береговой линии на южном побережье Кандалакшского залива. Во всех разрезах отмечается несколько этапов формирования осадков, отражающих трансгрессивно-регрессивные циклы этого региона. При общих региональных построениях палеогеографические обстановки каждого конкретного участка обладают своими специфическими особенностями.

Для проведения более детального сопоставления был выбран один из близко расположенных к изучаемому объекту участков в районе поселка Лесозаводский (рис. 1). Предыдущими исследованиями в пределах этого участка было пробурено и изучено (в основном литологически, без данных спорово-пыльцевых анализов и приведения результатов диатомового анали-

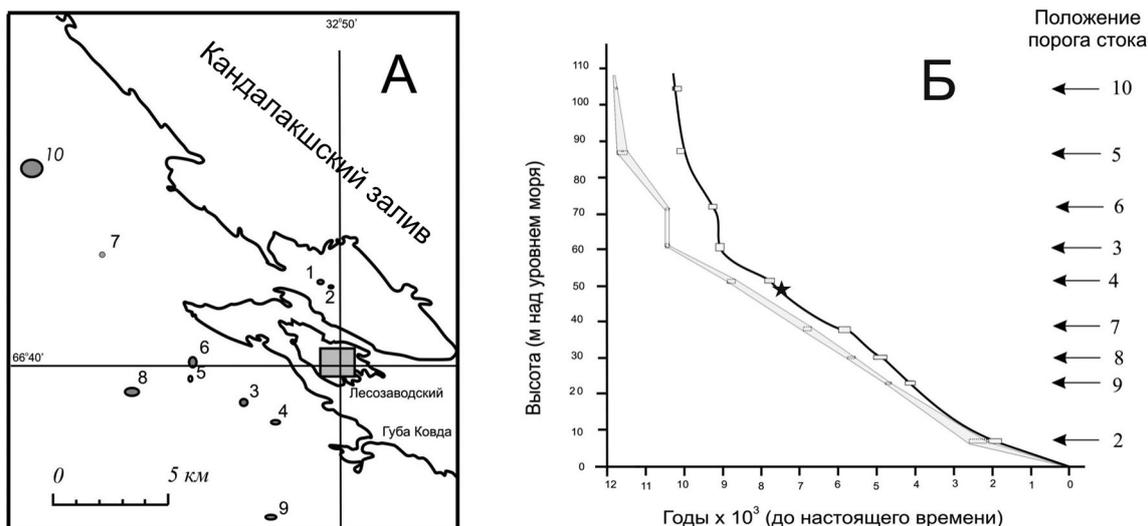


Рис. 6. Расположение изученных озерных котловин (А) и график относительного перемещения береговой линии моря на южном берегу Кандалакшского залива (район пос. Лесозаводский). Сплошная линия – для радиоуглеродного возраста, контур – для калиброванного возраста по: [Колька и др., 2005]. Звездочкой на графике показано расположение озера Тридцатка

Fig. 6. The location of the studied lakes (A) and the graph of the relative coastline movement on the southern coast of the Gulf of Kandalaksha (Lesozavodsky settlement area). Continuous line shows radiocarbon age, contour line – calibrated calendar age according to [Kolka et al., 2005]. The location of Lake Tridtsatka is shown by the asterisk

за) десять озер, расположенных на высотах от 3 до 104 м над уровнем моря (рис. 6, А) [Колька и др., 2005]. Эти озера находятся в депрессиях коренного фундамента, эродированных ледником, но значительно ближе к береговой линии Кандалакшского залива, чем изученная озерная котловина. Пороги стока представлены коренными породами, покрытыми слоем торфа различной мощности.

При изучении ДО была установлена как полная последовательность фаций I–II–III–IV–V, так и редуцированная. Для ДО пяти озерных котловин характерна регрессивная последовательность фаций III–IV–V [Колька и др., 2005]. Примечательным фактом является то, что в осадках четырех озер, так же как и в ДО озера Тридцатка, наблюдались резкие границы между отдельными фациями. Эти границы явно свидетельствуют о стратиграфическом несогласии, предположительно возникшем или в результате волновой деятельности, или вследствие тектонических процессов.

В ряде озер (2–9 на рис. 6, А) проведено радиоуглеродное датирование перехода от морских осадков к современным озерным и построен график относительного перемещения береговой линии (рис. 6, Б).

Согласно графику резкий подъем территории со скоростью 4–5 см/год происходил в интервале 10 000–9 000 л. н. В последующем,

начиная от 9 000 л. н., темпы поднятия замедляются (~1 см/год). Между 8 000 и 6 000 л. н. имело место незначительное замедление подъема территории, о чем свидетельствует выполаживание графика. В этом же временном интервале происходит и изоляция от моря озерной котловины Тридцатки и озер, расположенных на аналогичных высотных отметках. После 3 000 л. н. скорость поднятия снижается до 0,5 см/год.

Для сопоставления было выбрано озеро 4, литологическое изучение которого свидетельствует о близких условиях формирования осадков (рис. 6, А). Изоляция озера 4 от моря произошла 8 822 л. н. (кал.) (рис. 6, Б). Порог стока из озера 4 находится на отметке около 51,3 м, а из озера Тридцатка – 49,6 м. Переходная зона от морских осадков к пресноводным в колонке озера Тридцатка устанавливается по данным диатомового анализа и четко выраженной переходной зоне (рис. 2). Время изоляции озера от моря по этой зоне – 7 060 л. н. (кал.). То есть в озерной депрессии Тридцатки смена морских условий седиментации на озерные произошла примерно на 1 762 года раньше, чем в озерной депрессии 4, расположенной ближе к береговой линии залива. Эта разница во времени при изоляции озер, расположенных на близких высотных отметках, но на разных блоках [Атлас..., 1971; Земная..., 1978], предположительно,

могла быть связана с вертикальными блоковыми движениями, аналогично данным, полученным из района Чупы в Карелии [Колька и др., 2017]. Однако для подтверждения этого необходимы специальные исследования.

Заключение

Проведенные исследования в совокупности с данными предыдущих работ показывают, что осадочные последовательности в котловинах малых изолированных бассейнов Беломорья формируются в несколько этапов и в целом отражают региональные трансгрессивно-регрессивные циклы. В соответствии с ними на примере изученной озерной депрессии установлено четыре основных этапа формирования песчано-алевритистых кластогенных и органогенных осадков, отличающихся условиями формирования качества вод и процессами седиментогенеза. Это этапы приледникового водоема, морского водоема, изоляции котловины от основного бассейна, пресноводного современного озера.

На начальном этапе осадконакопление происходило в условиях приледникового пресноводного водоема, с неблагоприятными для диатомовой флоры условиями. Далее в пределы озерной котловины стали проникать морские воды, и в ней сформировался морской бассейн, на что указывает доминирование морских и солоноватоводных диатомей в донных отложениях озера Тридцатки. В осадках фации переходной зоны от морских отложений к пресноводным преобладают планктонные олигогалобы, характеризуя резкую смену условий осадконакопления в котловине и отражая изменение климатических условий в сторону потепления. Время полной изоляции бассейна от моря произошло примерно к середине атлантического периода. В нем установились благоприятные условия для развития разнообразной в видовом отношении диатомовой флоры, что выражено в значительном увеличении численности типичных пресноводных диатомей.

Результаты исследований позволили также определить некоторую тектоническую компоненту в общей палеогеографической обстановке изучаемой территории не только на рубеже позднего плейстоцена и начала голоцена, но и в среднем голоцене, и выявить ряд особенностей в формировании водоема. Одна из таких особенностей – формирование переходной зоны FIV в глубоководных условиях, нехарактерных для других изолированных озер беломорского побережья [Колька и др., 2012; Корсакова и др., 2016].

Авторы выражают искреннюю благодарность Л. Я. Каган за полезные консультации по диатомовому анализу, Х. А. Арсланову за радиоуглеродную датировку, Д. С. Толстоброву за помощь при полевых работах.

Литература

Атлас Мурманской области / Главное упр-е геодезии и картографии при Совете Министров СССР. НИГЭИ ЛГУ им. А. А. Жданова. М., 1971. 33 с.

Барина С. С., Медведева Л. А., Анисимова О. В. Биоразнообразие водорослей-индикаторов окружающей среды. Тель-Авив: Piles Studio, 2006. 498 с.

Геологическая карта Кольского региона. Масштаб 1:1 000 000 / Под ред. Ф. П. Митрофанова. Апатиты: КНЦ РАН, 2001. 1 л.

Диатомовый анализ. Л.: Госгеолиздат, 1949. Кн. 1. 240 с.; кн. 2. 238 с.

Диатомовый анализ: Определитель ископаемых и современных диатомовых водорослей. Л.: Госгеолиздат, 1950. Кн. 3. 398 с.

Диатомовые водоросли СССР (ископаемые и современные). Т. 1. Л.: Наука, 1974. 404 с.

Давыдова Н. Н. Диатомовые водоросли – индикаторы природных условий водоемов в голоцене. Л.: Наука, 1985. 244 с.

Демидова С. В. Диатомовая флора муравинского межледниковья Беларуси. Минск: Экономпресс, 2013. 199 с.

Евзеров В. Я., Николаева С. Б. Пояса краевых ледниковых образований Кольского региона // Геоморфология. 2000. № 1. С. 61–73.

Евзеров В. Я., Колька В. В., Корсакова О. П. История развития морских бассейнов в Беломорской депрессии за последние 130 тысяч лет (состояние вопроса и перспективы исследований) // Бюл. Комиссии по изучению четвертич. периода. 2007. № 67. С. 54–66.

Евзеров В. Я., Виноградов А. Н., Николаева С. Б. Новейший этап развития Беломорской котловины // ДАН. 2016. Т. 471, № 4. С. 450–454.

Земная кора восточной части Балтийского щита / Ред. К. О. Кратц. Л.: Наука, 1978. 231 с.

Каган Л. Я. Комплексы диатомей морского плейстоцена Кольского полуострова (палеоэкология, стратиграфическое и палеогеографическое значение): Автореф. дис. ... канд. геол.-минерал. наук. М.; Апатиты, 1975. 30 с.

Каган Л. Я. Диатомовые водоросли Евро-Арктического региона: аннотированная коллекция (древние и современные морские и пресноводные). Апатиты: КНЦ РАН, 2012. 209 с.

Колька В. В., Евзеров В. Я., Мёллер Я. Й., Корнер Г. Д. Послеледниковые гляциоизостатические движения на северо-востоке Балтийского щита // Новые данные по геологии и полезным ископаемым Кольского полуострова: сборник статей / Ред. акад. Ф. П. Митрофанов. Апатиты: КНЦ РАН, 2005. С. 15–25.

Колька В. В., Корсакова О. П., Шелехова Т. С., Лаврова Н. Б., Арсланов Х. А. Перемещение бере-

говой линии Белого моря и гляциоизостатическое поднятие суши в голоцене (район поселка Кузема, Северная Карелия) // ДАН. 2012. Т. 442, № 2. С. 263–267.

Колька В. В., Евзеров В. Я., Мёллер Я. Й., Корнер Д. Д. Перемещение уровня моря в позднем плейстоцене – голоцене и стратиграфия донных осадков изолированных озер на южном берегу Кольского полуострова, в районе поселка Умба // Изв. РАН. 2013. № 1. С. 73–88.

Колька В. В., Корсакова О. П., Шелехова Т. С., Толстоброва А. Н. Восстановление относительного положения уровня Белого моря в позднеледниковье и голоцене по данным литологического, диатомового анализов и радиоуглеродного датирования донных отложений малых озер в районе пос. Чупа (Северная Карелия) // Вестн. МГТУ. 2015. Т. 18, № 2. С. 255–268.

Колька В. В., Корсакова О. П., Толстоброва А. Н., Толстобров Д. С., Вашков А. А. Дифференцированные движения морфотектонических блоков на побережье Белого моря (район пос. Чупа) // Геология морей и океанов: Мат-лы XXII Междунар. науч. конф. (Школы) по морской геологии. Москва, 20–24 ноября 2017 г. Т. III. 2017. С. 194–197.

Корсакова О. П., Колька В. В., Толстоброва А. Н., Лаврова Н. Б., Толстобров Д. С., Шелехова Т. С. Литология и поздне-постледниковая стратиграфия донных отложений из котловин изолированных бассейнов побережья Белого моря (на примере малого озера из района поселка Чупа, Северная Карелия) // Стратиграфия, геологическая корреляция. 2016. Т. 24, № 3. С. 81–101.

Косова А. Л., Малышева М. Б., Денисов Д. Б. К методике камеральной обработки проб для диатомового анализа донных отложений // Квартер во всем его многообразии. Фундаментальные проблемы, итоги изучения и основные направления дальнейших исследований: Мат-лы VII Всерос. совещания по изучению четвертичного периода (г. Апатиты, 12–17 сентября 2011 г.). В 2-х т. / РАН, Отд. наук о Земле, Комиссия по изуч. четвертич. периода, Геологический ин-т КНЦ РАН. Апатиты; СПб., 2011. Т. 1. (А – К). С. 294–295.

Лаврова М. А. Четвертичная геология Кольского полуострова. М.; Л.: АН СССР, 1960. 234 с.

Николаева С. Б., Лаврова Н. Б., Толстобров Д. С., Денисов Д. Б. Реконструкция палеогеографических обстановок голоцена в районе озера Имандра (Кольский регион): результаты палеолимнологических исследований // Труды КарНЦ РАН. 2015. № 5. С. 34–47. doi: 10.17076/lim49

Николаева С. Б., Лаврова Н. Б., Денисов Д. Б., Толстобров Д. С. Следы катастрофических процессов в донных осадках озер западного побережья озера Бабинская Имандра (Кольский регион) // Изв. РГО. 2016. Т. 148, вып. 4. С. 38–52.

Обрезкова М. С., Колесник А. Н., Семилетов И. П. Особенности распределения диатомей в поверхностных осадках морей Восточной Арктики России (на основе кластерного анализа) // Биология моря. 2014. Т. 40, № 5. С. 473–480.

Романенко Ф. А., Шилова О. С. Последнее поднятие Карельского берега Белого моря по данным радиоуглеродного и диатомового анали-

зов озерно-болотных отложений п-ова Киндо // ДАН. 2012. Т. 442, № 4. С. 544–548.

Рыбалко А. Е., Токарев М. Ю., Федорова Н. К., Никитин М. А. Новые данные о геологии и геоморфологии Кандалакшского залива по материалам высокочастотного сейсмоакустического профилирования и геологического пробоотбора // Геология морей и океанов: Мат-лы XIX Междунар. конф. (школы) по морской геологии. М., 2011. Т. 5. С. 174–177.

Система Белого моря. Т. I. Природная среда водосбора Белого моря. М.: Научный мир, 2010. 480 с.

Субетто Д. А., Шевченко В. П., Лудикова А. В., Кузнецов Д. Д., Сапелко Т. В., Лисицын А. П., Евзеров В. Я., ван Беек П. (P. van Beek), Суо М. (M. Souhaut), Субетто Г. Д. Хронология изоляции озер Соловецкого архипелага и скорости современного озерного осадконакопления // ДАН. 2012. Т. 446, № 2. С. 183–190.

Субетто Д. А., Назарова Л. Б., Пестрякова Л. А., Сырых Л. С., Андроников А. В., Бискаборн Б., Дикманн Б., Кузнецов Д. Д., Сапелко Т. В., Греков И. М. Палеолимнологические исследования в российской части Северной Евразии: обзор // Сибирский экологический журнал. 2017. Т. 24, № 4. С. 369–380.

Тарасов Г. А., Шлыкова В. В. Распределение мощностей четвертичных отложений и основные черты довалдайской поверхности бассейна Белого моря // ДАН. 2006. Т. 411, № 2. С. 226–230.

Шварев С. В., Никонов А. А. Морфоструктура Беломорского бассейна и эпицентры поздне- и послеледниковых и голоценовых землетрясений // Геология морей и океанов: Мат-лы XXII междунар. науч. конф. (Школы) по морской геологии. Т. III. М.: ИО РАН, 2017. С. 289–293.

Шилова О. С., Репкина Т. Ю. Диатомовые водоросли в донных осадках отделяющихся от моря водоемов побережья Кандалакшского залива Белого моря // Изучение, рациональное использование и охрана природных ресурсов Белого моря / ЗИН РАН. СПб., 2017. С. 260–262.

Шелехова Т. С., Лаврова Н. Б. Динамика природной среды на Карельском берегу Белого моря (по микропалеонтологическим данным) // Изучение, рациональное использование и охрана ресурсов Белого моря / ЗИН РАН. СПб., 2017. С. 256–259.

An Atlas of British Diatoms / Ed. P. A. Sims. Bristol, 1996. 602 p.

Krammer K., Lange-Bertalot H. Bacillariophyceae, Subwasserflora von Mitteleuropa. Vol. 2(1–4). Stuttgart/Jena: Gustav Fisher Verlag, 1988–1991.

Krammer K. The genus Pinnularia // In: H. Lange-Bertalot (ed.), Diatoms of Europe. 1. Vaduz: A. R. G. Gantner Verlag K. G., 2000. 703 p. Krammer K. Cymbella // In: H. Lange-Bertalot (ed.), Diatoms of Europe. 3. Ruggell: A. R. G. GantnerVerlag K. G., 2002. 584 p.

Krammer K. Cymbopleura, Delicata, Navicymbula, Gomphocymbellopsis, Afrocymbella // In: H. Lange-Bertalot (ed.), Diatoms of Europe, 4. Ruggell: A. R. G. GantnerVerlag K. G., 2003. 530 p.

Niemelä J., Ekman I., Lukascov A. Quaternary deposits of Finland and Northwestern part of Russian Federation and their resources. Scale 1:1 000 000. Espoo: Geological Survey of Finland, 1993.

Ruhland K. M., Paterson A. M., Smol J. P. Lake-diatom responses to warming: reviewing the evidence // *J. Paleolimnol.* 2015. Vol. 54(1). P. 1–35. doi: 10.1007/s10933-015-9837-3

Smol J. P., Wolfe A. P., Birks H. J. B., Douglas M. S. V., Jones V. J., Korhola A., Pienitz R., Ruhland K., Sorvari S., Antoniades D., Brooks S. J., Falu M.-A., Hughes M., Keatley B. E., Laing T. E., Mi-

chelutti N., Nazarova L., Nyman M., Paterson A. M., Perren B., Quinlan R., Rautio M., Saulnier-Talbot E., Siitonen S., Solovieva N., Weckström J. Climate-driven regime shifts in the biological communities of arctic lakes // *PNAS.* 2005. Vol. 102. P. 4397–4402.

Поступила в редакцию 09.04.2018

References

Atlas Murmanskoi oblasti [An Atlas of the Murmansk Region]. Glavnoe upr. geodezii i kartografii pri Sovete Ministrov SSSR. NIGEI LGU im. A. A. Zhdanova [Head office of geodesy and cartography, Council of Ministers of the USSR. SRGEI LSU n. a. A. A. Zhdanov]. Moscow, 1971. 33 p.

Barinova S. S., Medvedeva L. A., Anisimova O. V. Bioraznoobrazie vodoroslei – indikatorov okruzhayushchei sredy [Diversity of algal indicators in environmental assessment]. Tel-Aviv: Pilies Studio, 2006. 498 p.

Diatomovyi analiz [Diatom analysis]. Leningrad: Gosgeolizdat, 1949. B. 1. 240 p.; b. 2. 238 p.

Diatomovyi analiz: Opredelitel' iskopaemykh i sovremennykh diatomovykh vodoroslei [Diatom analysis: a Key to fossil and modern diatom algae]. Leningrad: Gosgeolizdat, 1950. B. 3. 398 p.

Diatomovye vodorosli SSSR (iskopaemye i sovremennye) [Diatoms of the USSR (fossil and modern)]. Vol. 1. Leningrad: Nauka, 1974. 404 p.

Davydova N. N. Diatomovye vodorosli – indikatory prirodnykh uslovii vodoemov v golotsene [Diatoms – indicators of environmental conditions of water bodies in the Holocene]. Leningrad: Nauka, 1985. 244 p.

Demidova S. V. Diatomovaya flora muravinskogo mezhdrennikov'ya Belarusi [The diatom flora of the Mura-vian Interglacial of Belarus]. Minsk: Ekonompress, 2013. 199 p.

Evzerov V. Ya., Nikolaeva S. B. Poyasa kraevykh lednikovykh obrazovaniy Kol'skogo regiona [Belts of marginal glacial formations of the Kola region]. *Geomorfologiya* [Geomorphology]. 2000. No. 1. P. 61–73.

Evzerov V. Ya., Kol'ka V. V., Korsakova O. P. Istoriya razvitiya morskikh basseinov v Belomorskoj depressii za poslednie 130 tysyach let (sostoyanie voprosa i perspektivy issledovaniy) [History of sea basins development in the White Sea depression over the last 130 000 years (current state of knowledge and research perspectives)]. *Byul. Komissii po izuch. chetvertich. perioda* [Bull. Commission for the Quaternary period study]. 2007. No. 67. P. 54–66.

Evzerov V. Ya., Vinogradov A. N., Nikolaeva S. B. Noveishii etap razvitiya Belomorskoj kotloviny [The latest stage in the development of the White Sea basin]. *DAN [Dokl. Earth Sciences]*. 2016. Vol. 471, no. 4. P. 450–454.

Geologicheskaya karta Kol'skogo regiona. Masshtab 1:1 000 000 [A geological map of the Kola region. Scale 1:1 000 000]. Apatity: KNC RAN, 2001. 1 l.

Kagan L. Ya. Kompleksy diatomei morskogo pleistotsena Kol'skogo poluostrova (paleoekologiya, stratigraficheskoe i paleogeograficheskoe znachenie) [Complexes of diatoms of marine Pleistocene

of the Kola Peninsula (paleoecology, stratigraphic and paleogeographic significance)]: Summary of PhD (Cand. of Geol.-Mineral.) thesis. Moscow; Apatity, 1975. 30 p.

Kagan L. Ya. Diatomovye vodorosli Evro-Arkticheskogo regiona: Annotirovannaya kollektsiya (drevnie i sovremennye morskoe i presnovodnye) [Diatoms of the Euro-Arctic region: An annotated collection (ancient and modern marine and freshwater)]. Apatity: KNC RAN, 2012. 209 p.

Kol'ka V. V., Evzerov V. Ya., Moller Ya. I., Korner G. D. Poslednikovye glyatsioizostatische dvizheniya na severo-vostoke Baltiiskogo shchita [Post-glacial glacioisostatic movements in the North-East of the Baltic Shield]. *Novye dannye po geol. i poleznym iskopaemym Kol'skogo poluostrova: sbornik statei* [New data on geology and mineral resources of the Kola Peninsula: a coll. of sci. papers]. Apatity: KNC RAN, 2005. P. 15–25.

Kol'ka V. V., Korsakova O. P., Shelekhova T. S., Lavrova N. B., Arslanov Kh. A. Peremeshchenie beregovoi linii Belogo morya i glyatsioizostatische podnyatie sushi v golotsene (raion poselka Kuzema, Severnaya Kareliya) [Translocation of the White Sea shoreline and glacioisostatic land uplift in the Holocene (Kuzema area, North Karelia)]. *DAN [Dokl. Earth Sciences]*. 2012. Vol. 442, no. 2. P. 263–267.

Kol'ka V. V., Evzerov V. Ya., Moller Ya. Y., Korner D. D. Peremeshchenie urovnya morya v pozdnem pleistotsene – golotsene i stratigrafiya donnykh osadkov izolirovannykh ozer na yuzhnom beregu Kol'skogo poluostrova, v raione poselka Umba [The late Weichselian and Holocene relative sea-level change and isolation basin stratigraphy at the Umba settlement, southern coast of the Kola Peninsula]. *Izv. RAN [Proceed. RAS. Geographical ser.]*. 2013. No. 1. P. 73–88.

Kol'ka V. V., Korsakova O. P., Shelekhova T. S., Tolstobrova A. N. Vosstanovlenie otnositel'nogo polozheniya urovnya Belogo morya v pozdnelednikov'e i golotsene po dannym litologicheskogo, diatomovogo analizov i radiouglerodnogo datirovaniya donnykh otlozheniy malykh ozer v raione pos. Chupa (Severnaya Kareliya) [Reconstruction of the relative level of the White Sea during the Late glacial – Holocene according to lithological, diatom analyses and radiocarbon dating of small lakes bottom sediments in the area of the Chupa settlement (North Karelia, Russia)]. *Vestn. MGTU.* 2015. Vol. 18, no. 2. P. 255–268.

Kol'ka V. V., Korsakova O. P., Tolstobrova A. N., Tolstobrov D. S., Vashkov A. A. Differentsirovannye dvizheniya morfotektonicheskikh blokov na poberezh'e

Belogo morya (raion pos. Chupa) [Differentiated movements of morphotectonic blocks on the White Sea coast (Chupa area)]. *Geol. morei i okeanov*: Mat-ly XXII Mezhdunar. nauch. konf. (Shkoly) po morskoi geol. [Geol. of the seas and oceans: Proceed. XXII Int. Sci. Conf. (School) on marine geol.]. Moscow, November 20–24, 2017. Vol. III. 2017. P. 194–197.

Korsakova O. P., Kol'ka V. V., Tolstobrova A. N., Lavrova N. B., Tolstobrov D. S., Shelekhova T. S. Litologiya i pozdne-postlednikovaya stratigrafiya donnykh otlozhenii iz kotlovin izolirovannykh basseinov poberezh'ya Belogo morya (na primere malogo ozera iz raiona poselka Chupa, Severnaya Kareliya) [Lithology and late postglacial stratigraphy of bottom sediments in isolated basins of the White Sea coast exemplified by a small lake in the Chupa settlement area (Northern Karelia)]. *Stratigrafiya, geol. korrelyatsiya* [Stratigraphy and geol. correlation]. 2016. Vol. 24, no. 3. P. 81–101.

Kosova A. L., Malysheva M. B., Denisov D. B. K metodike kameral'noi obrabotki prob dlya diatomovogo analiza donnykh otlozhenii [On the methods of cameral treatment of samples for the diatom analysis of bottom sediments]. Kvarter vo vsem ego mnogoobrazii. Fundamental'nye probl., itogi izuch. i osnovnye napravleniya dal'neishikh issled.: Mat-ly VII Vseros. soveshch. po izuch. chetvertich. perioda (g. Apatity, 12–17 sentyabrya, 2011 g.). V 2-kh t. / RAN, Otd. nauk o Zemle, Komissiya po izuch. chetvertich. perioda, Geol. in-t KNTs RAN [The Quaternary in all its variety. Basic issues, results and major trends of further research. Proceed. VII All-Russ. Quaternary conf. (Apatity, Sept. 12–17, 2011). In 2 vol. RAS, Earth. Sci. Dep., Commission for the Quaternary study, Geol. Inst. KRS RAS]. Apatity; St. Petersburg, 2011. Vol. 1. (A–K). P. 294–295.

Lavrova M. A. Chetvertichnaya geologiya Kol'skogo poluostrova [Quaternary geology of the Kola Peninsula]. Leningrad: AN SSSR, 1960. 234 p.

Nikolaeva S. B., Lavrova N. B., Tolstobrov D. S., Denisov D. B. Rekonstruktsiya paleogeograficheskikh obstanovok golotsena v raione ozera Imandra (Kol'skii region): rezul'taty paleolimnologicheskikh issledovaniy [Reconstructions of Holocene paleogeographic conditions in the Lake Imandra area (Kola region): results of paleolimnological research]. *Trudy KarNTs RAN* [Trans. KarRC RAS]. 2015. No. 5. P. 34–47. doi: 10.17076/lim49

Nikolaeva S. B., Lavrova N. B., Denisov D. B., Tolstobrov D. S. Sledy katastroficheskikh protsessov v donnykh osadkakh ozer zapadnogo poberezh'ya ozera Babinskaya Imandra (Kol'skii region) [Evidence of catastrophic processes in lake-bottom sediments of the Babinskaya Imandra western coast (Kola region)]. *Izv. RGO*. 2016. Vol. 148, iss. 4. P. 38–52.

Obrezkova M. S., Kolesnik A. N., Semiletov I. P. Osobennosti raspredeleniya diatomei v poverkhnostnykh osadkakh morei Vostochnoi Arktiki Rossii (na osnove klasternogo analiza) [Peculiarities of diatoms distribution in surface sediments in the seas of the Eastern Arctic region of Russia]. *Biol. morya* [Marine Biol.]. 2014. Vol. 40, no. 5. P. 473–480.

Romanenko F. A., Shilova O. S. Poslednikovoe podnyatie Karel'skogo berega Belogo morya po dan-

nym radiouglerodnogo i diatomovogo analizov ozernobolotnykh otlozhenii p-ova Kindo [The postglacial uplift of the Karelian Coast of the White Sea according to radiocarbon and diatom analyses of lacustrine-boggy deposits of Kindo Peninsula]. *DAN* [Dokl. Earth Sciences]. 2012. Vol. 442, no. 4. P. 544–548.

Rybalko A. E., Tokarev M. Yu., Fedorova N. K., Nikitin M. A. Novye dannye o geologii i geomorfologii Kandalakshskogo zaliva po materialam vysokochastotnogo seismoakusticheskogo profilirovaniya i geologicheskogo probotobora [New data on geology and geomorphology of Kandalaksha Bay based on high-frequency seismic-acoustic profiling and geological sampling]. *Geol. morei i okeanov*: Mat-ly XIX Mezhdunar. konf. (shkoly) po morskoi geol. [Geol. of seas and oceans: Proceed. XIX Int. conf. (school) on sea geol.]. Moscow, 2011. Vol. 5. P. 174–177.

Shelekhova T. S., Lavrova N. B. Dinamika prirodnoi sredy na Karel'skom beregu Belogo morya (po mikropaleontologicheskim dannym) [Dynamics of the natural environment on the Karelian coast of the White Sea (according to micropaleontological data)]. *Izuch., ratsional'noe ispol'z. i okhr. resursov Belogo morya* [Study, rational use and protection of the White Sea resources]. ZIN RAN. St. Petersburg, 2017. P. 256–259.

Shilova O. S., Repkina T. Yu. Diatomovye vodorosli v donnykh osadkakh otdelyayushchikhsya ot morya vodoemov poberezh'ya Kandalakshskogo zaliva Belogo morya [Diatoms in bottom sediments of water bodies separating from the sea water of the Kandalaksha Gulf of the White Sea]. *Izuch., ratsional'noe ispol'z. i okhr. resursov Belogo morya* [Study, rational use and protection of the White Sea resources]. ZIN RAN. St. Petersburg, 2017. P. 260–262.

Sistema Belogo morya. Prirodnaya sreda vodosbora Belogo morya [The system of the White Sea. Natural environment of the White Sea catchment]. Vol. 1. Moscow: Nauchnyi mir, 2010. 480 p.

Subetto D. A., Shevchenko V. P., Ludikova A. V., Kuznetsov D. D., Sapelko T. V., Lisitsyn A. P., Evzerov V. Ya., van Beek P., Suo M., Subetto G. D. Khronologiya izolyatsii ozer Solovetskogo arhipelaga i skorosti sovremennogo ozernogo osadkonakopleniya [The chronology of isolation of the Solovetsky Archipelago lakes and current rates of lake sedimentation]. *DAN* [Dokl. Earth Sciences]. 2012. Vol. 446, no. 2. P. 183–190.

Subetto D. A., Nazarova L. B., Pestryakova L. A., Strykh L. S., Andronikov A. V., Biskaborn B., Dikmann B., Kuznetsov D. D., Sapelko T. V., Grekov I. M. Paleolimnologicheskie issledovaniya v rossiiskoi chasti Severnoi Evrazii: obzor [Paleolimnological studies in the Russian part of Northern Eurasia: a review]. *Sibirskii ekol. zhurn.* [Siberian Ecol. J.]. 2017. Vol. 24, no. 4. P. 369–380.

Shvarev S. V., Nikonov A. A. Morfostruktura Belomorskogo basseina i epitsentry pozdne- i poslelednikovykh i golotsenovykh zemletryasenii [The morphological structure of the White Sea basin and epicenters of late- and post-glacial and Holocene earthquakes]. *Geol. morei i okeanov*: Mat-ly XXII mezhdunar. nauch. konf. (shkoly) po morskoi geol. [Geol. of seas and oceans: Proceed. XXII Int. sci. conf. (school) on sea geol.]. Moscow: IORAN, 2017. Vol. III. P. 289–293.

Tarasov G. A., Shlykova V. V. Raspredelenie moshchnostei chetvertichnykh otlozhenii i osnovnye cherty dovaldaiskoi poverkhnosti basseina Belogo morya [Distribution of Quaternary sediments and main features to the Valdai surface of the White Sea basin]. *DAN* [Dokl. Earth Sciences]. 2006. Vol. 411, no. 2. P. 226–230.

Zemnaya kora vostochnoi chasti Baltiiskogo shchita [The Earth's crust of the eastern part of the Baltic Shield]. Leningrad: Nauka, 1978. 231 p.

An Atlas of British Diatoms. Bristol, 1996. 602 p.

Krammer K., Lange-Bertalot H. Bacillariophyceae, Subwasserflora von Mitteleuropa, Vol. 2(1–4). Stuttgart/Jena: Gustav Fisher Verlag, 1988–1991.

Krammer K. The genus Pinnularia. In: H. Lange-Bertalot (ed.). *Diatoms of Europe*. 1. Vaduz: A. R. G. Gantner Verlag K. G., 2000. 703 p.

Krammer K. Cymbella. In: H. Lange-Bertalot (ed.). *Diatoms of Europe*. 3. Ruggell: A. R. G. Gantner Verlag K. G., 2002. 584 p.

Krammer K. Cymboplectra, Delicata, Navicymbula, Gomphocymbellopsis, Afroscymbella. In: H. Lange-

Bertalot (ed.). *Diatoms of Europe*, 4. Ruggell: A. R. G. Gantner Verlag K. G., 2003. 530 p.

Niemelä J., Ekman I., Lukascov A. Quaternary deposits of Finland and Northwestern part of Russian Federation and their resources. Scale 1:1 000 000. Espoo: Geological Survey of Finland, 1993.

Ruhland K. M., Paterson A. M., Smol J. P. Lake-diatom responses to warming: reviewing the evidence. *J. Paleolimnol.* 2015. P. 1–35. doi: 10.1007/s10933-015-9837-3.

Smol J. P., Wolfe A. P., Birks H. J. B., Douglas M. S. V., Jones V. J., Korhola A., Pienitz R., Rühland K., Sorvari S., Antoniades D., Brooks S. J., Falu M.-A., Hughes M., Keatley B. E., Laing T. E., Michelutti N., Nazarova L., Nyman M., Paterson A. M., Perren B., Quinlan R., Rautio M., Saulnier-Talbot E., Siitonen S., Solovieva N., Weckström J. Climate-driven regime shifts in the biological communities of arctic lake. *PNAS*. 2005. Vol. 102. P. 4397–4402.

Received April 09, 2018

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Косова Анна Львовна

ведущий инженер

Институт проблем промышленной экологии Севера – обособленное подразделение Федерального исследовательского центра «Кольский научный центр РАН» Академгородок, 14а, Апатиты, Мурманская область, Россия, 184209

эл. почта: kosova@inep.ksc.ru

тел.: (81555) 79776

Денисов Дмитрий Борисович

старший научный сотрудник, к. б. н.

Институт проблем промышленной экологии Севера – обособленное подразделение Федерального исследовательского центра «Кольский научный центр РАН» Академгородок, 14а, Апатиты, Мурманская область, Россия, 184209

эл. почта: denisow@inep.ksc.ru

тел.: (81555) 79776

Николаева Светлана Борисовна

старший научный сотрудник, к. г.-м. н.

Геологический институт – обособленное подразделение Федерального исследовательского центра «Кольский научный центр РАН» Академгородок, 10а, Апатиты, Мурманская обл., Россия, 184209

эл. почта: nikolaeva@geoksc.apatity.ru

тел.: (81555) 79575

CONTRIBUTORS:

Kosova, Anna

Institute of North Industrial Ecology Problems – Subdivision of the Federal Research Center «Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences», 14a Academgorodok, 184209 Apatity, Murmansk Region, Russia

e-mail: kosova@inep.ksc.ru

tel.: (81555) 79776

Denisov, Dmitry

Institute of North Industrial Ecology Problems – Subdivision of the Federal Research Center «Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences», 14a Academgorodok, 184209 Apatity, Murmansk Region, Russia,

e-mail: denisow@inep.ksc.ru

tel.: (81555) 79776

Nikolaeva, Svetlana

Geological Institute – Subdivision of the Federal Research Center «Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences»

10a Academgorodok, 184209 Apatity, Murmansk Region, Russia

e-mail: nikolaeva@geoksc.apatity.ru

tel.: (81555) 79575

УДК 551.31.06 (470.21)

ВОЗМОЖНЫЕ СЛЕДЫ ГОЛОЦЕНОВЫХ ЦУНАМИ В ОЗЕРНЫХ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ В РАЙОНЕ ПОС. ТЕРИБЕРКА (КОЛЬСКИЙ ПОЛУОСТРОВ, РОССИЯ)

Д. С. Толстобров¹, А. Н. Толстоброва¹, В. В. Колька¹,
О. П. Корсакова¹, Д. А. Субетто^{2,3}

¹ Геологический институт Кольского научного центра РАН, Апатиты Мурманской обл., Россия

² Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН, ФИЦ «Карельский научный центр РАН»,
Петрозаводск, Россия

³ Российский государственный педагогический университет им. А. И. Герцена,
Санкт-Петербург, Россия

Приведены результаты литологического, диатомового анализов и радиоуглеродного датирования донных осадков безымянного озера, расположенного на высотной отметке 17 м над уровнем моря в районе поселка Териберка, баренцевоморское побережье Кольского полуострова. На основании комплексного изучения вскрытых озерных донных осадков выявлены этапы развития озера. Установлено, что в конце плейстоцена котловина озера являлась неровностью морского дна. Около 11 500 калиброванных лет назад (л. н. (кал.)) произошла ее изоляция от моря, но после 10 400 л. н. (кал.) в результате трансгрессии Тапес она опять была заполнена морскими водами и в ней начали накапливаться морские отложения. В их нижней части, накапливавшейся в интервале времени 10 400–8200 л. н. (кал.), установлено нарушение в залегании осадков, проявившееся в виде перемешивания песка, гиттии и растительных остатков. В этом же прослое выявлено резкое увеличение створок морских видов диатомовых водорослей. Формирование прослая осадков с нарушенным залеганием, возможно, связано с последствиями воздействия цунами Сторегга. При образовании прослая цунамигенных отложений береговая линия моря находилась немного выше порога стока из озера, на современной абсолютной отметке около 18 м н. у. м. Установлено, что позднее 8220 л. н. (кал.), при регрессии береговой линии моря, когда она находилась уже ниже порога стока из озера, произошло второе локальное событие (цунами?), в результате которого в донных отложениях среди гиттии сформировался интервал песчанистых осадков.

Ключевые слова: озерная котловина; осадки цунами; трансгрессия Тапес; Баренцево море; Кольский полуостров; голоцен.

**D. S. Tolstobrov, A. N. Tolstobrova, V. V. Kolka, O. P. Korsakova,
D. A. Subetto. PUTATIVE RECORDS OF THE HOLOCENE TSUNAMI IN
LACUSTRINE BOTTOM SEDIMENTS NEAR THE TERIBERKA SETTLEMENT
(KOLA PENINSULA, RUSSIA)**

The results of lithological analysis, diatom analysis and radiocarbon dating of bottom sediments from the basin of a lake located at an elevation of 17 m above sea level near the Teriberka settlement (Barents Sea coast, Kola Peninsula) are presented. The stages

of the lake evolution were revealed based on a comprehensive investigation of its bottom sediments. The lake basin was covered by sea at the end of the Pleistocene. The lake became isolated from the sea approximately 11500 cal. yrs BP, but was re-filled with sea water after 10400 cal. yrs BP due to the Tapes transgression. In lower part of the Tapes sediments, there is a disturbance of the sediment sequence, represented by a mixture of sand, gyttja and plant residues. According to radiocarbon dates, this disturbed horizon was deposited between 10400 and 8200 cal. yrs BP. An abrupt increase in the content of marine diatoms was found in this horizon. The disturbed sediments have possibly formed as a result of the Storegga tsunami. When the horizon of tsunamigenic sediments was forming, the sea level was slightly above the threshold for discharge from the lake (ca. 18 m above modern sea level). The second local event (tsunami?) occurred after 8220 cal. yrs BP, when the coastline was already below the lake threshold. As a result of this event, an interlayer of sandy sediments formed in the bottom sediments within gyttja.

Keywords: lake basin; tsunami sediments; Tapes transgression; Barents Sea; Kola Peninsula; Holocene.

Введение

В разрезах донных отложений озер хранится полная информация о происходивших в прошлом процессах [Субетто, 2009]. На протяжении многих лет на Кольском полуострове изучение донных отложений из озерных котловин проводится с целью установления характера перемещения береговой линии моря [Snyder et al., 1997; Corner et al., 1999, 2001; Колька и др., 2013; Толстобров и др., 2016 и др.] и определения природно-климатических изменений [Kremenetski, Patyk-Kara, 1997; Gronlund, Kauppi, 2002; Сапелко и др., 2015 и др.]. Кроме того, изучение осадков из озерных котловин проводится и с целью определения времени и масштабов исторических и доисторических цунами, оценки возможного будущего их влияния на прибрежные территории в разных частях мира. Так, в районах Северной Атлантики установлено, что в голоцене (около 7200 ¹⁴C л. н., или 8100 л. н. (кал.)) имело место цунами, вызванное подводным оползнем Сторегга в Норвежском море [Bondevik et al., 1997]. По данным компьютерного моделирования [Bondevik et al., 2005; Løvholt et al., 2017], цунами распространялось во всех направлениях от места, где произошел оползень. Связанные с этим цунами осадки были обнаружены в донных отложениях озер вдоль всего побережья Норвегии [Svendsen, Mangerud, 1990; Bondevik et al., 1997; Romundset, Bondevik, 2011], в Шотландии [Smith et al., 2004], в Гренландии [Wagner et al., 2006] и в других районах (рис. 1). Максимальный накат морской воды отмечен на Шетландских и Фарерских островах – до 20 м [Bondevik et al., 2005]. По направлению на северо-восток вдоль побережья Норвегии значение наката постепенно уменьшается с 12–13 м (в центральной части страны) до 3–4 м (на ее северо-востоке)

(рис. 1). В разрезах донных отложений озер цунамигенные осадки залегают с эрозионным несогласием и представлены сортированным или массивным песком, который вверх по разрезу сменяется осадками в виде смеси гиттии, алеврита, макроостатков растений и кусков торфа.

В работе представлены новые данные изучения донных отложений из безымянного озера, расположенного на высотной отметке 17 м над уровнем моря в районе поселка Териберка, Кольский полуостров. В разрезе были вскрыты отложения, которые по литологическим и микрорепалеонтологическим признакам резко отличаются от выше- и нижележащих осадков. Для выявления возможных причин формирования этих осадков было выполнено их комплексное исследование.

Район исследований

Изученное озеро находится к западу от пос. Териберка на Мурманском берегу Кольского п-ова (рис. 1, А, Б). Размер водоема 300×130 м, площадь 0,039 км², максимальная глубина 2,5 м. Озеро проточное, на юго-западе в него впадает небольшой ручей, сток происходит через ручей на севере. Дневная поверхность района исследования практически везде представлена различными гранитоидами архейского возраста [Геологическая..., 1996]. Рельеф сильно расчлененный, с небольшими сопками и плато, имеющими абсолютную высоту до 220 м н. у. м. и крутые склоны.

Методы

Донные отложения из озерной котловины были отобраны при помощи переносного поршневого бура со льда. Бурение проводилось до коренных пород в наиболее глубоком плос-

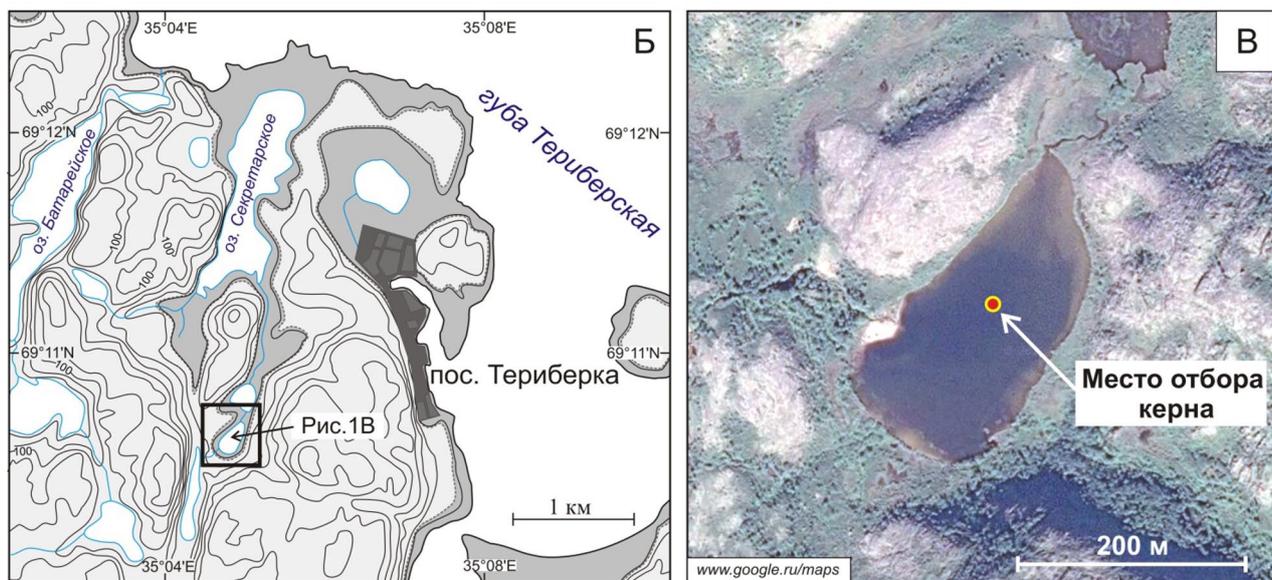


Рис. 1. (А) Карта положения оползня Сторегга (показано штриховкой), который вызвал цунами в пределах Северной Атлантики в голоцене; черными точками показаны районы, где обнаружены цунамигенные осадки; цифрами обозначена величина наката. (Б) Район исследования и положение изученного озера; изогипсы проведены через 20 м; темно-серым цветом показано положение береговой линии моря во время цунами Сторегга. (В) Изученное озеро и место отбора керна донных отложений

Fig. 1. (A) Map showing the extent of the Storegga slide (hatching), which caused the tsunamis within the North Atlantic in the Holocene; black dots show the locations where sediments of the Storegga tsunami have been recorded; numbers show the run-up heights; red dot shows the position of the study area. (B) The study area and the location of the lake; isohypses are drawn through 20 m; dark gray color shows the position of the coastline in the time Storegga tsunami. (B) The studied lake and core site

кодном месте озера. Длина каждого керна составляла 1 м, диаметр 54 мм, керны отбирались с перекрытием в 10 см. В полевых условиях по визуально определяемым признакам (цвет, текстура, включения, механический со-

став) выполнялось литологическое описание и проводилось опробование осадков на диатомовый анализ и радиоуглеродное датирование. Высотное положение озера определялось по картам масштаба 1:25 000 и 1:50 000.

Диатомовый анализ выполнялся для серий близко расположенных образцов. Техническая обработка проб выполнялась по стандартным методикам [Диатомовые..., 1974]. Подсчет и определение видового состава створок диатомовых водорослей были проведены при помощи биологического цифрового микроскопа Motic серии DMBA 310 при увеличении $\times 400$ и $\times 1000$ раз с использованием иммерсионного масла. Таксономическая идентификация диатомовых водорослей и определение их экологической принадлежности проводились согласно определителям и литературным источникам [Tynni, 1975–1980; Давыдова, 1985; Krammer, Lange-Bertalot, 1986–1991; Atlas..., 1996; Лосева, 2000; Krammer, 2000, 2002, 2003; Lange-Bertalot, 2001; Баринова и др., 2006] с учетом последних таксономических изменений [http://www.algaebase.org]. В статье приведена диаграмма распределения диатомовых водорослей, на которую вынесены наиболее значимые виды.

Радиоуглеродное датирование образцов донных отложений озерных котловин выполнено в лаборатории геохронологии и геоэкологии донных отложений Санкт-Петербургского государственного университета (ЛУ-образцы). Калибровка радиоуглеродных дат выполнялась в программе OxCal 4.3 [Bronk Ramsey, 2018] с применением калибровочной кривой IntCal13 [Reimer et al., 2013].

Характеристика осадков из котловины изученного озера

В разрезе донных осадков озерной котловины установлена следующая последовательность слоев (описание снизу вверх, глубина указана от поверхности воды в озере) (рис. 2):

(1) 634–580 см – алеврит с песком, серый, неслоистый, с единичными зернами гравия. На границе с вышележащими осадками отмечается прослой песка мощностью 1–2 мм. По данным диатомового анализа в образце из верхней части слоя (1) выявлено около 20 % створок морских и солоноватоводных (полигалобов и мезогалобов) диатомовых водорослей, среди которых встречены *Diploneis didyma* (Ehr.) Cl., *Navicula vaneei* Lange-Bert., *Paralia sulcata* (Ehr.) Kütz., *Plagiogramma staurorophorum* (Greg.) Heib., *Rhabdonema minutum* Kütz. и др. Основу диатомового комплекса составляют олигогалобы, при этом среди них примерно 20 % принадлежит галофилам, в особенности мелким видам-обрастателям – *Staurosirella pinnata* (Ehr.) Williams et Round (10 % от общего числа видов) и *Pseudostaurosira sub-*

salina (Hust.) Morales (7 %). Среди прочих олигогалобов наиболее многочисленны *Punctastriata lancettula* (Schumann) P. B. Hamilton et Siver, *Martyana martyi* (Héribaud-Joseph) Round, *Staurosira construens* Ehr., *Pinnularia* cf. *biceps* Greg. Кроме того, осадки слоя 1 характеризуются самыми низкими значениями концентрации створок диатомовых водорослей (рис. 2);

(2) 580–540 см – гиттия коричневая, неслоистая, с небольшим количеством минеральных частиц; в интервале 566–540 см в осадках появляется неясная слоистость; переход в вышележащий интервал осадков резкий, неровный. Здесь, по данным диатомового анализа, морские виды отсутствуют, абсолютное господство принадлежит пресноводным видам. Концентрация створок значительно увеличивается по сравнению с нижележащим слоем. Преобладают индифференты (до 80 %), среди которых отмечено массовое развитие видов-обрастателей, в частности *Martyana martyi*, *Punctastriata lancettula*, *Stauroforma exiguiformis* (Lange-Bert.) Flower, Jones et Round, *Staurosira construens*, *Staurosira pseudoconstruens* (Marciniak) Lange-Bert., обильно развивающиеся на начальных этапах становления пресноводных водоемов [Grönlund, Kauppi, 2002]. Помимо обрастателей в этом горизонте наблюдается небольшое увеличение планктонных видов, представленных видами родов *Aulacoseira* (*A. alpigena* (Grun.) Kramm., *A. granulata* (Ehr.) Simonsen, *A. valida* (Grun.) Kramm.) и *Cyclotella* (*C. antiqua* W. Sm., *C. bodanica* var. *lemanica* (O. Müll. ex Schröter) Bachm., *C. rossii* Håkans.). Галофилы и галофобы занимают подчиненное положение и составляют 12–18 и 1–9 % соответственно (рис. 2). Для осадков нижней и верхней частей данного интервала получены датировки 9960 ± 150 ^{14}C л. н. (12060–11105 л. н. (кал.)) и 9240 ± 140 ^{14}C л. н. (10800–10155 л. н. (кал.)) соответственно (табл. 1);

(3) 540–529 см – песок с гиттией; представляет собой смесь серого песка и коричневой гиттии; снизу вверх количество песка уменьшается от ~ 90 до 30–20 %; в верхней части интервала на глубине 535–529 см – гиттия с песком (около 20 %) и с макроостатками растений; переход в вышележащие осадки постепенный. Характерно резкое снижение концентрации створок диатомей. В осадках зафиксировано резкое появление в большом количестве морских и солоноватоводных видов при доминировании последних в основном за счет планктонно-бентосного вида *Paralia sulcata* (до 50–70 % от общего числа видов). Кроме того, среди мезогалобов отмечены донные формы и обрастатели (*Amphora commutata* Grun., *Na-*

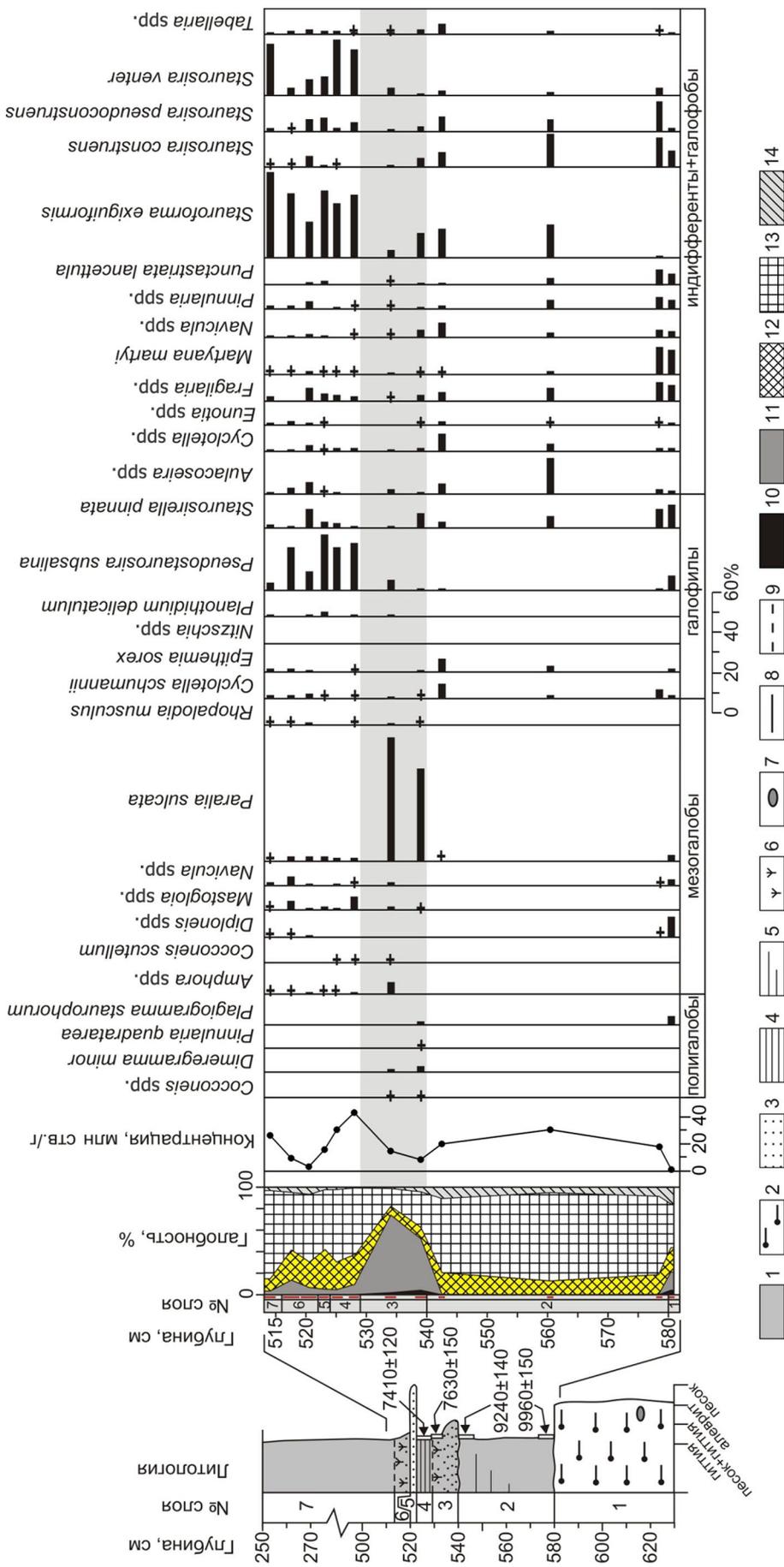


Рис. 2. Литогеологический разрез и данные диатомового анализа осадков из озерной котловины, изученной в районе пос. Териберка:

1–5 – литология: 1 – гиттия; 2 – алевроит; 3 – песок; 4 – слоистость; 5 – неясная слоистость; 6 – включения; 6–8 – растительные остатки; 7 – гравий/галька; 8–9 – контакты; 8 – резкий; 9 – постепенный; 10–14 диатомовые водоросли: 10 – полигалообы; 11 – мезогалообы; 12 – галофилы; 13 – индифференты; 14 – галофобы

Fig. 2. Lithological log and diatom diagram of sediments from the lake basin near the Teriberka settlement:

1–5 – lithology: 1 – gyttja; 2 – silt; 3 – sand; 4 – lamination; 5 – weakly lamination; 6–8 – inclusions; 6–8 – plant residues; 7 – gravel/pebbles; 8–9 – contacts; 8 – abrupt; 9 – gradual; 10–14 diatoms: 10 – polyhalobous; 11 – mesohalobous; 12 – indifferent; 13 – indifferant; 14 – halophobous

Результаты радиоуглеродного датирования донных отложений из озерной котловины в районе пос. Териберка, Кольский полуостров

The results of radiocarbon dating of bottom sediments from the lake basin near the Teriberka settlement, the Kola Peninsula

№	Лабораторный номер Analytical sample number	Координаты Coordinates	Глубина отбора проб, см Sampling depth in core, cm	Материал Material	Радиоуглеродный возраст, лет назад ¹⁴ C age, years BP	Калиброванный возраст (доверительный интервал 2σ), лет назад Calibrated age (2σ interval), years BP
1	ЛУ-8250 LU-8250	69°10'37.1"N 35°04'53.6"E	520–528	гиттия gyttja	7410 ± 120	8420–7995 (8220)
2	ЛУ-8249 LU-8249		528–535	гиттия gyttja	7630 ± 150	8790–8155 (8455)
3	ЛУ-8251 LU-8251		540–548	гиттия gyttja	9240 ± 140	10800–10155 (10455)
4	ЛУ-8248 LU-8248		580–573	гиттия gyttja	9960 ± 150	12060–11105 (11530)

vicula peregrina (Ehr.) Kütz., *Mastogloia elliptica* (Ag.) Cl. и др.). Среди полигалобов встречены бентосные виды *Dimeregramma minor* (Greg.) Ralfs, *Diploneis subcincta* (A. Schmidt) Cl., *Plagiogramma staurophorum* и др. Для верхней части осадков этого интервала получена датировка 7630 ± 150 ¹⁴C л. н. (8790–8155 л. н. (кал.)) (табл. 1);

(4) 529–524 см – гиттия коричневая, слоистая, с песком; верхняя граница резкая. Отмечается значительное увеличение концентрации створок диатомей. Диатомовый анализ показал, что мезогалобы здесь составляют 5–9 % (*Amphora commutata*, *Cocconeis scutellum* Ehr., *Halamphora coffeaeformis* (C. Agardh) Levkov, *Navicula peregrina*, *Mastogloia* spp., *Paralia sulcata*, *Rhopalodia musculus* (Kütz.) O. Müll. и др.). Полигалобы встречены спорадически. Доминирующий комплекс представлен галофилами (25–27 %) и индифферентами (60–67 %), причем опять отмечается вспышка развития видов *Fragilaria sensu lato*, остальные виды представлены в гораздо меньшем количестве. Для данных осадков получена ¹⁴C-датировка 7410 ± 120 ¹⁴C л. н. (8420–7995 л. н. (кал.)) (табл. 1);

(5) 524–522 см – прослой серого песка; мощность прослоя изменяется от 1 мм до 2 см. Состав диатомовой флоры аналогичен осадкам слоя 4. По сравнению с нижележащим слоем 4 здесь происходит существенное снижение концентрации диатомей, продолжающееся и в вышележащих осадках слоя 6;

(6) 522–516 см – гиттия темно-коричневая, с большим количеством растительных остатков; в интервале отмечается песок и отдельные зерна гравия; в ядрах, которые повторно были взяты для отбора проб на радиоуглеродное датирование, количество растительных остатков

меньше и отсутствует гравий. Диатомовая флора в целом соответствует ее составу в осадках слоя 4, однако по сравнению с нижележащими осадками зафиксировано небольшое увеличение до 5 % содержания галофобов за счет увеличения и/или появления видов *Tabellaria flocculosa* (Roth) Kütz., *Neidium ampliatum* (Ehr.) Kramm., видов рода *Eunotia* spp. и некоторых других;

(7) 516–250 см – гиттия коричневая, неслоистая, верхние 4 см (глубина 254–250 см) серовато-белого цвета. Диатомовый анализ выполнен для самой нижней части осадков данного слоя. Концентрация створок диатомовых водорослей здесь опять значительно возрастает. При этом количество мезогалобов снизилось до 3 %, они представлены одиночными створками *Paralia sulcata*, *Navicula vaneei*, *Mastogloia* spp., *Diploneis interrupta* (Kütz.) Cl., *Amphora commutata* Grun. и некоторыми другими. Содержание галофилов также уменьшилось до 11 %, выявлены створки *Pseudostaurosira subsalina*, *Staurosirella pinnata*, *Planothidium delicatulum* (Kütz.) Round et Bukht., *Nitzschia frustulum* (Kütz.) Grun. и др. (рис. 2). Преобладающей группой являются индифференты (80 %), среди которых доминируют *Stauroforma exiguiformis* и *Staurosira venter* (Ehr.) Kobayasi.

Дискуссия. Интерпретация полученных данных

Результаты изучения разреза донных отложений безымянного озера показывают, что после освобождения ото льда прилегающая территория была затоплена морскими водами. В соответствующих осадках (алевроит с песком верхней части слоя 1 на рис. 2) присутствуют около 20 % морских и солоновато-

водных видов диатомей. По данным радиоуглеродного датирования, уже 9960 ± 150 ^{14}C л. н. (12060–11105 л. н. (кал.)) произошла изоляция озерной котловины от морского бассейна. В это время в котловине озера установился пресноводный режим осадконакопления и происходило формирование гиттии (слой 2, рис. 2).

Выше слоя 2 с эрозионным несогласием в разрезе залегают отложения, представленные смесью песка, гиттии и растительных остатков (слой 3, рис. 2). При этом в слое 3 резко и в большом количестве (до 73 %) появляются морские и солоноватоводные диатомовые, вверх по разрезу постепенно уменьшается с ~90 до ~20 % количество песка и появляются остатки растений. Видимо, образование эрозионного контакта и формирование песков в нижней части слоя 3 происходило при проникновении потока морских вод с высокой энергией, т. е. во время цунами. Со временем, в более спокойных гидродинамических условиях, происходило формирование органогенных осадков (гиттии с остатками растений). Аналогичный характер залегания осадков, образованных во время цунами, отмечался в озерных котловинах разных частей мира [Svendsen, Mangerud, 1990; Bondevik et al., 1997; Romundset, Bondevik, 2011; Kempf et al., 2017 и др.]. Формирование похожих осадков могло происходить и под влиянием волн во время сильных штормов. Однако защищенное положение озерной котловины от открытого моря (рис. 1) позволяет исключить данный сценарий их образования. По данным радиоуглеродного датирования, формирование нарушенных отложений слоя 3 происходило во временном интервале 9200–7600 ^{14}C л. н. (10400–8200 л. н. (кал.)), когда в Северной Атлантике и случилось цунами, вызванное подводным оползнем Сторегга в Норвежском море [Svendsen, Mangerud, 1990; Bondevik et al., 1997; Romundset, Bondevik, 2011 и др.]. Вероятно, цунами могло достигнуть баренцевоморского побережья Кольского полуострова и оставить свой след в разрезе донных осадков исследованного озера.

По интерполяции данных о положении береговой линии моря из смежных районов [Snyder et al., 1997; Corner et al., 2001] установлено, что во время цунами Сторегга береговая линия моря в районе исследования располагалась на отметке около 18 м н. у. м. Это хорошо согласуется с тем, что после цунами в котловине изученного озера установились солоноватоводные условия осадконакопления. Повторное присоединение изученной котловины к морскому бассейну связано с трансгрессией Та-

пес, которая проходила в пределах Северной Атлантики в интервале 8500–6500 ^{14}C л. н. (9500–7400 л. н. (кал.)) [Svendsen, Mangerud, 1990; Snyder et al., 1997; Corner et al., 1999, 2001 и др.].

Во время трансгрессии Тапес изучаемая территория представляла собой дно небольшой бухты, глубоко вдающейся внутрь континента, закрытой и защищенной от волноприбойной деятельности морских вод. В этот период происходило формирование слоистого горизонта осадков, представленного гиттией (слой 4). Уровень моря во время трансгрессии Тапес поднялся примерно до современной высотной отметки 22 м н. у. м., т. к. приблизительно на этом уровне на побережье отчетливо выделяются береговые образования, одно из которых расположено на западном берегу оз. Секретарского (рис. 1, Б).

Выше слоистой гиттии (слой 4) в изученном разрезе отмечается прослой песка (слой 5), который покрывается смесью гиттии, песка и растительных остатков (слой 6). Формирование этих отложений происходило вследствие изменения гидродинамических условий в водоеме. При этом притока морской воды в пределы изученной котловины не было, на что указывает отсутствие в данном слое сильных изменений в характеристике диатомовой флоры (рис. 2). Возможно, в районе исследования произошло локальное сейсмическое событие, которое могло вызвать волны в пределах котловины, в результате чего были размывы и переотложены осадки прибрежной зоны и сформированы отложения слоев 5 и 6. Они перекрыты осадками пресноводного озера (слой 7). Можно предположить, что во время проявления второго локального события (цунами?), случившегося, по данным датирования, после 7410 ± 120 ^{14}C л. н. (8420–7995 л. н. (кал.)), озерная котловина уже была изолирована от морского бассейна. Береговая линия моря располагалась ниже порога стока из озера (на высоте около 16 м н. у. м). После данного события в изученной котловине в условиях пресноводного озера происходит постепенное накопление органических осадков (слой 7).

Заключение

На основании комплексного исследования донных отложений из озерной котловины, расположенной в районе пос. Териберка, было установлено, что:

– после освобождения ото льда изучаемая территория покрывалась морскими водами. В конце плейстоцена и в начале голоце-

на происходила регрессия береговой линии Баренцева моря, около 9960 ± 150 л. н. (11530 ± 250 л. н. (кал.)) уровень моря в районе исследования опустился ниже современной высотной отметки 17 м н. у. м. После 9240 ± 140 л. н. (10400 л. н. (кал.)) в результате трансгрессии Тапес произошло повторное проникновение морских вод в пределы котловины озера;

– в разрезе донных отложений изученного озера обнаружены два интервала, которые были сформированы в результате резкого изменения гидродинамики водоема. Первый интервал представлен смесью песка, гиттии и растительных остатков; осадки залегают с эрозионным несогласием на нижележащих отложениях и характеризуются резким увеличением морских видов диатомовых. На основании данных радиоуглеродного датирования, эти отложения были сформированы в 10400 – 8200 л. н. (кал.) и их происхождение, возможно, связано с цунами Сторегга. Во время формирования указанных цунамигенных осадков береговая линия моря находилась немного выше порога стока озера (примерно на современной отметке 18 м н. у. м.). Второй интервал, представленный прослоем песка в гиттии, сформировался после 8220 л. н. (кал.) в результате волнения (возможно, цунами), вызванного локальным сейсмическим событием.

Авторы выражают благодарность сотрудникам ГИ КНЦ РАН С. В. Мудруку и Д. А. Габову, помогавшим в проведении полевых работ.

Работа выполнена при поддержке научных проектов РФФИ № 16-05-00311-а и № 17-305-50019-мол_нр.

Литература

Барина С. С., Медведева Л. А., Анисимова О. В. Биоразнообразие водорослей-индикаторов окружающей среды. Тель-Авив: Piles Studio, 2006. 498 с.

Геологическая карта Кольского региона (северо-восточная часть Балтийского щита) масштаба 1:500 000 / Гл. ред. Ф. П. Митрофанов. Апатиты: ГИ КНЦ РАН, 1996. 3 л.

Давыдова Н. Н. Диатомовые водоросли – индикаторы природных условий водоемов в голоцене. Л.: Наука, 1985. 243 с.

Диатомовые водоросли СССР (ископаемые и современные). Л.: Наука, 1974. Т. I. 403 с.

Колька В. В., Евзеров В. Я., Мёллер Я. Й., Корнер Г. Д. Перемещение уровня моря в позднем плейстоцене – голоцене и стратиграфия донных осадков изолированных озер на южном берегу Кольского полуострова, в районе поселка Умба // Изв. РАН. Сер. геогр. 2013. № 1. С. 73–88.

Лосева Э. И. Атлас морских плейстоценовых диатомей европейского Северо-Востока СССР. СПб.: Наука, 2000. 211 с.

Сапелко Т. В., Колька В. В., Евзеров В. Я. Динамика природной среды и развития озер в позднем плейстоцене и голоцене на южном берегу Кольского полуострова (район пос. Умба) // Труды КарНЦ РАН. 2015. № 5. С. 60–69. doi: 10.17076/lim55

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

Толстобров Д. С., Колька В. В., Толстоброва А. Н., Корсакова О. П. Опыт хронологической корреляции береговых форм рельефа голоценового моря в депрессии реки Тулома и Кольском заливе // Вестник МГТУ. 2016. Т. 19, № 1/1. С. 142–150.

An Atlas of British Diatoms / Ed. P. A. Sims. Bristol, 1996. 602 p.

Bondevik S., Løvholt F., Harbitz C., Mangerud J., Dawson A., Svendsen J. I. The Storegga Slide tsunami-comparing field observations with numerical simulations // Marine and Petroleum Geology. 2005. Vol. 22, no. 1. P. 195–208. doi: 10.1016/j.marpetgeo.2004.10.003

Bondevik S., Svendsen J. I., Mangerud J. Tsunami sedimentary facies deposited by the Storegga tsunami in shallow marine basins and coastal lakes, western Norway // Sedimentology. 1997. Vol. 44. P. 1115–1131.

Bronk Ramsey C. OxCal 4.3.2 [Электронный ресурс]. 2018. URL: <http://c14.arch.ox.ac.uk>. (дата обращения: 02.03.2018).

Corner G. D., Yevzerov V. Ya., Kolka V. V., Moller J. J. Isolation basin stratigraphy and Holocene relative sea-level change at the Norwegian-Russian border north of Nikel, northwest Russia // Boreas. 1999. Vol. 28, no. 1. P. 146–166. doi: 10.1111/j.1502-3885.1999.tb00211.x

Corner G. D., Kolka V. V., Yevzerov V. Ya., Moller J. J. Postglacial relative sea-level change and stratigraphy of raised coastal basins on Kola Peninsula, northwest Russia // Global and Planetary Change. 2001. Vol. 31. P. 153–175. doi: 10.1016/S0921-8181(01)00118-7

Grönlund T., Kauppila T. Holocene history of Lake Soldatskoje (Kola Peninsula, Russia) inferred from sedimentary diatom assemblages // Boreas. 2002. Vol. 31. P. 273–284. doi: 10.1111/j.1502-3885.2002.tb01073.x

Kemp P., Moernaut J., Van Daele M., Vandorpe W., Pino M., Urrutia R., de Batist W. Coastal lake sediments reveal 5500 years of tsunami history in south central Chile // Quat. Sci. Rev. 2017. Vol. 161. P. 99–116. doi: 10.1016/j.quascirev.2017.02.018

Krammer K. Cymbella // Diatoms of Europe: Diatoms of the European Inland Waters and Comparable Habitats / Ed. H. Lange-Bertalot. Vol. 3. Ruggell: A. R. G. Gantner Verlag K. G., 2002. 584 p.

Krammer K. Cymboplectra, Delicata, Navicymbula, Gomphocymbellopsis, Afrocymbula Supplements to Cymbelloid Taxa // Diatoms of Europe: Diatoms of the European Inland Waters and Comparable Habitats / Ed. H. Lange-Bertalot. Vol. 4. Ruggell: A. R. G. Gantner Verlag K. G., 2003. 530 p.

Krammer K. The Genus Pinnularia // Diatoms of Europe: Diatoms of the European Inland Waters and Compa-

nable Habitats / Ed. H. Lange-Bertalot. Vol. 1. Ruggell: A. R. G. Gantner Verlag K. G., 2000. 703 p.

Krammer K., Lange-Bertalot H. Bacillariophyceae // In Susswasserflora von Mitteleuropa 2/1–4. Stuttgart; Jena: Gustav Fischer Verlag, 1986–1991.

Kremenetski C. V., Patyk-Kara N. G. Holocene vegetation dynamics of the southeast Kola Peninsula, Russia. The Holocene. 1997. Vol. 7. P. 473–479. doi: 10.1177/095968369700700409

Lange-Bertalot H. Navicula Sensu-Stricto, 10 Genera Separated from Navicula Sensu Lato, Frustulia // Diatoms of Europe: Diatoms of the European Inland Waters and Comparable Habitats / Ed. H. Lange-Bertalot. Vol. 2. Ruggell: A. R. G. Gantner Verlag K. G., 2001. 526 p.

Løvholt F., Bondevik S., Laberg J. S., Kim J., Boylan N. Some giant submarine landslides do not produce large tsunamis // Geophysical Research Letters. 2017. Vol. 44, no. 16. P. 8463–8472. doi: 10.1002/2017GL074062

Reimer P. J., Bard E., Bayliss A., Beck J. W., Blackwell P. G., Bronk Ramsey C., Grootes P. M., Guilderson T. P., Haffidason H., Hajdas I., Hatt C., Heaton T. J., Hoffmann D. L., Hogg A. G., Hughen K. A., Kaiser K. F., Kromer B., Manning S. W., Niu M., Reimer R. W., Richards D. A., Scott E. M., Southon J. R., Staff R. A., Turney C. S. M., van der Plicht J. IntCal13 and Marine13 Radiocarbon Age Calibration Curves 0–50,000 Years cal BP. // Radiocarbon. 2013. Vol. 55, no. 4. P. 1869–1887. doi: 10.2458/azu_js_rc.55.16947

References

Barinova S. S., Medvedeva L. A., Anisimova O. V. Bioraznoobrazie vodoroslei-indikatorov okruzhayushchei sredy [Diversity of algal indicators in environmental assessment]. Tel' -Aviv: Piles Studio, 2006. 498 p.

Davydova N. N. Diatomovye vodorosli – indikatorы prirodnykh usloviy vodoemov v golotsene [Diatoms – indicators of environmental conditions of water bodies in the Holocene]. Leningrad: Nauka, 1985. 243 p.

Diatomovye vodorosli SSSR (iskopaemye i sovremennye) [Diatoms of the USSR (fossil and recent)]. Leningrad: Nauka, 1974. Vol. I. 403 p.

Geologicheskaya karta Kol'skogo regiona (severovostochnaya chast' Baltiiskogo shchita) masshtaba 1:500 000 [Geological map of the Kola region (northeastern part of the Baltic Shield), scale 1:500 000]. Apacity: GI KNTs RAN, 1996.

Kol'ka V. V., Evzerov V. Ya., Moller Ya. Y., Korner G. D. Peremeshchenie urovnya morya v pozdnem pleistotsene – golotsene i stratigrafiya donnykh osadkov izolirovannykh ozer na yuzhnom beregu Kol'skogo poluoostrova, v raione poselka Umba [The Late Weichselian and Holocene relative sea-level change and isolation basin stratigraphy at the Umba settlement, southern coast of the Kola Peninsula]. Izvestiya RAN. Ser. geogr. [Bull. RAS. Geographical Ser.]. 2013. No. 1. P. 73–88.

Loseva E. I. Atlas morskikh pleistotsenovykh diatomei evropeiskogo Severo-Vostoka SSSR [Atlas of Pleistocene marine diatoms in the European North-East of the USSR]. SPb.: Nauka, 2000. 211 p.

Romundset A., Bondevik S. Propagation of the Storegga tsunami into ice-free lakes along the southern shores of the Barents Sea // J. Quat. Sci. 2011. Vol. 26, no. 5. P. 457–462. doi: 10.1002/jqs.1511

Smith D. E., Shi S., Cullingford R. A., Dawson A. G., Dawson S., Firth C. R., Foster I. D. L., Fretwell P. T., Haggart B. A., Holloway L. K., Long D. The Holocene Storegga Slide tsunami in the United Kingdom // Quat. Sci. Rev. 2004. Vol. 23, no. 23. P. 2291–2321. doi: 10.1016/j.quascirev.2004.04.001

Snyder J. A., Forman S. L., Mode W. N., Tarasov G. A. Postglacial relative sea-level history: sediment and diatom records of emerged coastal lakes, north-central Kola Peninsula, Russia // Boreas. 1997. Vol. 26. P. 329–346. doi: 10.1111/j.1502–3885.1996.tb00834.x

Svendsen J. I., Mangerud J. Sea-level changes and pollen stratigraphy on the outer coast of Sunnmøre, western Norway // Norsk Geologisk Tidsskrift. 1990. Vol. 70. P. 111–134.

Tynni R. Über Finnlands rezente und subfossile Diatomeen, VIII–XI / Geological survey of Finland. 1975. Bull. 274. P. 1–55; 1976. Bull. 284. P. 1–37; 1978. Bull. 296. P. 1–55; 1980. Bull. 312. P. 1–93.

Wagner B., Bennike O., Klug M., Cremer H. First indication of Storegga tsunami deposits from East Greenland // J. Quat. Sci. 2006. Vol. 22. P. 321–325. doi: 10.1002/jqs.1064

Поступила в редакцию 15.05.2018

Sapelko T. V., Kol'ka V. V., Evzerov V. Ya. Dinamika prirodnoi sredy i razvitiya ozer v pozdnem pleistotsene i golotsene na yuzhnom beregu Kol'skogo poluoostrova (raion pos. Umba) [Paleoenvironmental changes and the development of lakes in the Late Pleistocene and Holocene on the Kola Peninsula southern coast (near the village of Umba)]. Trudy KarNTs RAN [Trans. KarRC RAS]. 2015. No. 5. P. 60–69. doi: 10.17076/lim55

Subetto D. A. Donnye otlozheniya ozer: Paleolimnologicheskie rekonstruktsii [Lake sediments: paleolimnological reconstructions]. St. Petersburg: A. Herzen Russian State Pedagogical University Publ., 2009. 339 p.

Tolstobrov D. S., Kol'ka V. V., Tolstobrova A. N., Korsakova O. P. Opyt khronologicheskoi korrelyatsii beregovykh form rel'efa golotsenovogo morya v depressii reki Tuloma i Kol'skom zalive [Experience of the chronological correlation of the Holocene sea coastal landforms in the Tuloma River valley and the Kola Bay]. Vestnik MGTU [Proceed. of the Murmansk St. Tech. Univ.]. 2016. Vol. 19, no. 1/1. P. 142–150.

An Atlas of British Diatoms. Bristol, 1996. 602 p.

Bondevik S., Løvholt F., Harbitz C., Mangerud J., Dawson A., Svendsen J. I. The Storegga Slide tsunami-comparing field observations with numerical simulations. Mar. Petrol. Geol. 2005. Vol. 22, no. 1. P. 195–208. doi: 10.1016/j.marpetgeo.2004.10.003

Bondevik S., Svendsen J. I., Mangerud J. Tsunami sedimentary facies deposited by the Storegga tsunami

in shallow marine basins and coastal lakes, western Norway. *Sedimentology*. 1997. Vol. 44. P. 1115–1131.

Bronk Ramsey C. OxCal 4.3.2. 2018. URL: <http://c14.arch.ox.ac.uk> (accessed: 02.03.2018).

Corner G. D., Yevzerov V. Ya., Kolka V. V., Moller J. J. Isolation basin stratigraphy and Holocene relative sea-level change at the Norwegian-Russian border north of Nikel, northwest Russia. *Boreas*. 1999. Vol. 28, no. 1. P. 146–166. doi: 10.1111/j.1502-3885.1999.tb00211.x

Corner G. D., Kolka V. V., Yevzerov V. Ya., Moller J. J. Postglacial relative sea-level change and stratigraphy of raised coastal basins on Kola Peninsula, northwest Russia. *Global and Planetary Change*. 2001. Vol. 31. P. 153–175. doi: 10.1016/S0921-8181(01)00118-7

Gronlund T., Kauppila T. Holocene history of Lake Soldatskoje (Kola Peninsula, Russia) inferred from sedimentary diatom assemblages. *Boreas*. 2002. Vol. 31. P. 273–284. doi: 10.1111/j.1502-3885.2002.tb01073.x

Kempf P., Moernaut J., Van Daele M., Vandoorne W., Pino M., Urrutia R., de Batist W. Coastal lake sediments reveal 5500 years of tsunami history in south central Chile. *Quat. Sci. Rev.* 2017. Vol. 161. P. 99–116. doi: 10.1016/j.quascirev.2017.02.018

Krammer K. Cymbella. *Diatoms of Europe: Diatoms of the European Inland Waters and Comparable Habitats*. Vol. 3. Ruggell: A. R. G. Gantner Verlag K. G., 2002. 584 p.

Krammer K. Cymbopleura, Delicata, Navicymbula, Gomphocymbellopsis, Afrocymbula Supplements to Cymbelloid Taxa. *Diatoms of Europe: Diatoms of the European Inland Waters and Comparable Habitats*. Vol. 4. Ruggell: A. R. G. Gantner Verlag K. G., 2003. 530 p.

Krammer K. The Genus Pinnularia. *Diatoms of Europe: Diatoms of the European Inland Waters and Comparable Habitats*. Vol. 1. Ruggell: A. R. G. Gantner Verlag K. G., 2000. 703 p.

Krammer K., Lange-Bertalot H. Bacillariophyceae. In *Susswasserflora von Mitteleuropa* 2/1–4. Stuttgart; Jena: Gustav Fischer Verlag, 1986–1991.

Kremenetski C. V., Patyk-Kara N. G. Holocene vegetation dynamics of the southeast Kola Peninsula, Russia. *The Holocene*. 1997. Vol. 7. P. 473–479. doi: 10.1177/095968369700700409

Lange-Bertalot H. Navicula Sensu-Stricto, 10 Genera Separated from Navicula Sensu Lato, Frustu-

lia. *Diatoms of Europe: Diatoms of the European Inland Waters and Comparable Habitats*. Vol. 2. Ruggell: A. R. G. Gantner Verlag K. G., 2001. 526 p.

Løvholt F., Bondevik S., Laberg J. S., Kim J., Boylan N. Some giant submarine landslides do not produce large tsunamis. *Geophys. Res. Letters*. 2017. Vol. 44, no. 16. P. 8463–8472. doi: 10.1002/2017GL074062

Reimer P. J., Bard E., Bayliss A., Beck J. W., Blackwell P. G., Bronk Ramsey C., Grootes P. M., Guilderson T. P., Haffidason H., Hajdas I., Hatt C., Heaton T. J., Hoffmann D. L., Hogg A. G., Hughen K. A., Kaiser K. F., Kromer B., Manning S. W., Niu M., Reimer R. W., Richards D. A., Scott E. M., Southon J. R., Staff R. A., Turney C. S. M., van der Plicht J. IntCal13 and Marine13 Radiocarbon Age Calibration Curves 0–50,000 Years cal BP. *Radiocarbon*. 2013. Vol. 55, no. 4. P. 1869–1887. doi: 10.2458/azu_js_rc.55.16947

Romundset A., Bondevik S. Propagation of the Storegga tsunami into ice-free lakes along the southern shores of the Barents Sea. *J. Quat. Sci.* 2011. Vol. 26, no. 5. P. 457–462. doi: 10.1002/jqs.1511

Smith D. E., Shi S., Cullingford R. A., Dawson A. G., Dawson S., Firth C. R., Foster I. D. L., Fretwell P. T., Haggart B. A., Holloway L. K., Long D. The Holocene Storegga Slide tsunami in the United Kingdom. *Quat. Sci. Rev.* 2004. Vol. 23, no. 23. P. 2291–2321. doi: 10.1016/j.quascirev.2004.04.001

Snyder J. A., Forman S. L., Mode W. N., Tarasov G. A. Postglacial relative sea-level history: sediment and diatom records of emerged coastal lakes, north-central Kola Peninsula, Russia. *Boreas*. 1997. Vol. 26. P. 329–346. doi: 10.1111/j.1502-3885.1996.tb00834.x

Svendsen J. I., Mangerud J. Sea-level changes and pollen stratigraphy on the outer coast of Sunnmøre, western Norway. *Norsk Geologisk Tidsskrift*. 1990. Vol. 70. P. 111–134.

Tynni R. Über Finnlands rezente und subfossile Diatomeen, VIII–XI. Geological survey of Finland. 1975. Bull. 274. P. 1–55; 1976. Bull. 284. P. 1–37; 1978. Bull. 296. P. 1–55; 1980. Bull. 312. P. 1–93.

Wagner B., Bennike O., Klug M., Cremer H. First indication of Storegga tsunami deposits from East Greenland. *J. Quat. Sci.* 2006. Vol. 22. P. 321–325. doi: 10.1002/jqs.1064

Received May 15, 2018

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Толстобров Дмитрий Сергеевич

младший научный сотрудник
Геологический институт Кольского научного центра РАН
ул. Ферсмана, 14, Апатиты, Мурманская обл., Россия,
184209
эл. почта: tolstobrov@geoksc.apatity.ru
тел.: (81555) 79571

Толстоброва Алена Николаевна

младший научный сотрудник
Геологический институт Кольского научного центра РАН
ул. Ферсмана, 14, Апатиты, Мурманская обл., Россия,
184209
эл. почта: alexeeva@geoksc.apatity.ru

CONTRIBUTORS:

Tolstobrov, Dmitry

Geological Institute, Kola Science Centre,
Russian Academy of Sciences
14 Fersman St., 184209 Apatity, Murmansk Region, Russia
e-mail: tolstobrov@geoksc.apatity.ru
tel.: (81555) 79571

Tolstobrova, Alyona

Geological Institute, Kola Science Centre,
Russian Academy of Sciences
14 Fersman St., 184209 Apatity, Murmansk Region, Russia
e-mail: alexeeva@geoksc.apatity.ru

Колька Василий Васильевич

заведующий лаб., к. г.-м. н.
Геологический институт Кольского научного центра РАН
ул. Ферсмана, 14, Апатиты, Мурманская обл., Россия,
184209

доцент
Апатитский филиал МГТУ, кафедра геологии и полезных
ископаемых
ул. Ферсмана, 50а, Апатиты, Мурманская обл., Россия,
184209
эл. почта: kolka@geoksc.apatity.ru

Корсакова Ольга Павловна

старший научный сотрудник, к. г. н.
Геологический институт Кольского научного центра РАН
ул. Ферсмана, 14, Апатиты, Мурманская обл., Россия,
184209

доцент
Апатитский филиал МГТУ, кафедра геологии и полезных
ископаемых
ул. Ферсмана, 50а, Апатиты, Мурманская обл., Россия,
184209
эл. почта: korsak@geoksc.apatity.ru

Субетто Дмитрий Александрович

ведущий научный сотрудник, д. г. н.
Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН,
Федеральный исследовательский центр
«Карельский научный центр РАН»
пр. А. Невского 50, Петрозаводск, Россия, 185030

заведующий каф. физической географии
и природопользования
Российский государственный педагогический университет
им. А. И. Герцена
наб. реки Мойки, 48, корп. 12, Санкт-Петербург, Россия,
191186
эл. почта: subetto@mail.ru

Kolka, Vasily

Geological Institute, Kola Science Centre,
Russian Academy of Sciences
14 Fersman St., 184209 Apatity, Murmansk Region, Russia

Murmansk State Technical University Apatity Branch
50a Fersman St., 184209 Apatity, Murmansk Region, Russia
e-mail: kolka@geoksc.apatity.ru

Korsakova, Olga

Geological Institute, Kola Science Centre,
Russian Academy of Sciences
14 Fersman St., 184209 Apatity, Murmansk Region, Russia

Murmansk State Technical University Apatity Branch
50a Fersman St., 184209 Apatity, Murmansk Region, Russia
e-mail: korsak@geoksc.apatity.ru

Subetto, Dmitry

Northern Water Problems Institute, Karelian Research Centre,
Russian Academy of Sciences
50 Al. Nevsky Pr., 185030 Petrozavodsk, Russia,

Herzen State Pedagogical University of Russia
unit 12, 48 Moika Nab., 191186 Saint-Petersburg, Russia
e-mail: subetto@mail.ru

УДК 551.8

ИЗМЕНЕНИЯ УРОВНЯ ОНЕЖСКОГО ОЗЕРА В ПОЗДНЕ- И ПОСЛЕЛЕДНИКОВОЕ ВРЕМЯ ПО ДАННЫМ ИЗУЧЕНИЯ РАЗРЕЗА ОЗЕРНО-БОЛОТНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ОСТРОВА БОЛЬШОГО КЛИМЕНЕЦКОГО

А. В. Лудикова, Д. Д. Кузнецов

Институт озероведения РАН, Санкт-Петербург, Россия

Изложены результаты лито-, хроно- и биостратиграфического изучения разреза озерно-болотных отложений острова Большого Клименецкого, крупнейшего острова архипелага Кижские шхеры, расположенного в северной части Онежского озера. Выявлены изменения обстановок осадконакопления, обусловленные изменениями уровня Онежского озера в поздне- и послеледниковое время. Начальный этап осадконакопления связан с существованием в онежской котловине приледникового бассейна – Онежского приледникового озера (ОПО), уровень которого превышал в районе исследования 80 м. На дне водоема происходило накопление сезонно-слоистых осадков. Дефицит биогенных элементов и низкая прозрачность водной толщи ОПО лимитировали развитие водной биоты. Регрессии ОПО, имевшей место ок. 11 300 л. н., соответствует начало накопления вскрытых в разрезе микрослоистых глин. Падение уровня Онежского озера, происходившее до ~6500 л. н., предположительно в раннем голоцене, привело к размыву позднеплейстоценовых – раннеголоценовых отложений. Впоследствии в районе исследования установились мелководные прибрежные условия с активной гидродинамикой, благоприятствовавшие накоплению песчаных осадков и развитию бентосных диатомей. В результате уменьшения волноприбойной активности и, возможно, некоторого повышения уровня Онежского озера вследствие увеличения общей увлажненности климата в среднем голоцене началось накопление алевритовых осадков, характеризующихся ростом содержания планктонных диатомей. При этом ~7000 л. н. уровень Онежского озера в районе исследования не превышал 40 м. В результате продолжающейся регрессии ~6500 л. н. уровень Онежского озера снизился до ~36–37 м, что привело к дальнейшему обмелению, зарастанию и постепенной изоляции залива, в котором накапливались органогенные осадки с преобладанием диатомей-обрастателей. Приблизительно 6100 л. н. уровень Онежского озера упал ниже 36 м, в результате чего мелководный залив в районе исследования полностью изолировался от его акватории, а в его котловине началось торфонакопление.

Ключевые слова: Онежское озеро; донные отложения; изменения уровня; литостратиграфия; диатомовые водоросли; позднеледниковье; голоцен.

A. V. Ludikova, D. D. Kuznetsov. LAKE ONEGO LEVEL CHANGES IN THE LATE AND POSTGLACIAL TIMES AS INFERRED FROM THE STUDY OF THE SEDIMENT SEQUENCE ON BOLSHOY KLIMENETSKY ISLAND

The paper presents and discusses the results of the lithological, chronological and biostratigraphic study of the sediment sequence on Bolshoy Klimenetsky Island, the largest island within the Kizhi Archipelago. Inferred changes in sedimentation environments

are related to the lake-level changes of Lake Onego in the Late and Postglacial times. At the earliest stage, the sedimentation took place in the Onego Ice Lake, when the lake level exceeded 80 m at the study site. Seasonally laminated clays accumulated at the bottom of the ice lake. Diatoms were substantially limited in both essential nutrients and light due to increased water turbidity. With the regression of the Onego Ice Lake ca. 11300 yrs BP the formation of micro-laminated clays started. The Lake Onego level drop prior to ~6500 yrs BP, presumably at the Early Holocene, resulted in the erosion of the older sediments. This was followed by the establishment of shallow-water coastal environments favoring the accumulation of sandy sediments and flourishing of benthic diatoms. At the following stage, low-energy environments gradually formed as a result of decreased hydrodynamic action and possibly some water-level rise due to increased climate humidity in the mid-Holocene. Silty sediments with a higher proportion of planktonic diatoms accumulated at the small shallow bay that existed at the study site. ~7000 yrs BP the Lake Onego level was below ~40 m. As the regression proceeded, ~6500 yrs BP the Lake Onego level dropped to ~36–37 m, and organic sedimentation started in the sheltered bay, where epiphytic diatoms prevailed. ~6100 yrs BP the Lake Onego level dropped further to below ~36 m, resulting in the isolation of the study site and the onset of peat formation.

Key words: Lake Onego; lake sediments; lake-level changes; lithostratigraphy; diatoms; Late Glacial; Holocene.

Введение

Онежское озеро является вторым по величине после Ладожского водоемом европейской части России. Его площадь составляет 9682 кв. км (без островов), площадь водосбора – 56500 кв. км. Объем водной массы Онежского озера равен 291,7 куб. км, средняя глубина составляет 30 м, тогда как максимальная достигает 120 м [Растительный..., 1971; Семенович, 1973]. Уровень водного зеркала находится на отметке 33 м над уровнем моря. Северная часть озера характеризуется сильной изрезанностью береговой линии, наличием большого числа островов. Для южной части характерны сглаженные очертания побережья и слабая расчлененность рельефа [Онежское..., 2010].

Возникшее в позднеледниковое время, Онежское озеро в ходе своей дальнейшей истории неоднократно испытывало значительные изменения уровня. На ранних этапах развития (поздний плейстоцен – ранний голоцен) масштабные регрессии были обусловлены изменениями положения и высотной отметки порога стока [Демидов, 2006]. В голоцене уровень озера менялся под воздействием климатических факторов, в результате гляциоизостатических и неотектонических движений земной коры [Девятова, 1986; Saarnisto, Vuorela, 2007].

Изменения уровня Онежского озера, в свою очередь, оказывали влияние на развитие береговой зоны (формирование террас), а также гидросети, растительности и динамику ландшафтов на водосборе. В ходе трансгрессий происходило затопление прибрежных низинных территорий, подъем уровня местного ба-

зиса эрозии приводил к подпруживанию стока рек-притоков, повышению уровня питающих их малых водоемов, подъему уровня грунтовых вод, развитию процессов заболачивания. Регрессивные этапы сопровождались осушением ранее затопленных территорий, изоляцией бывших заливов, активизацией эрозионных процессов и т. п.

Реконструкции изменений уровня Онежского озера осложняются разнонаправленными тектоническими движениями в северной и южной частях котловины, а также наличием локальных проявлений неотектоники. В результате разновозрастные древние береговые линии для разных участков побережья в настоящее время прослеживаются на различных абсолютных отметках [Бискэ и др., 1971]. На погружение южной части котловины указывали уже результаты наиболее ранних работ, посвященных изучению изменений уровня Онежского озера [Марков и др., 1934]. На основании изучения геоморфологического и геологического строения южного побережья было показано, что в атлантическом периоде уровень озера в указанном районе был ниже современных отметок, тогда как в суббореальное и субатлантическое время имел место его подъем [Марков и др., 1934].

В дальнейшем были выполнены реконструкции изменения положения береговой линии на основе корреляции высотных отметок разновозрастных археологических памятников [Панкрушев, 1984]. Кроме того, результаты геолого-геоморфологического и палинологического изучения ключевых участков, расположенных в северо-западной, северо-восточной и вос-

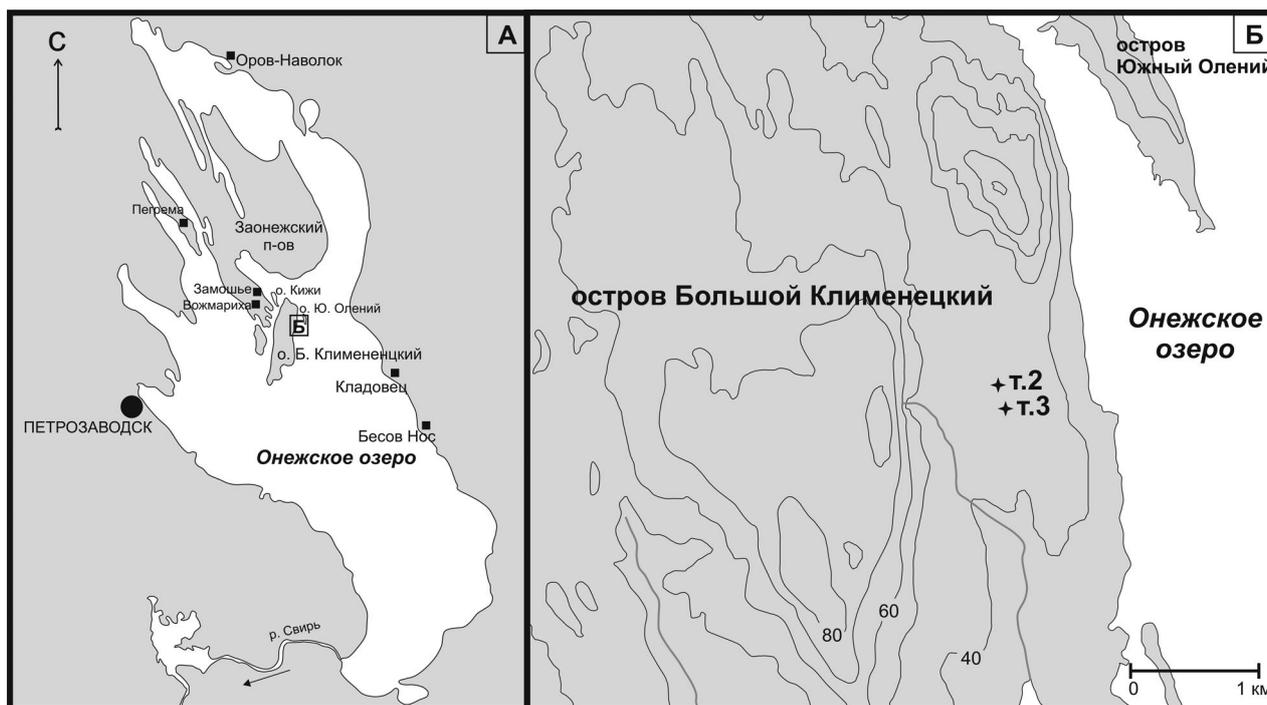


Рис. 1. Местоположение района исследования. А – Онежское озеро с островом Большим Клименецким (черными квадратами обозначены объекты, упоминающиеся в тексте); Б – местонахождение точек пробоотбора
 Fig. 1. Location of the studied area. А – Lake Onego with Bolshoy Klimenetsky Island (black squares show the objects mentioned in the paper); Б – sampling sites

точной частью побережья Онежского озера, позволили выявить чередование трансгрессивных и регрессивных фаз на фоне общего снижения уровня озера в послеледниковое время [Девятова, 1984, 1986].

Разрезы озерно-болотных отложений, как правило, содержат более полную литологическую и биостратиграфическую летопись изменений уровня Онежского озера в прошлом по сравнению с разрезами террас и археологических стоянок. Поэтому их комплексное изучение позволяет восстановить последовательность трансгрессивных и регрессивных стадий послеледниковой истории озера, а также датировать смены седиментационных обстановок, обусловленных перемещением древней береговой линии. К настоящему времени подобные исследования были выполнены в северной части Повенецкого залива [Saarnisto, Vuorela, 2007], на Заонежском полуострове [Елина, Филимонова, 1999; Демидов и др., 2001; Шелехова, Субетто, 2016], в северо-западном и южном Прионежье [Шелехова и др., 2005, Шелехова, 2007].

В настоящей статье приведены результаты исследования разреза озерно-болотных отложений острова Большого Клименецкого с целью реконструкции изменения уровня Онежского озера в поздне- и послеледниковое время.

Материалы и методы

Остров Большой Клименецкий, являющийся крупнейшим островом Онежского озера (его площадь 48 кв. км) [Лукашов, 1999], расположен к югу от Заонежского полуострова, между заливами Большое и Малое Онего, и входит в группу островов Кижских шхер. Исследован разрез озерно-болотных отложений, расположенный в восточной части острова Большого Клименецкого на террасовидной площадке, вытянутой с юга на север, протяженностью ~ 2 км. Площадка ограничена 40-метровой горизонталью, абсолютная высота поверхности составляет ~ 40–40,6 м (рис. 1). С запада к ней примыкает крутой уступ высотой до 60 м, с востока она пологой ступенью (не всегда отчетливо выраженной в рельефе) спускается к заболоченной низине.

Пробоотбор осуществлялся с помощью торфяного бура с длиной рабочей части 1 м. Были отобраны две колонки озерно-болотных осадков – в точке 2 (КЛ 2, 62°1'22,3" с. ш. 35°20'44,7" в. д.) и точке 3 (КЛ 3), расположенной ~ в 100 м к югу от точки 2, мощностью 5,1 и 7 м соответственно (рис. 1). После детального литологического описания производился разбор кернов с разрешением 5 см без пропусков, с уменьшением интервала пробоотбора вблизи стратиграфических границ.

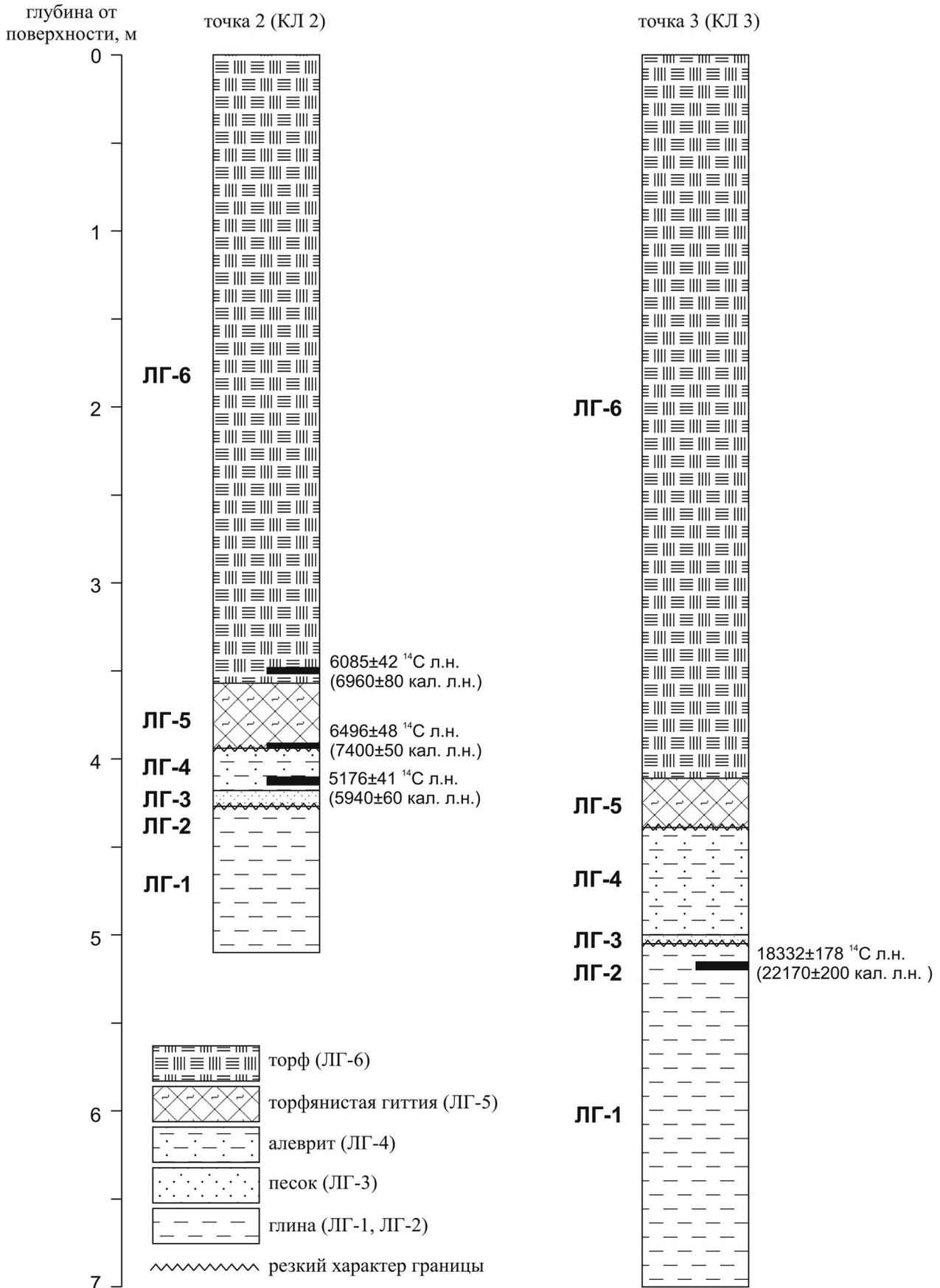


Рис. 2. Литология и возраст озерно-болотных отложений острова Большого Клименецкого

Fig. 2. Lithology and age of lake-bog sediments of Bolshoy Klimentetsky Island

Для радиоуглеродного датирования были отобраны 4 пробы. Определение абсолютного возраста донных осадков осуществлялось методом акселерированной масс-спектрометрии (AMS) в радиоуглеродной лаборатории университета г. Хельсинки.

Диатомовый анализ выполнен для колонки 2, пробы из торфа не анализировались, за исключением нижних 10 см. Обработка проб для диатомового анализа выполнялась по стандартной методике [Давыдова, 1985]. Для идентификации видов применялись определители [Krammer, Lange-Bertalot, 1986–1991]; использована приведенная в них номенклатура диатомовых водорослей. Параллельно со створками диатомовых водорослей велся подсчет других кремнистых микрофоссилий – цист *Chrysophyceae* (золотистых водорослей) и спикул губок. Были рассчитаны концентрации всех групп кремнистых микрофоссилий в 1 г сухого осадка [Давыдова, 1985].

Результаты и обсуждение

Литостратиграфическая корреляция отложений колонок КЛ 2 и КЛ 3 (рис. 2) дала возможность выделить 6 литостратиграфических горизонтов (ЛГ). Нижняя часть разреза обеих колонок представлена слоистой коричневатой-серой вязкой глиной (ЛГ-1). В колонке КЛ 2 отмечены голубоватые прослои мощностью до 3 мм, в колонке КЛ 3 наблюдается чередование более темных (до 2 мм) и более светлых (до 4–5 мм) слоев, утончающихся вверх по разрезу. Выше слоистая коричневатая-серая глина постепенно переходит в голубовато-серую микрослоистую глину (ЛГ-2) мощностью 0,4 м в колонке КЛ 2 и 0,3 м в колонке КЛ 3. Из данного горизонта (глубина 5,20–5,15 м от дневной поверхности) получена наиболее древняя датировка – 18332 ± 178 л. н. (Hela-2073). Отложения ЛГ-3 мощностью 0,1 м залегают на микрослоистой глине с четким эрозионным контактом. В колонке КЛ 2 они представлены мелкозернистым песком с отдельными зернами крупнозернистого песка и плохо окатанного гравия, в колонке КЛ 3 – разнозернистым песком с зернами гравия и единичной мелкой галькой. В обеих колонках песчаные отложения плавно переходят в темно-серый слабо опесчаненный алеврит с мелкими включениями органических остатков (ЛГ-4), мощность которого составляет 0,23 и 0,70 м соответственно. Возраст органики из данного слоя (4,15–4,10 м) составил 5176 ± 41 л. н. (Hela-2072). Выше с резкой границей отмечена светло-коричневая гиттия, более однородная в нижней части,

с постепенным увеличением содержания макроостатков (ЛГ-5), переходящая в торфянистую гиттию. Мощность данного горизонта в колонке КЛ 2 – 0,36 м, в колонке КЛ 3 – 0,3 м. Возраст подошвы гиттии (3,93–3,90 м от поверхности) составил 6496 ± 48 л. н. (Hela-2071). Выше залегает средне-, а в верхней части толщи плохо разложившийся торф (ЛГ-6), в том числе с древесными остатками, мощностью 3,5–4,0 м (абсолютная отметка подошвы на глубине ~ 36,0–36,5 м н. у. м.). Из нижней границы торфянистой толщи (3,52–3,48 м) получена датировка 6085 ± 42 л. н. (Hela-2070).

По результатам диатомового анализа выделено три диатомовые зоны (ДЗ), границы которых в основном совпадают с границами литостратиграфических горизонтов (рис. 3). В ДЗ-1 (5,10–4,26 м, ЛГ-1 и -2) отмечены единичные фрагменты и еще реже целые створки пресноводных и переотложенных морских диатомей.

Также единично отмечаются другие кремнистые микрофоссилии – цисты *Chrysophyceae* и спикулы губок.

В ДЗ-2 (4,26–3,93 м, ЛГ-3 и -4) содержание створок резко возрастает до 850 тыс. в 1 г сухого осадка в песчаных отложениях (ЛГ-3) и затем до 2,4 млн в алеврите (ЛГ-4). В нижней части зоны отмечены исключительно диатомеи бентоса, наиболее многочисленными из которых являются обрастатели *Achnanthes joursacense* Hérib., *A. oestrupii* (Cl.-E.) Hust., *Fragilaria* spp. и *Opephora martyi* Hérib. и донные *Ellerbeckia arenaria* (Moore) Crawford, *Navicula aboensis* (Cl.) Hust., *N. jentzschii* Grun. и *N. scutelloides* W. Sm (рис. 3). Эти виды характерны для диатомовых комплексов Онежского озера позднего и послеледникового времени [Давыдова, 1985; История..., 1990]. Выше по разрезу отмечается возрастание численности планктонных диатомей за счет появления в составе диатомовых комплексов *Aulacoseira islandica* (O. Müll.) Sim., однако бентосные виды по-прежнему доминируют. Увеличивается численность донной *N. aboensis*. Большинство из перечисленных видов являются алкалифилами по отношению к pH, за исключением *A. islandica* и *A. oestrupii*, предпочитающих нейтральную реакцию среды, алкалибионтной *N. scutelloides*, а также *N. aboensis*, для которой отношение к pH не установлено. Что касается трофности, то наиболее характерны для ДЗ-2 виды являются преимущественно обитателями олиго- и мезотрофных водоемов. Концентрации цист *Chrysophyceae* и спикул губок невысоки и не превышают нескольких десятков тысяч в 1 г сухого осадка.

ДЗ-3 (3,93–3,60 м, ЛГ-5) характеризуется резкой сменой видового состава диатомовых

комплексов (рис. 3). Численность большинства видов, отмечавшихся в значительных количествах в предыдущей зоне (*Achnanthes* spp., *Navicula* spp.), сокращается, и в дальнейшем они практически полностью исчезают из состава диатомовых комплексов. В свою очередь, содержание обрастателей *Fragillaria* spp. возрастает до 70 % и более. Из них особенно многочисленной является *F. construens* (Ehr.) Grun., отмечаются также *F. construens* var. *binodis* (Ehr.) Grun. et var. *venter* (Ehr.) Grun., *F. brevis-triata* Grun., *F. pinnata* Ehr. и др. Указанные виды предпочитают слабощелочную среду и характерны для водоемов с различным уровнем трофности. Кроме того, в составе диатомовых комплексов появляются ранее не отмечавшиеся бентосные виды: нейтрофильная *Cymbella minuta* Huste и алкалифилы *Navicula laterostrata* Huste и *N. schoenfeldii* Huste. Планктонные диатомеи по-прежнему представлены почти исключительно створками *A. islandica*, однако их относительное содержание сокращается по сравнению с предыдущей зоной. С глубины 3,91 м наблюдается резкое увеличение концентрации створок диатомей, достигающей максимальных значений (5,9 млн в 1 г сухого осадка). Однако начиная с глубины 3,82 м содержание створок резко сокращается и у верхней границы зоны не превышает 32 тыс. В составе диатомовых комплексов здесь отмечаются единичные створки планктонной *A. islandica*, обрастателей *Fragillaria* spp., *Cymbella aequalis* W. Sm., *Epithemia adnata* (Kütz.) Bréb. Диатомовая зона ДЗ-3 характеризуется более высоким содержанием, по сравнению с предыдущей зоной, других групп кремнистых микрофоссилий – цист *Chrysophyceae* и спикул губок (до 1,2 млн и 320 тыс. соответственно). В верхней части гиттии, торфянистой гиттии и нижней части торфянистой толщи диатомеи не обнаружены.

Изучение особенностей состава и строения донных осадков и диатомовых комплексов позволило реконструировать основные этапы смены условий осадконакопления, обусловленные изменениями уровня Онежского озера.

Сезонно-слоистый характер отложений наиболее раннего этапа (ЛГ-1 и -2, ДЗ-1) свидетельствует об их аккумуляции в условиях приледникового водоема – Онежского приледникового озера (ОПО), образовавшегося в ходе дегляциации озерной котловины и заполнения ее тальми ледниковыми водами. Цвет ленточных глин в колонках донных отложений самого Онежского озера варьирует от серого до бежево-серого и бежевого [История..., 1990], тогда как коричневатый, бежевый оттенок, характерный для отложений изученного разреза

(ЛГ-1), очевидно обусловлен примесью перемытых красноцветных отложений девона [Курочкина, 1976; Демидов, 2004]. Накапливавшиеся на дне ОПО ленточные глины в настоящее время залегают в основании разрезов донных отложений самого Онежского озера, а также широко распространены в разрезах озерных террас и понижениях рельефа, где они подстилают озерные и болотные отложения в котловинах малых озер. В частности, в районе Кижских шхер и Заонежского полуострова ленточные глины встречаются на отметках до 60–70 м; их выходы известны также в западной части острова Большого Клименецкого [Демидов, 1999].

Практически полное отсутствие створок диатомей в ленточных глинах (ДЗ-1) в целом типично для осадков приледниковых бассейнов. В частности, крайне низкое содержание створок диатомей вплоть до их отсутствия в отдельных горизонтах отмечалось и в колонках донных отложений позднеледниковья Ладожского и Онежского озера [Давыдова, 1976; История..., 1990]. Очевидно, дефицит биогенных элементов, в первую очередь растворенного кремнезема, характерный для талых ледниковых вод, препятствовал массовому развитию диатомей [Лак, 1963; Демидов, Шелехова, 2006]. Кроме того, поступление значительных объемов аллохтонного тонкодисперсного минерального материала также не благоприятствовало развитию и аккумуляции створок диатомовых водорослей, снижая прозрачность водной толщи и ограничивая глубину фотической зоны приповерхностным слоем, а также «разбавляя» их концентрацию в донных осадках.

Первоначально ОПО возникло в низовьях р. Вытегры и современного южного побережья Онежского озера около 13 тыс. л. н. [Демидов, 2006] (здесь и далее – все даты радиоуглеродные). Таким образом, радиоуглеродная датировка ~18300 л. н., полученная из толщи ленточных глин, очевидно, является удрежденной, поскольку в это время в котловине Онежского озера располагалась Онежская ледниковая лопасть [Демидов, 2005]. Береговые линии ОПО в настоящее время прослеживаются в северной части бассейна на абсолютных отметках от 95 м [История..., 1990] до 120–125 м [Бискэ и др., 1971; Демидов, 2006]. Поскольку современные высотные отметки острова Большого Клименецкого в основном не превышают 80 м, можно говорить о том, что в максимальную стадию развития ОПО остров находился под водой.

Постепенное уменьшение ширины лент вверх по разрезу (ЛГ-1), отмечаемое также в колонках донных осадков самого Онежского

озера, является следствием отступления края ледника и сокращения объема поступающего взвешенного материала. В свою очередь, формирование серых микрослоистых глин (ЛГ-2) происходит после масштабной регрессии ОПО, связанной с образованием стока в Беломорскую котловину около 11300 л. н., а затем – в Ладожское озеро через северную часть Онежско-Ладожского перешейка [Демидов, 2006]. В результате уровень ОПО снизился в северной части бассейна с 115–125 до 95 м [Демидов, 2004].

Литологический состав осадков, сформировавшихся в начале следующего этапа (ЛГ-3), свидетельствует о существовании промывного режима, неблагоприятного для аккумуляции тонкого материала и обусловленного активной гидродинамикой в условиях мелководья, что также подтверждается сравнительно низкими значениями концентраций створок диатомовых водорослей. Доминирование бентосных диатомей (ДЗ-2) также указывает на мелководные условия. Началу данного этапа, очевидно, предшествовала масштабная регрессия Онежского озера. В результате была размыта верхняя часть толщи микрослоистых глин и, возможно также, более молодые осадки, в том числе раннеголоценовые гомогенные глины, отмечаемые в других разрезах побережья Онежского озера и накапливавшиеся в озерной котловине после освобождения водосборного бассейна Онежского озера от ледника ~ 10700 л. н. [Шелехова и др., 2005; Демидов, 2006]. Свидетельством размыва является наличие резкого эрозионного контакта глинистых отложений (ЛГ-2) и вышележащих песчаных осадков (ЛГ-3). Инверсионная дата, полученная из залегающего выше алеврита (ЛГ-4, ~5200 л. н.), не дает представления о минимальном возрасте предполагаемой регрессии. Однако датировка, полученная из вышележащих отложений горизонта ЛГ-5 (~6500 л. н.), указывает на то, что падение уровня, вероятно, имело место в раннем – начале среднего голоцена. По данным Э. И. Девятовой [1986], значительное снижение уровня Онежского озера – до 36 м в разрезах на восточном берегу (район археологического памятника Бесов Нос, рис. 1) и до 44–45 м в районе мыса Оров-Наволок (северная часть Повенецкого залива, рис. 1) – наблюдалось на рубеже бореального и атлантического периодов.

Переход от песчаных к алевритовым осадкам (ЛГ-4), сопровождающийся ростом концентрации створок диатомей, свидетельствует об установлении более спокойных гидродинамических условий, благоприятствовавших

аккумуляции тонкого осадочного материала. Преобладание в составе диатомовых комплексов видов, характерных для Онежского озера, и доминирование диатомей бентоса указывают на осадконакопление в условиях небольшого мелководного олиготрофного залива с нейтральной-слабощелочной реакцией среды. Увеличение численности планктонной *A. islandica* – массового представителя диатомового планктона Онежского озера, начиная с позднеледниковья [Давыдова, 1976, 1985] отмечаемое в этот период, также могло быть связано с изменением гидродинамической обстановки. Одной из возможных причин тому могло быть увеличение степени «закрытости», защищенности залива от волноприбойной деятельности. Кроме того, не исключено, что формирование указанной «трансгрессивной» последовательности осадков может свидетельствовать не только об изменении гидродинамических условий, но и о некотором повышении уровня бассейна. Так, Э. И. Девятова указывает на подъем уровня Онежского озера в результате увеличения общей увлажненности климата в первой половине атлантического периода, 7700–6500 л. н. [Девятова, 1986]. Согласно ее данным, в этот период в разрезах отдельных археологических памятников группы Кладовец (восточное побережье Онежского озера, рис. 1) отмечается перекрывание мезолитического культурного слоя, залегающего на отметках 36,5–37,5 м, более молодыми атлантическими осадками. Максимальные отметки уровня озера в районе мыса Бесов Нос (рис. 1) составляют в это время 38,0–38,5 м, а для мыса Оров-Наволок – 47 м н. у. м. [Девятова, 1986]. Данные М. Саарнисто и И. Вуорела также не исключают возможный подъем уровня озера ~ 7500 л. н., в результате чего в районе мыса Оров-Наволок (рис. 1) была сформирована выраженная в современном рельефе древняя береговая линия на отметках ~50 м [Saarnisto, Vuorela, 2007]. Изучение донных отложений озер, расположенных в центральной и северной части Заонежского полуострова, показало, что уровень Онежского озера в атлантическом периоде составлял здесь 48–41 м [Шелехова, Субетто, 2016].

Имеющиеся данные о ближайших к исследуемому разрезу районах позволяют точнее установить положение береговой линии Онежского озера в среднем голоцене, сузив высотный диапазон, обусловленный различиями в скорости и амплитуде гляциоизостатических и неотектонических движений. Так, по данным А. Д. Лукашова, террасы, сформированные в атлантическое время на острове Кижы, рас-

положенном в нескольких километрах к северо-западу от острова Большого Клименецкого, находятся на отметках не менее 42 м [Лукашов, 1999]. Однако археологическая стоянка Вождариха 11 (41 м н. у. м.), расположенная в южной части Заонежского полуострова (рис. 1), на основании особенностей каменного инвентаря была датирована временем 7500–7000 л. н. [Демидов и др., 2001]. Таким образом, уровень Онежского озера уже в этот период не мог превышать 41–40 м. Это подтверждается результатами радиоуглеродного датирования археологического материала мезолитических стоянок Оленеостровская и Южный Олений остров 2, обнаруженных на отметках 40–43 м н. у. м. на Южном Оленьем острове (рис. 1). Возраст находок здесь составил ~6900–7200 л. н. [Мурашкин и др., 2011], из чего следует, что ~7000 л. н. уровень Онежского озера в районе исследования уже находился ниже 40 м, то есть ниже отметки кровли изучаемого разреза.

Следующий этап развития (ЛГ-5 и -6, ДЗ-3) связан с дальнейшим снижением уровня озера и изоляцией залива. Резкий характер контакта между алевритом (ЛГ-4) и гиттией (ЛГ-5) указывает на размыв верхней части алевритового слоя. Существенно изменяется состав диатомовых комплексов: из их состава исчезает большинство бентосных видов, отмечавшихся на предыдущем этапе. Увеличение численности обрастателей рода *Fragilaria* указывает на осадконакопление в условиях активно зарастающего залива с малой глубиной. Полученная нами датировка показывает, что накопление гиттии в разрезе на острове Большом Клименецком началось ~6500 л. н. Учитывая абсолютную отметку подошвы гиттии, уровень Онежского озера в это время, очевидно, был немногим выше ~36–37 м. Таким образом, в этот период происходит отделение залива от Онежского озера, о чем свидетельствует доминирование в составе диатомовых комплексов *Fragilaria* spp., способных быстро адаптироваться к меняющимся условиям среды и потому массово развивающихся в ходе изоляции от морских и крупных пресноводных бассейнов [Stabell, 1985; Shala et al., 2014]. Присутствие в составе диатомовых комплексов планктонной *A. islandica* указывает на то, что воды Онежского озера по-прежнему проникали в залив, однако их поступление было крайне ограниченным. Уменьшение содержания створок диатомей в гиттии указывает на дальнейшее обмеление и зарастание залива и, как следствие, увеличение скорости осадконакопления в результате поступления все больших объемов грубого растительного детрита.

Причиной резкой смены условий осадконакопления, о чем свидетельствует эрозионный контакт между ЛГ-4 и ЛГ-5, очевидно, стала продолжавшаяся регрессия Онежского озера. Возможно, на данном этапе ее скорость несколько увеличилась, на что указывают данные Э. И. Девятовой, фиксирующей в середине атлантического периода (~6500 л. н.) в разрезах террас и береговых обнажений значительное снижение уровня водоема до 36 м (мыс Бесов Нос) и 46–44 м (мыс Оров-Наволоок, рис. 1) [Девятова, 1986]. При этом смена минерального осадконакопления органогенным в котловине болота Замошье (южная часть Заонежского полуострова, 39 м н. у. м., рис. 1), происходит значительно раньше, чем в разрезе острова Большого Клименецкого, уже ~7200–7000 л. н. [Елина, Филимонова, 1999]. Возможно, это обусловлено большей «закрытостью» палеозалива Замошье, способствовавшей более раннему установлению здесь условий, благоприятных для накопления органического осадка.

Начало торфонакопления (ЛГ-6) в разрезе озерно-болотных отложений острова Большого Клименецкого датируется возрастом ~6100 л. н. Высотная отметка подошвы торфяной залежи (~36,5 м н. у. м.) указывает на то, что в рассматриваемый период уровень Онежского озера был ниже указанной отметки. Отсутствие створок диатомей в торфянистой гиттии является результатом установления субаэральных или близких к субаэральным условий, неблагоприятных для массового развития диатомовых водорослей. Кроме того, наличие древесных остатков свидетельствует о низком стоянии грунтовых вод на болоте – на глубине до 40 см ниже поверхности [Елина, Филимонова, 1999]. Таким образом, можно предположить, что уровень озера в этот период, возможно, уже приблизился к современному.

Заключение

Лито- и биостратиграфическое изучение разреза озерно-болотных отложений острова Большого Клименецкого выявило ряд изменений седиментационных обстановок, что позволило реконструировать соответствующие этапы развития и изменения уровня Онежского озера в поздне- и послеледниковое время. Начальный этап осадконакопления связан с существованием в котловине Онежского озера крупного приледникового бассейна, когда территория острова находилась под водой Онежского приледникового озера, уровень которого превышал в районе исследования 80 м. Дефицит биогенных элементов и низкая прозрачность водной толщи в ре-

зультате поступления с талыми водами больших объемов тонкодисперсного материала, характерные для ОПО, лимитировали развитие водной биоты. На дне водоема происходило накопление сезонно-слоистых осадков, в настоящее время подстилающих голоценовые отложения на дне Онежского озера и широко распространенных в разрезах на его побережьях.

Регрессия ОПО, связанная с образованием стока в Беломорскую, а впоследствии в Ладожскую котловину, привела к снижению уровня приледникового бассейна и накоплению на его дне микрослоистых глин в связи с сокращением объема поступающего взвешенного материала.

Следующее падение уровня имело место в раннем – начале среднего голоцена и, вероятно, способствовало размыву позднеплейстоценовых – раннеголоценовых отложений. Впоследствии в районе исследования установились прибрежные мелководные условия с активной гидродинамикой, благоприятствовавшие накоплению песчаных осадков и развитию бентосных диатомей.

В дальнейшем произошло изменение гидродинамических условий, которое могло стать результатом как увеличения степени защищенности залива от волноприбойной деятельности, так и некоторого повышения уровня Онежского озера вследствие увеличения общей увлажненности климата в среднем голоцене. В результате в условиях мелководного залива началось накопление алевритовых осадков, характеризующихся ростом содержания планктонных диатомей. При этом возраст археологического материала со стоянок на Южном Оленьем острове показал, что уже ~7000 л. н. уровень Онежского озера в районе исследования не превышал 40 м, и в дальнейшем, по-видимому, происходило только его понижение.

В результате продолжающейся регрессии ~6500 л. н. уровень Онежского озера снизился до ~36–37 м, что привело к обмелению, усилению зарастания и постепенной изоляции залива, в котором накапливались органогенные осадки с преобладанием диатомей-обратителей. Приблизительно 6100 л. н. уровень Онежского озера в районе исследования упал ниже 36 м, в результате чего мелководный залив полностью изолировался от его акватории и в его котловине началось торфонакопление.

Авторы выражают глубокую признательность А. И. Мурашкину (СПбГУ), В. Я. Шумкину и Е. М. Колпакову (ИИМК РАН) за всестороннюю помощь в организации и проведении полевых исследований, Д. А. Субетто (РГПУ им. А. И. Герцена) за предоставленные датировки.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИНОЗ РАН по теме № 0154-2018-0003 (№ гос. регистрации 01201363379) при частичной поддержке гранта РФФИ № 16-05-00727А.

Литература

Бискэ Г. С., Лак Г. Ц., Лукашов А. Д., Горюнова Н. Н., Ильин В. А. Строение и история котловины Онежского озера. Петрозаводск: Карелия, 1971. 74 с.

Давыдова Н. Н. Комплексы диатомей в донных отложениях Онежского озера // Палеолимнология Онежского озера. Л.: Наука, 1976. С. 130–191.

Давыдова Н. Н. Диатомовые водоросли – индикаторы природных условий водоемов в голоцене. Л.: Наука, 1985. 244 с.

Девятова Э. И. Природная среда и ее изменения в голоцене (побережье севера и центра Онежского озера). Петрозаводск: Карелия, 1986. 107 с.

Девятова Э. И. Палеогеография стоянок Шелтозера // Археологические памятники бассейна Онежского озера. Петрозаводск, 1984. С. 25–57.

Демидов И. Н. Деградация поздневалдайского оледенения в бассейне Онежского озера // Геол. и полезн. ископ. Карелии. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2005. Вып. 8. С. 134–142.

Демидов И. Н. Донные отложения и колебания уровня Онежского озера в позднеледниковье // Геол. и полезн. ископ. Карелии. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2004. Вып. 7. С. 207–218.

Демидов И. Н. О максимальной стадии развития Онежского приледникового озера, изменениях его уровня и гляциоизостатическом поднятии побережий в позднеледниковье // Геол. и полезн. ископ. Карелии. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2006. Вып. 9. С. 171–182.

Демидов И. Н. Четвертичные отложения заказника «Кижские шхеры» // Труды КарНЦ РАН. 1999. Вып. 1. С. 11–15.

Демидов И. Н., Шелехова Т. С. Диатомиты Карелии (особенности формирования, распространения, перспективы использования). Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2006. 89 с.

Демидов И. Н., Лаврова Н. Б., Колканен А. М., Мельников И. В., Герман К. Э. Палеоэкологические условия голоцена и освоение древним человеком побережья залива Вожмариха на юге Заонежского полуострова // Кижск. вестн. 2001. № 6. С. 220–240.

Елина Г. А., Филимонова Л. В. Этапы развития растительности и климата в восточном Заонежье в позднеледниковье – голоцене // Труды КарНЦ РАН. 1999. Вып. 1. С. 21–27.

История Ладожского, Онежского, Псковско-Чудского озер, Байкала и Ханки / Под ред. Д. Д. Квасова, Г. Г. Мартинсона, А. В. Раукаса. Л.: Наука, 1990. 280 с.

Курочкина А. А. Литология и хемотратиграфия донных отложений Онежского озера // Палеолимнология Онежского озера. Л.: Наука, 1976. С. 74–129.

Лак Г. Ц. Диатомовые водоросли озерных отложений Карелии // ДАН. 1963. Т. 148, вып. 1. С. 170–173.

Лукашов А. Д. Рельеф и условия образования острова Кижы // Труды КарНЦ РАН. 1999. Вып. 1. С. 16–20.
Марков К. К., Порецкий В. С., Шляпина Е. В. О колебаниях уровня Ладожского и Онежского озер в послеледниковое время // Тр. Ком. по изуч. четв. пер. 1934. Вып. 5. С. 71–129.

Мурашкин А. И., Тарасов А. Ю., Маннермаа К. Е. Проблема взаимосвязи памятников эпохи мезолита на Южном Оленьем острове Онежского озера // Археологические источники и культурогенез. Таксоны высокого порядка в системе понятий археологии каменного века: Тез. конф. СПб., 2011. С. 82–93.

Онежское озеро: Атлас / Под ред. Н. Н. Филатова. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2010. 151 с.

Панкрушев Г. А. Формирование берегов Онежского озера в голоцене (по археологическим данным) // Археологические памятники бассейна Онежского озера. Петрозаводск, 1984. С. 5–24.

Растительный мир Онежского озера. Л.: Наука, 1971. 200 с.

Семенович Н. И. Донные отложения Онежского озера / Под ред. С. В. Калесника. Л.: Наука, 1973. 104 с.

Шелехова Т. С., Васько О. В., Демидов И. Н. Палеоэкологические условия развития северо-западного Прионежья в позднеледниковье и голоцене // Геол. и полезн. ископ. Карелии. 2005. Вып. 8. С. 149–157.

Шелехова Т. С. История развития озера Пертозеро в южном Прионежье (по данным диатомового анализа) // Геол. и полезн. ископ. Карелии. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2007. Вып. 10. С. 207–212.

Шелехова Т. С., Субетто Д. А. Диатомовые водоросли донных отложений озер Заонежья: оценка современного состояния озер, реконструкция изменения уровня Онежского озера // Труды КарНЦ РАН. 2016. № 5. С. 88–105. doi: 10.17076/lim283

Krammer K., Lange-Bertalot H. Bacillariophyceae. Süßwasserflora von Mitteleuropa. Stuttgart: Gustav Fisher Verlag, 1986–1991. Bd 2/1–4.

Saarnisto M., Vuorela I. Palaeogeography and Palynology of Orov Navolok, NE Lake Onega. *Kolskii sbornik* [The Kola: collected articles]. St. Petersburg, 2007. P. 82–101.

Shala S., Helmens K. F., Jansson K. N., Klander M. E., Risberg J., Löwemark L. Palaeoenvironmental record of glacial lake evolution during the early Holocene at Sokli, NE Finland. *Boreas*. 2014. Vol. 43. P. 362–376. doi: 10.1111/bor.12043

Stabell B. The development and succession of taxa within the diatom genus *Fragilaria* Lyngbye as a response to basin isolation from the sea. *Boreas*. 1985. Vol. 14. P. 273–286.

Поступила в редакцию 07.06.2018

References

Biske G. S., Lak G. Ts., Lukashov A. D., Goryunova N. N., Il'in V. A. Stroenie i istoriya kotloviny Onezhskogo ozera [Structure and history of the Lake Onego depression]. Petrozavodsk: Karelia, 1971. 74 p.

Davydova N. N. Kompleksy diatomei v donnykh otlozheniyakh Onezhskogo ozera [Diatom assemblages in lake sediments of Lake Onego]. *Paleolimnologiya Onezhskogo ozera* [Paleolimnology of Lake Onego]. Leningrad: Nauka, 1976. P. 130–191.

Davydova N. N. Diatomovye vodorosli – indikatory prirodnykh uslovii vodoemov v golotsene [Diatoms as indicators of environmental conditions in the waterbodies in the Holocene]. Leningrad: Nauka, 1985. 244 p.

Demidov I. N. Chetvertichnye otlozheniya zakaznika “Kizhskie shkhery” [Quaternary deposits of the Kizhskie skerry reserve]. *Trudy KarNTs RAN* [Trans. KarRC RAS]. 1999. Iss. 1. P. 11–15.

Demidov I. N. Degradatsiya pozdnevaldaiskogo oledeneniya v basseine Onezhskogo ozera [Degradation of the last glaciation in the Lake Onego basin]. *Geol. i polezn. iskop. Karelii* [Geology and mineral resources of Karelia]. Petrozavodsk: KarRC RAS, 2005. Iss. 8. P. 134–142.

Demidov I. N. Donnye otlozheniya i kolebaniya urovnya Onezhskogo ozera v pozdnelednikov'e [Lake sediments and lake-level changes in Lake Onego in the Late Glacial]. *Geol. i polezn. iskop. Karelii* [Geology and mineral resources of Karelia]. Petrozavodsk: KarRC RAS, 2004. Iss. 7. P. 207–218.

Demidov I. N. O maksimal'noi stadii razvitiya Onezhskogo prilednikovogo ozera, izmeneniyakh ego urovnya i

glytsioizostateskom podnyatii poberezhii v pozdnelednikov'e [Maximum development stage of glacial Lake Onego, changes in its level and glacioisostatic uplift of the shoreline in the Late Pleistocene]. *Geol. i polezn. iskop. Karelii* [Geology and mineral resources of Karelia]. Petrozavodsk: KarRC RAS, 2006. Iss. 9. P. 171–180.

Demidov I. N., Shelekhova T. S. Diatomity Karelii (osobnosti formirovaniya, rasprostraneniya, perspektivy ispolzovaniya) [Diatomites of Karelia (peculiarities of formation and distribution, prospects of use)]. Petrozavodsk: KarRC RAS, 2006. 89 p.

Demidov I. N., Lavrova N. B., Kolkanen A. M., Melnikov I. V., German K. E. Paleoekologicheskie usloviya golotsena i osvoenie drevnim chelovekom poberezh'ya zaliva Vozhmarikha na yuge Zaonezhskogo poluostrova [The Holocene paleoecological conditions and early humans exploring of the coast of the Vozhmarikha bay, southern Zaonezhskiy Peninsula]. *Kizhsk. Vestn* [Kizhi Bull.]. 2001. No. 6. P. 220–240.

Devyatova E. I. Prirodnaya sreda i ee izmeneniya v golotsene (poberezh'e severa i tsentra Onezhskogo ozera [Environment and its changes in the Holocene (northern and central shores of Lake Onego)]. Petrozavodsk: Karelia, 1986. 110 p.

Devyatova E. I. Paleogeografiya stoyanok Sheltozera [Paleogeography of Sheltozero archaeological sites]. *Arkheologicheskie pamyatniki basseina Onezhskogo ozera* [Archaeological sites of the Lake Onego basin]. Petrozavodsk, 1984. P. 25–57.

Elina G. A., Filimonova L. V. Etapy razvitiya rastitelnosti i klimata v vostochnom Zaonezh'e v pozdnelednikov'e – golotsene [Stages of vegetation and climate

development in the Eastern Zaonezhye in the Late Holocene]. *Trudy KarNTs RAN* [Trans. KarRC RAS]. 1999. Iss. 1. P. 21–27.

Istoriya Ladozhskogo, Onezhskogo, Pskovsko-Chudskogo ozer, Baikala i Khanki [History of Lakes Ladoga, Onego, Pskovsko-Chudskoye, Baikal and Khanka]. Leningrad: Nauka, 1990. 280 p.

Kurochkina A. A. Litologiya i khemostratigrafiya donnykh otlozhenii Onezhskogo ozera [Lithology and chemostratigraphy of the Lake Onego sediments]. *Paleolimnologiya Onezhskogo ozera* [Paleolimnology of Lake Onego]. Leningrad: Nauka, 1976. P. 74–129.

Lak G. Ts. Diatomovye vodorosli ozernykh otlozhenii Karelii [Diatoms in lake sediments in Karelia]. *DAN* [Proceed. USSR Acad. of Sci.]. 1963. Vol. 148, iss. 1. P. 170–173.

Lukashov A. D. Rel'ef i usloviya obrazovaniya ostrova Kizhi [Landforms and formation of the Kizhi Island]. *Trudy KarNTs RAN* [Trans. KarRC RAS]. 1999. Iss. 1. P. 16–20.

Markov K. K., Poretskii B. C., Shlyapina E. V. O kolebaniyakh urovnya Ladozhskogo i Onezhskogo ozer v poslednykh vremyakh [On the Ladoga and Onego lake-level changes in the Postglacial times]. *Tr. Kom. po izuch. chetv. per.* [Proceed. Comm. Quarter. Study]. 1934. Iss. 5. P. 71–129.

Murashkin A. I., Tarasov A. Yu., Mannerman K. E. Problema vzaimosvyazi pamyatnikov epokhi mezolita na Yuzhnom Olen'em ostrove Onezhskogo ozera [Problem of interrelation of Mesolithic sites in the Yuzhny Oleny Island, Lake Onego]. *Arkheologicheskie istochniki i kul'turogenez. Taksony vysokogo poriyadka v sisteme ponyatii arkheologii kamennogo veka: Tez. konf.* [Archaeological sources and cultural genesis. Higher-order taxa in the conceptual system of the Stone Age archaeology: Abs. of the conf.]. St. Petersburg, 2011. P. 82–93.

Onezhskoe ozero: Atlas [Lake Onego: An Atlas]. Petrozavodsk: KarRC RAS, 2010. 151 p.

Pankrushev G. A. Formirovaniye beregov Onezhskogo ozera v golotsene (po arkheologicheskim dannym) [Formation of the shores of Lake Onego in the Holocene (based on the archaeological data)]. *Arkheologicheskie pamyatniki basseina Onezhskogo ozera* [Archaeological sites of the Lake Onego basin]. Petrozavodsk, 1984. P. 5–24.

Rastitelnyi mir Onezhskogo ozera [Vegetation of Lake Onego]. Leningrad: Nauka, 1971. 200 p.

Semenovich N. I. Donnye otlozheniya Onezhskogo ozera [Lake sediments of Lake Onego]. Leningrad: Nauka, 1973. 104 p.

Shelekhova T. S., Vas'ko O. V., Demidov I. N. Paleoekologicheskie usloviya razvitiya severo-zapadnogo Prionezh'ya v pozdnelednikov'e i golotsene [Paleoecological conditions of the north-western Onego region in the Late Glacial and Holocene]. *Geol. i polezn. iskop. Karelii* [Geology and mineral resources of Karelia]. Petrozavodsk: KarRC RAS, 2005. Iss. 8. P. 149–157.

Shelekhova T. S. Istoriya razvitiya ozera Pertozero v yuzhnom Prionezh'e (po dannym diatomovogo analiza) [History of Lake Pertozero in the southern Onego region]. *Geol. i polezn. iskop. Karelii* [Geology and mineral resources of Karelia]. Petrozavodsk: KarRC RAS, 2007. Iss. 10. P. 207–212.

Shelekhova T. S., Subetto D. A. Diatomovye vodorosli donnykh otlozhenii ozer Zaonezh'ya: otsenka sovremennogo sostoyaniya ozer, rekonstruktsiya izmeneniya urovnya Onezhskogo ozera [Diatoms in the bottom sediments of Zaonezhye lakes: assessment of the present state of the lakes and reconstruction of Lake Onego level variations]. *Trudy KarNTs RAN* [Trans. KarRC RAS]. 2016. No. 5. P. 88–105. doi: 10.17076/lim283

Krammer K., Lange-Bertalot H. Bacillariophyceae. *Süßwasserflora von Mitteleuropa*. Stuttgart: Gustav Fisher Verlag, 1986–1991. Bd 2/1–4.

Saarnisto M., Vuorela I. Palaeogeography and Palynology of Orov Navolok, NE Lake Onega. *Kolskii sbornik* [The Kola: collected articles]. St. Petersburg, 2007. P. 82–101.

Shala S., Helmens K. F., Jansson K. N., Kylander M. E., Risberg J., Löwemark L. Palaeoenvironmental record of glacial lake evolution during the early Holocene at Sokli, NE Finland. *Boreas*. 2014. Vol. 43. P. 362–376. doi: 10.1111/bor.12043

Stabell B. The development and succession of taxa within the diatom genus *Fragilaria* Lyngbye as a response to basin isolation from the sea. *Boreas*. 1985. Vol. 14. P. 273–286.

Received June 07, 2018

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Лудикова Анна Валерьевна

научный сотрудник, к. г. н.
Институт озероведения РАН
ул. Севастьянова, 9, Санкт-Петербург, Россия, 196105
эл. почта: ellerbeckia@yandex.ru
тел.: (812) 3878009

Кузнецов Денис Дмитриевич

научный сотрудник, к. г. н.
Институт озероведения РАН
ул. Севастьянова, 9, Санкт-Петербург, Россия, 196105
эл. почта: dd_kuznetsov@mail.ru

CONTRIBUTORS:

Ludikova, Anna

Institute of Limnology, Russian Academy of Sciences
9 Sevastyanova St., 196105 St. Petersburg, Russia
e-mail: ellerbeckia@yandex.ru
tel.: (812) 3878009

Kuznetsov, Denis

Institute of Limnology, Russian Academy of Sciences
9 Sevastyanova St., 196105 St. Petersburg, Russia
e-mail: dd_kuznetsov@mail.ru

ИСТОРИЯ НАУКИ

УДК 556.55 (09) (470 + 571)

ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ РАЗВИТИЯ ЛИМНОЛОГИИ В РОССИИ ДО СЕРЕДИНЫ XX ВЕКА

И. С. Трифонова

Институт озераведения РАН, Санкт-Петербург, Россия

В статье дан краткий очерк истории становления лимнологии – науки об озерах – в России с начала XIX до середины XX века. Приводятся некоторые биографические данные наиболее крупных ученых – основоположников российской лимнологии, сведения о биологических станциях-стационарах, сыгравших большую роль в воспитании лимнологов и формировании основных направлений лимнологии в России. Прослежено развитие лимнологии от первых географических описаний озер, гидрографических и морфометрических измерений, изучения фауны и флоры отдельных озер до комплексных исследований, включающих гидрологические, гидрохимические и гидробиологические наблюдения. Лимнология развивалась через понимание единства и взаимодействия озера и водосбора к продукционным и балансовым исследованиям круговорота органического вещества. Показана история формирования лимнологической школы Г. Ю. Верещагина и создания Лаборатории озераведения, позднее преобразованной в Институт озераведения АН СССР.

Ключевые слова: лимнология; озера; история науки; основоположники.

I. S. Trifonova. KEY DEVELOPMENT STAGES OF LIMNOLOGY IN RUSSIA UP TO THE MIDDLE OF THE 20th CENTURY

The article gives an overview of the history of limnology – science about lakes, in Russia since the early 19th to the mid-20th century. Some biographical details about great scientists who have founded Russian limnology, information about the biological research stations that have played a major role in the education of limnologists and the establishment of the main fields of limnology in Russia are provided. A retrospective of the evolution of limnology from the first geographical descriptions of lakes, hydrographic and morphometric measurements, studies of the fauna and flora of individual lakes to integrated surveys comprising hydrological, hydrochemical and hydrobiological observations is given. Limnology has been developing from the understanding of the unity and interaction of a lake and its catchment to studies of the production and balance dimensions of organic matter cycles. The history of G. Yu. Vereshchagin's limnological school and establishment of the Limnology Laboratory, later transformed into the Institute of Limnology of the USSR Academy of Sciences is related.

*Посвящается 70-летию
Института озераедения РАН*

Лимнология (от греческого *límnē* – «озеро»), или озераедение – наука о континентальных водоемах с замедленным водообменом (озерах, водохранилищах), изучающая весь комплекс взаимосвязанных физических, химических и биологических процессов, протекающих в них. Лимнология тесно связана с такими отраслями, как водоснабжение, рыбное хозяйство, водный транспорт, гидроэнергетика и рекреация. При исследовании водоемов лимнология использует методы гидрологии, гидробиологии, гидрохимии, гидрофизики, геоморфологии, геоботаники, метеорологии и других наук. Среди ее основоположников были выдающиеся ученые разных направлений науки.

Считается, что начало лимнологии положено швейцарским ученым Франсуа Форелем, проводившим многолетние исследования на Женевском озере и создавшим первое руководство по лимнологии [Forel, 1901]. Среди зарубежных лимнологов хорошо известны имена Э. Берджа, А. Тинемана, Э. Наумана, Ф. Рутнера, К. Х. Мортимера, Дж. Э. Хатчинсона и многих других. В 1895 г. на VI Международном географическом конгрессе в Лондоне лимнология оформилась как отрасль географической науки. Большую роль в развитии лимнологии сыграли международные лимнологические конгрессы и симпозиумы, с 1922 г. регулярно созываемые Международной ассоциацией теоретической и прикладной лимнологии (SIL), из которых 3-й, в 1925 г., и 18-й, в 1971 г., проводились в СССР.

В России, где насчитывается огромное количество озер, развитие лимнологии началось практически в то же время, что и в Европе, – в середине XIX века. Большое значение для развития этой науки имели труды русских озераедов: Д. Н. Анучина, Л. С. Берга, Г. Ю. Верецагина, И. В. Молчанова, С. Д. Муравейского, С. И. Кузнецова, Л. Л. Россолимо, В. И. Жадина, Г. Г. Винберга и многих других. Русская и советская лимнология занимала почетное место в мировой науке. Еще в дореволюционное время выполнен ряд замечательных исследований крупнейших озер и озерных районов, основано несколько лимнологических станций, среди которых станции в Косино под Москвой и Бородинская в Карелии приобрели

международную известность. После Октябрьской революции исследования озер значительно расширились: начались работы по кадастру озер СССР, выполнявшиеся в плане общего водного кадастра страны; ряд территорий были охвачены лимнологической съемкой.

Первым русским озераедом можно считать академика Николая Яковлевича Озераедковского (1750–1827), предпринявшего путешествие по Ладожскому и Онежскому озерам в 1785 г. [Сухомлинов, 1875]. Записки Н. Я. Озераедковского, подводящие итоги его путешествия и исследований, впервые были напечатаны в виде журнальных статей в 1786 году в «Новых ежемесячных сочинениях». Одновременно ученый начал подготовку книги «Путешествие по озерам Ладожскому и Онежскому», в которой дал комплексную картину природы обширного края, охватывавшего бассейны двух великих озер, включая физико-географическую характеристику, очерк геологического строения и рельефа, описание растительности и животного мира. Достаточно полно описаны им и сами водоемы, от глубин и строения береговой линии до характеристики вод и обитателей водной толщи [Озераедковский, 1812]. Н. Я. Озераедковский первым в географической литературе своего времени дал столь детальный очерк озер, а его последующие поездки по озерам Европейской России способствовали становлению отечественного озераедения как отрасли знаний в России. В 1805 г. он организовал экспедицию на оз. Ильмень, а в 1814 г. – на оз. Селигер, во время которой установил место истока Волги. Каждое из этих путешествий оставило след в виде книги [Сухомлинов, 1875].

Начало гидрографического и гидрологического изучения Ладожского озера положила гидрографическая экспедиция А. П. Андреева, проводившая исследования с 1853 по 1867 гг. по заданию военного ведомства. Экспедицией были составлены подробные карты глубин, уточнено расположение островов, заливов. Производилось определение температуры воды, прозрачности и цветности. По итогам экспедиции опубликована фундаментальная монография о Ладожском озере [Андреев, 1875], за которую Русское географическое общество в 1875 году наградило А. П. Андреева большой золотой и серебряной медалями.

К этому же периоду (1867–1968 и 1875–1876 гг.) относятся первые лимноло-

гические исследования на Байкале Б. И. Дыбовского (1835–1950), зоолога, профессора Варшавского университета, сосланного в Сибирь за участие в Польском восстании [Кожов, 1926]. Бенедикт Иванович Дыбовский первый предложил схему регулярных комплексных наблюдений за состоянием Байкала, высказывал мнение о необходимости устройства с этой целью опытной биологической станции и учреждения в Иркутске первого университета в Сибири. По мнению Г. Ю. Верещагина, работы Дыбовского характеризуются исключительной полнотой и точностью [Верещагин, 1947]. Им впервые производились промеры по точкам и профилям, нанесенным на карту, наблюдения над распределением температуры воды на разных глубинах и колебаниями уровня Байкала. Он сам обрабатывал собранные коллекции планктона и открыл наличие в Байкале уникальной эндемичной фауны. В 1868–1871 гг. им были начаты стационарные исследования на Байкале в Култуке, где позже были организованы регулярные метеорологические наблюдения.

Большие заслуги в развитии и теоретическом обосновании озероведения как направления географии принадлежат выдающемуся русскому географу, лимнологу, антропологу и этнографу Дмитрию Николаевичу Анучину (1843–1923). «Анучин по справедливости считается отцом русской лимнологии», – писал академик Л. С. Берг [1949]. Д. Н. Анучин рассматривал озеро как весьма сложный элемент ландшафта, развивающийся в определенной среде и взаимодействующий с ней. Он строил свои заключения на основании собственных исследований, выполненных в 80-х годах XIX столетия на Валдайских озерах [Анучин, 1896]. Участвуя в экспедиции 1894 г. по исследованию истоков главнейших рек Европейской России, Д. Н. Анучин обследовал верхнее течение Западной Двины, ее истоки и неисследованные ранее озера. На основе полученных данных он разработал классификацию озер, подразделив все изученные «моренные» озера на три типа. Открытие слоя температурного скачка явилось наиболее крупным результатом исследований. В первой книге «Землеведения» за 1895 г. Анучин опубликовал обстоятельную статью «Новейшее изучение озер в Европе и несколько новых данных об озерах Тверской, Псковской и Смоленской губерний». Результатам собственных исследований Анучин предпослал обширный исторический очерк развития лимнологии, где показал, как по мере выявления и уточнения целей и методов лимнологических исследований эта наука стала постепенно обособляться

и в недалеком будущем выделится, вероятно, в особую отрасль гидрографии. Изучив 35 озер верховьев великих рек, Д. Н. Анучин пришел к заключению, что все они имеют ледниковое происхождение, так как являются неременной частью моренного ландшафта. В капитальном труде Д. Н. Анучина, обобщающем результаты экспедиции «Верхневолжские озера и верховья Западной Двины» [Анучин, 1896], дано не только подробнейшее описание географической среды и каждого озера в отдельности, но и разработанная автором методика лимнологических исследований, впоследствии положенная в основу работ многочисленных учеников его школы. После экспедиции Анучин ввел в программу своего университетского курса общей физической географии вновь разработанный раздел об озерах, который напечатал в виде очерка в приложении ко второй книге «Землеведения» под названием «Воды суши. Озера» [Анучин, 1898]. Продолжателями идей Д. Н. Анучина явились его ученики Л. С. Берг, С. Д. Муравейский, В. Ф. Пиотровский и другие.

Академик Лев Семенович Берг (1876–1950) – выдающийся географ, биолог, зоолог, заведующий кафедрой географии Петроградского университета (ЛГУ) в 1916–1950 гг. и заведующий отделом ихтиологии Зоологического института АН СССР (1934–1950), автор капитального труда «Рыбы пресных вод СССР и сопредельных стран», посвятил много лет изучению озер, развивая идеи своего учителя Д. Н. Анучина. В 1898–1909 гг. он исследовал озера Западной Сибири, Аральское море, Балхаш, Иссык-Куль, Ладожское озеро. Позже Л. С. Берг неоднократно возвращался к изучению Иссык-Куля, Арала и других озер. Он не бывал на Байкале, но в период с 1910 по 1940 г. много раз обращался к его проблемам. Одним из своих учителей Л. С. Берг считал В. И. Вернадского [Распопова, 1952]. Принцип генетической комплектности был им применен в изучении озер, что привело к широким научным обобщениям, основанным на глубоком анализе отдельных явлений и процессов в озерах. Л. С. Берг причислял лимнологию, как и климатологию, почвоведение и океанологию, к географическим дисциплинам, которые комплексно изучают объекты исследования, увязывая характеристики самих водоемов с природой их водосбора и побережья. Выдающимся вкладом Л. С. Берга в лимнологию явился обстоятельный труд «Аральское море: опыт физико-географической монографии» [1908]. Л. С. Берг никогда не ограничивался констатацией наблюдаемых фактов, а всегда искал причинные связи, гене-

зис того или иного явления. Широкий географический подход к изучаемым озерам Средней Азии позволил ему при сопоставлении следов состояния высоких и низких уровней исследуемых озер прийти к выводу о том, что нельзя говорить о непрерывном усыхании Средней Азии и степей Казахстана. Как озероведа-географа, Л. С. Берга интересовали не частности режима водоема, а закономерности развития озер как компонентов ландшафта и как индикаторов сложных процессов ландшафтообразования, влияние климата на озера. Большое количество работ Берга посвящено вопросам многолетнего колебания уровня озер, в том числе Каспийского моря. Научное наследие Л. С. Берга оказывало и оказывает большое влияние на формирование научного мировоззрения как отечественных, так и зарубежных лимнологов.

Сергей Дмитриевич Муравейский (1894–1951), будучи географом и учеником Д. Н. Анучина, одновременно занимался зоологией у Б. М. Житкова и Г. А. Кожевникова и ботаникой у К. А. Тимирязева, а познакомившись с С. А. Зерновым, увлекся гидробиологией, читал лекции по гидробиологии в МГУ. Все это позволило ему стать широким специалистом-лимнологом [Соловьев, 1960]. Работая советником в полпредстве СССР в Монголии в 1931–1933 гг., он изучал реки и озера Монголии. С 1934 г. С. Д. Муравейский работал в ВОДГЕО и занимался кадастровыми исследованиями озер восточного склона Южного Урала. В эти годы С. Д. Муравейский провел гидробиологические исследования рек и озер Казахстана и Южного Урала, разработал раздел биогеографии, который он сам называл «биогеографией» [Муравейский, 1936]. По его определению, это область географической науки, изучающая с биологических позиций водоемы суши как целостные природные объекты, т. е., по сути, явления и закономерности биотического круговорота. В 1943 г. С. Д. Муравейский возвращается в МГУ деканом географического факультета, а затем организует кафедру гидрологии и становится ее заведующим. В МГУ С. Д. Муравейский подготовил ряд работ по озероведению, выдвинул оригинальную концепцию взаимодействия географических факторов, написал ряд фундаментальных работ, в том числе о стоке как географическом факторе, и «Очерки по озероведению» совместно с Б. Б. Богословским [1955]. Основные труды С. Д. Муравейского собраны в посмертно изданной книге «Реки и озера. Гидробиология. Сток» [1960].

Другой ученик Д. Н. Анучина – Владимир Феликсович Пиотровский (1876–1965) – один

из старейших русских исследователей озер Карелии, работая на кафедре географии МГУ в 1904–1909 гг. под руководством Анучина, кроме преподавательской деятельности занимался изучением озер, перевел на русский язык ряд монографий по географии и лимнологии. С 1902 г. он участвовал в экспедиции РГО по исследованию озер Акмолинской области, рыбных промыслов на р. Амударье и в Аральском море (1903), озер Владимирской области (1904). В Карелии В. Ф. Пиотровский исследовал озера Кончезерской группы (1911–1912 гг.). В 1930-е годы он был организатором и заведующим кафедры географии Саратовского университета. В 1950-е работал в Лаборатории озероведения АН СССР, написал монографию «Озеро Ильмень».

Большую роль в становлении и развитии лимнологии сыграли лимнологические исследования биологических станций (стационаров). В 1891 г. при МГУ по инициативе и при участии географов и биологов еще в составе физико-математического факультета была организована первая в России биологическая, а по существу лимнологическая, станция на оз. Глубоком (Московская область), одним из организаторов и первым директором которой был будущий академик Сергей Алексеевич Зернов (1871–1945). На этой станции проходили летнюю практику студенты биологи и географы, в том числе будущие крупнейшие отечественные лимнологи: С. И. Кузнецов, Л. Л. Россолимо, Г. Г. Винберг, Н. К. Дексбах, Н. С. Строганов, А. П. Щербаков и другие. Позднее при МГУ были организованы и другие биологические станции (Косинская, Звенигородская и др.). Звенигородская станция основана в 1910 г. на собственные средства Сергеем Николаевичем Скадовским (1886–1962), заведующим кафедрой гидробиологии МГУ, внесшим огромный вклад в развитие лимнологии своими эколого-физиологическими исследованиями.

Бородинская пресноводная станция (вторая в России после станции на оз. Глубоком) была основана в 1895 г. на собственные средства крупным ученым-ботаником Иваном Парфеньевичем Бородиным (1847–1930) на Бологовском озере. Впоследствии Бородин предложил станцию Санкт-Петербургскому обществу естествоиспытателей, которое назвало станцию Бородинской, а заведующим назначило ее создателя. В 1906 году, после того как Бологое и его окрестности были изучены, станцию перенесли на оз. Селигер. В 1926 г. станция возродилась уже в Карелии на Кончезере, когда правительство Карельской АССР решило приступить к на-

учному изучению многочисленных озер республики. Директором станции с 1934 по 1950 гг. был крупный микробиолог и лимнолог Борис Васильевич Перфильев (1891–1969). На Бородинской станции начинали свою научную деятельность многие известные лимнологи, такие как С. В. Герд, И. И. Николаев, В. М. Катанская и другие. На ее базе в 1945 г. организована Кончезерская биологическая станция [Веселов, 1977]. Инициатором воссоздания станции был выдающийся гидробиолог и лимнолог Сергей Владимирович Герд (1897–1961), известный своими работами по биолимнологическому районированию озер Карелии.

Большой след в развитии отечественной лимнологии оставила Волжская гидробиологическая станция, первая в Европе речная биологическая станция, организованная в 1900 г. Зоологическим музеем АН в Саратове. Директором ее до 1903 г. был Александр Сергеевич Скориков. Большое значение в работе станции придавалось оценке состояния воды. Помимо Волги и ее притоков изучались многочисленные озера, в частности, карстовые озера Самарской Луки. С 1912 по 1925 гг. заведующим станции был Арвид Либорьевич Бенинг (1890–1943), автор фундаментальной работы «Das Leben der Volga», получившей широкую известность не только в России, но и за рубежом [Behning, 1927].

С 1903 по 1909 гг. А. С. Скориков заведовал Отделом беспозвоночных Зоологического музея АН (позднее Лаборатория гидробиологии ЗИН). Многие сотрудники отдела были пионерами отечественной лимнологии: В. М. Рылов, А. Л. Бенинг, Г. Ю. Верещагин и др. В 1902–1903 и 1911–1914 гг. в связи с изучением р. Невы и Ладожского озера как источников водоснабжения г. Санкт-Петербурга под руководством А. С. Скорикова были предприняты первые серьезные исследования планктона Ладожского озера, результаты которых обобщены в ряде публикаций [Болохонцев, 1911; Скориков, 1911 и др.]. В этих работах, помимо подробного изучения состава ладожского планктона, впервые была сделана попытка биологической оценки качества ладожской воды.

Большой вклад в отечественную лимнологию внесли выдающиеся альгологи: Митрофан Константинович Арнольди (1871–1924), Александр Александрович Еленкин (1873–1942) и Николай Николаевич Воронихин (1882–1956), изучившие водоросли и давшие описание многочисленных озер, в том числе таких труднодоступных, как Телецкое и Курильское. Книга Н. Н. Воронихина «Растительный мир

континентальных водоемов» [1953] до сих пор может служить прекрасным введением в лимнологию.

Широкую известность фундаментальными работами в области озераведения снискала Косинская станция на оз. Белом под Москвой, организованная в 1908 г. профессором зоологии МГУ Г. А. Кожевниковым. С 1923 до 1939 г. ею руководил известный географ и один из основателей отечественной лимнологии Леонид Леонидович Россолимо (1894–1977). Он расширил исследования озер, включив гидрологические и гидрохимические наблюдения [Широкова, 2012]. Косинская станция явилась центром, где впервые развивался энергетический принцип изучения озерных экосистем, а основные положения теории биотического баланса в водоемах были сформулированы почти на 10 лет раньше выхода в свет статьи Р. Линдемана [Lindemann, 1942], которого в мировой литературе принято считать основоположником энергетического подхода. Главное внимание на станции уделялось получению количественных функциональных характеристик водных организмов и их популяций, необходимых для понимания и оценки их участия в процессах круговорота вещества и энергии в озере [Россолимо, 1934]. Работы Сергея Ивановича Кузнецова (1900–1987), изучавшего роль микроорганизмов в круговороте веществ в озерах; Виктора Сергеевича Ивлева (1907–1964), использовавшего энергетический подход при изучении трофических связей; связанное с именем Николая Карловича Дексбаха начало разработок типологии озер на основе их биопродуктивности; работы Л. Л. Россолимо по кислородному и термическому режимам озер в 20–30-е годы прошлого столетия выдвинули русскую, советскую лимнологию на самые передовые позиции мировой науки. Особое значение для развития работ по биотическому балансу имели исследования Георгия Георгиевича Винберга (1905–1987), впервые применившего скляночный метод в кислородной модификации для изучения соотношения продукционно-деструкционных процессов в озерах и тем самым положившего начало изучению первичной продукции водоемов в России [Винберг, 1934].

На станции развивались и методические исследования (Е. В. Борущкий, Г. С. Карзинкин и др.). Научный семинар, проводившийся на станции, посещали Л. А. Зенкевич, С. А. Зернов, Б. С. Грезе, С. Д. Муравейский, С. В. Бруевич, Б. С. Скопинцев и многие другие ученые, внесшие огромный вклад в развитие отечественной лимнологии. На Косинской

станции работали и участвовали в семинаре иностранные ученые. С 1924 по 1929 гг. вышло в свет 11 выпусков «Трудов Косинской биологической станции». Труды издавались на русском и немецком языках, получили широкую известность во всем мире и до сих пор сохраняются и востребованы в библиотеках многих лимнологических центров Европы и Америки. Достаточно сказать, что в 1927 г. в «Трудах Косинской биологической станции» опубликовал свою фундаментальную работу «Цели и основные проблемы региональной лимнологии» один из основателей SIL Эйнар Науман.

Во время III Международного лимнологического съезда, который проходил в Москве в 1925 г., на Косинской станции проводились секционные заседания [Фортунов, 1971]. III Съезд SIL в 1925 г. был первым международным научным съездом, проводившимся в Советской России после Октябрьской революции, и пользовался большим вниманием общественности и правительства. Заседания съезда проходили в Ленинграде, Москве и Саратове. На съезде присутствовало 126 членов ассоциации и 94 гостя. Среди докладчиков были такие крупные отечественные ученые, как С. А. Зернов, С. Н. Скадовский, Ю. М. Шокальский, Н. Н. Воронихин, А. А. Еленкин, А. Л. Бенинг, В. М. Рылов и др. После окончания съезда были организованы экскурсии в дельту Волги и на соленые озера Эльтон и Баскунчак. Большой резонанс имели доклады С. Н. Скадовского о значении рН для пресноводных организмов и А. Л. Бенинга «Жизнь Волги». III Международный лимнологический съезд имел большое значение для популяризации достижений русской советской лимнологии. Косинская станция была включена в международные справочники. Тем не менее в 30-е годы по воле чиновников станция была передана в Росгидромет. В 1939 г. Л. Л. Россолимо и многие сотрудники вынуждены были покинуть станцию, а в 1941 г. она была закрыта, несмотря на протесты ученых, в том числе академиков В. И. Вернадского и А. Е. Ферсмана.

Советские ученые принимали активное участие и в последующих съездах SIL. На 4-м Съезде SIL в Италии в 1928 г. советская делегация включала 14 человек [Фортунов, 1971]. Возглавлял делегацию С. А. Зернов, участниками были Г. Ю. Верещагин, А. Л. Бенинг, С. Д. Муравейский, Б. В. Перфильев, в числе приглашенных – академики Л. С. Берг и Л. А. Зенкевич. За доклады о лимнологических исследованиях на Байкале и о новейших методах полевых гидрохимических исследований почетный диплом съезда получил Г. Ю. Верещагин. Отмечен

был и доклад Б. В. Перфильева о методах изучения процессов осадконакопления в озерах.

В 1919 г. в Петрограде по инициативе основоположника советской гидрологии Виктора Григорьевича Глушкова (1883–1937) был создан Государственный гидрологический институт (ГГИ), задачей которого, по идее его основателя, было всестороннее изучение природных вод России: рек, озер, болот, подземных вод, ледников, морей и т. д. В составе Института был организован Озерный отдел. В разные периоды в ГГИ работали известные ученые-озероведы: Л. С. Берг, К. М. Дерюгин, И. В. Молчанов, Б. Д. Зайков, С. А. Советов, О. А. Алекин, Н. И. Семенович, Г. В. Лопатин, В. А. Толмачев и многие другие. В организации Озерного отдела ГГИ принимал участие Г. Ю. Верещагин и в течение многих лет был его заведующим. Основная деятельность отдела была связана с работами по водному кадастру СССР.

Глебу Юрьевичу Верещагину (1889–1944) принадлежит большая роль в становлении и развитии отечественной лимнологии. В 1911 г. состоялось его знакомство с Б. И. Дыбовским, прочитавшим ряд лекций о Байкале в Варшавском университете [Талиев, 1947]. Увлечательные лекции знаменитого исследователя Байкала зародили желание у студента Верещагина посвятить себя изучению уникального озера. В 1916 г. Г. Ю. Верещагин, уже будучи сотрудником Зоологического музея АН, посетил Байкал и, совершив две поездки по озеру на рейсовом пароходе, собрал небольшие материалы, которые были им опубликованы. Одновременно он вел активную деятельность в рамках Русского географического общества, где в 1915 г. был в числе инициаторов возобновления деятельности Озерной комиссии РГО и в качестве секретаря комиссии составил программы предварительного исследования озер, которые были изданы Обществом. Озерная комиссия была первым общественным объединением лимнологов в России.

В 1919–1924 гг. деятельность Г. Ю. Верещагина протекала главным образом в ГГИ, где он возглавил Озерный отдел, а в 1919 г. при содействии ГГИ и Зоологического музея организовал Олонецкую научную экспедицию (ОНЭ). Экспедиция изучила 157 водоемов, в том числе 91 озеро, в частности Сегозеро и Выгозеро. Личная научная работа Г. Ю. Верещагина в ОНЭ состояла в разработке методики сравнительно-морфометрической характеристики озер [Верещагин, 1930], изучении современных движений земной коры в Карелии, выяснении распространения реликто-

вых морских организмов, обработке кладоцер во всех собранных материалах по планктону, изучении жемчужницы в пределах Карелии. С ОНЭ, руководимой Г. Ю. Верещагиным, началась научная деятельность ряда известных лимнологов – учеников Верещагина, таких как С. Г. Лепнева, В. А. Толмачев, Н. П. Предтеченский, Т. Б. Форш-Меншуткина и др. Позднее С. Г. Лепнева возглавила комплексную экспедицию на Телецкое озеро, которая стала хорошей школой для О. А. Алекина. В. А. Толмачев в 1926 г. участвовал как гидрохимик в Онежской экспедиции ГГИ, руководимой С. А. Советовым, в 1936–1939 гг. был назначен руководителем Севанской гидробиологической станции, а позднее – Байкальской. В 1924 г. ОНЭ была расформирована и собранные материалы розданы по отдельным научно-исследовательским учреждениям, принимавшим участие в экспедиции. В вышедших из печати 11 выпусках трудов ОНЭ была опубликована лишь часть собранных материалов. Г. Ю. Верещагин возвращается в ЗИН, и в 1924 г., будучи избран ученым секретарем Комиссии по изучению Байкала, ставит на ее обсуждение план пятилетнего исследования Байкала, с последующим открытием на озере научной станции.

На Байкале к этому времени был создан Биолого-географический научно-исследовательский институт при Иркутском госуниверситете. Директором БГНИИ был назначен зоолог Б. А. Сварчевский, в штат входили В. Ч. Дорогостайский, В. Н. Яснитский и др. Под руководством В. Ч. Дорогостайского были организованы экспедиции на Байкал для сбора фауны и флоры, в основном на биологической станции в районе Больших Котов и в истоке Ангары. В этих работах участвовал аспирант Михаил Михайлович Кожов (1890–1972), впоследствии крупнейший байкаловед.

В результате деятельности Байкальской экспедиции под руководством Г. Ю. Верещагина с 1925 по 1929 гг. были обследованы все основные районы озера и накоплен материал, относящийся к самым различным сторонам природы Байкала, ранее не затронутым изучением. Впервые были исследованы термика и химизм больших глубин Байкала, уточнена карта глубин и получены материалы по поднятию и опусканию отдельных участков берега, новые данные о флоре и фауне. Географическое общество высоко оценило работы Г. Ю. Верещагина не только по исследованию Байкала, но и по водному кадастру серии «Озера СССР» в период его работы в ГГИ. За исследования Байкала, о которых Верещагин

доклаживал в 1927 г. на 4-м Лимнологическом конгрессе в Риме, ему была присуждена медаль Международной ассоциации лимнологов. Там же Г. Ю. Верещагин был избран членом Совета SIL и по его инициативе образована специальная стандартизационная комиссия для унификации и оценки степени точности полевых методов гидрохимических определений. В первом выпуске трудов комиссии опубликовано написанное им первое руководство по полевым методам гидрохимического анализа, позднее переизданное на русском языке [1933]. В 1929 г. Байкальская экспедиция была реорганизована в Байкальскую биологическую станцию, а Г. Ю. Верещагин назначен ее заведующим. С этого времени он окончательно ушел из Зоологического музея, а в ГГИ оставил за собою лишь научное руководство биологическими работами. Поставив во главу угла запросы народного хозяйства, Г. Ю. Верещагин не отрывался от теоретических проблем. В связи с проблемой происхождения байкальской фауны он опубликовал ряд трудов по биогеографии Байкала и экологии некоторых его животных. Кроме того, Г. Ю. Верещагин занимался изучением динамики водных масс Байкала, причем им была предложена схема вертикального расчленения отдельных зон для глубоких озер мира.

К этому времени у Верещагина уже окончательно сложилось свое направление в лимнологии, которое он кратко формулировал: «изучение природы озер, как целого, для установления количественных закономерностей процессов и явлений в них протекающих и их взаимной связи с окружающей средой в целях возможно более полного освоения озерных фондов в различных отраслях народного хозяйства» [Верещагин, 1932]. К концу 1930-х гг. создав свою школу озероведов, Г. Ю. Верещагин сформировал собственное комплексное направление в лимнологии, и с этого времени стал вынашивать идею о создании в стране озероведческого центра для широкомасштабного изучения озер различных регионов страны с разнообразными особенностями окружающих их природных комплексов. Надо было подвести под разносторонние исследования единую концепцию комплексной лимнологии как важной отрасли географии. Верещагин подготовил проект постановления Президиума АН СССР о создании в ее составе Лаборатории озероведения, передав в ее ведение и Байкальскую лимнологическую станцию. К сожалению, Г. Ю. Верещагин не дождал всего нескольких месяцев до окончательной реализации своего проекта. В январе 1944 г. вышло

постановление Президиума Академии наук СССР о создании Всесоюзной Лаборатории озероведения в составе Отделения геолого-географических наук в Ленинграде, а Г. Ю. Верещагин назначался ее директором. Но 5 февраля 1944 г. Глеб Юрьевич внезапно скончался от кровоизлияния в мозг.

Г. Ю. Верещагин – крупнейший ученый, которого знал весь лимнологический мир, он сочетал в себе крупного теоретика проблем лимнологии и практика использования лимнологических исследований для задач народного хозяйства [Талиев, 1947]. Его идеи легли в основу создания Лаборатории озероведения, а его ученики стали ее первыми сотрудниками и организаторами.

После внезапной кончины Г. Ю. Верещагина директором Лаборатории был назначен Н. М. Страхов (будущий академик), а с 1945 г. ее возглавил выдающийся геолог академик Дмитрий Васильевич Наливкин (1889–1982). Ему суждено было наладить работу Лаборатории и определить ее основное направление, следуя замыслу Г. Ю. Верещагина. Согласно постановлению Президиума АН СССР «основной задачей Лаборатории является разработка теоретических вопросов озероведения – происхождение и история развития главнейших типов озер, изучение водного химического и термического баланса озер, минеральной, энергетической, растительной и животной сырьевой базы, влияния озер на климат». Как геолог, Д. В. Наливкин считал необходимым исторический подход к изучаемым процессам в озерах с целью познания их эволюции, акцентируя внимание на практическом значении озер как объектов накопления полезных ископаемых.

Д. В. Наливкин пригласил на должность ученого секретаря Николая Ивановича Семеновича (1907–1972), который с 1940 г. был руководителем группы кадастра озер Северо-Запада в ГГИ, занимался изучением озер Лача, Воже, Кубенское, Ильмень, Балхаш и Аральского моря. В частности, он принимал от Л. Л. Россолимо имущество упраздненной Косинской лимнологической станции. Н. И. Семенович, по существу, явился организатором Лаборатории озероведения, основу которой составили ученики Г. Ю. Верещагина: В. А. Толмачев, Т. Б. Форш-Меншуткина, Л. Ф. Форш, Г. В. Лопатин, В. М. Катанская и др. К 1949 г. Лаборатория озероведения АН СССР сформировалась как центральное научное учреждение с двумя лимнологическими станциями – Байкальской и станцией на оз. Красном (Карельский перешеек). Байкальской станцией некоторое время заведовал В. А. Толмачев. В 1953 г. станция

была передана Сибирскому филиалу АН СССР и впоследствии преобразована в Лимнологический институт Сибирского отделения АН.

Лаборатория озероведения АН СССР сумела объединить крупнейших специалистов-озероведов, создать квалифицированные лимнологические кадры, способные решать теоретические и практические проблемы лимнологии. Уже в первые годы существования Лаборатории ее сотрудники смогли выполнить ряд серьезных лимнологических исследований, в числе которых были: сравнительное изучение Н. И. Семеновичем железорудных озер различного типа на Карельском перешейке и в Западной Карелии [Семенович, 1958], изучение водоемов Таманского полуострова в связи с вопросами нефтеобразования Т. Б. Форш-Меншуткиной, исследование озер, прудов и водохранилищ Нижнего Поволжья и Прикаспийской низменности, южной части Аральского моря и водоемов дельты Амударьи под руководством Г. В. Лопатина.

В 1955 г. директором Лаборатории озероведения стал академик Станислав Викентьевич Калесник (1901–1977). По инициативе С. В. Калесника в 60-е годы Лабораторией озероведения были начаты фундаментальные комплексные исследования Ладожского и Онежского озер. Кроме того, С. В. Калесник был и инициатором разработки проблемы географической типизации озер на основе сравнительного изучения озер различных ландшафтов Северо-Запада России. Одновременно Лабораторией проводились исследования динамики состояния озер семиаридной зоны и их истории, как современной, так и в эпоху голоцена, изучены ритмические проявления в истории озер под руководством А. В. Шнитникова. В Институте озероведения сложилось свое научное географическое направление комплексного изучения озер в единстве с окружающим географическим ландшафтом [Калесник, 1967]. Научные связи Института непрерывно расширялись. Сотрудники его активно участвовали во многих съездах, конференциях, совещаниях, в том числе в Международных конгрессах. Лаборатория публиковала результаты исследований в «Трудах Лаборатории озероведения АН СССР». Всего вышло в свет около 30 томов, представляющих собой тематические сборники, составленные по материалам различных экспедиционных исследований. В 1971 г. Лаборатория была преобразована в Институт озероведения в составе Отделения океанологии, физики атмосферы и географии АН СССР.

Параллельно с Институтом озероведения развивался Байкальский лимнологический ин-

ститут в Иркутске, занимающийся в основном проблемами Байкала. В 1946 г. по инициативе выдающегося гидроэнергетика Сергея Владимировича Григорьева был создан Отдел водных проблем в Петрозаводске, позднее реорганизованный в Институт Карельского научного центра РАН, который изучает многочисленные озера, озерно-речные системы, подземные воды Карелии и Белое море. В 1948 г. была организована биологическая станция «Борок» для изучения Рыбинского водохранилища. В 1952 г. ее возглавил выдающийся полярный исследователь Иван Дмитриевич Папанин, усилиями которого в 1956 г. станция преобразована в Институт биологии водохранилищ, а в 1962 г. – в Институт биологии внутренних вод АН СССР. Институт проводит комплексные лимнологические исследования каскада Волжских водохранилищ и других водоемов Волжского бассейна. Лимнологические исследования проводятся и в ряде других научных центров России.

В связи с продолжающимся загрязнением озер и водохранилищ и все усиливающимся их эвтрофированием значение лимнологии как экологической науки в XXI веке, несомненно, будет возрастать. Главными направлениями в озероведении остаются оценка, прогноз, охрана качества воды в водоемах и восстановление их экосистем после снижения антропогенной нагрузки. Решение этих проблем приобретает все большее значение в современных условиях тотального дефицита чистой воды.

Литература

- Андреев А. Н. Ладожское озеро. Ч. I и II. СПб.: Тип. Морского министерства, 1875. 398 с.
- Анучин Д. Н. Воды суши. Озера // Землеведение. 1896. Т. 2. С. 1–24
- Анучин Д. Н. Озера области истоков Волги и Западной Двины // Землеведение. 1898. Т. 1/2. С. 109–164.
- Берг Л. С. Д. Н. Анучин (1843–1923) // Очерки по истории русских географических открытий. М.; Л.: АН СССР, 1949. 446 с.
- Берг Л. С. Аральское море: опыт физико-географической монографии. СПб.: Тип. М. М. Стасюлевича, 1908. 580 с.
- Богословский Б. Б., Муравейский С. Д. Очерки по озероведению. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1955. 176 с.
- Болохонцев Е. Н. Ботанико-биологические исследования Ладожского озера // Ладожское озеро как источник водоснабжения. СПб.: Гор. тип., 1911. С. 175–581.
- Верещагин Г. Ю. Методы морфологической характеристики озер // Тр. Олонецкой научн. экспед. Ч. II., вып. I. Л.: ГГИ, 1930.
- Верещагин Г. Ю. Лимнология и пути ее современного развития // Исследования озер СССР. Т. 1. Л.: ГГИ, 1932. С. 5–19.
- Верещагин Г. Ю. Методы полевого гидрохимического анализа в их применении к гидрологической практике. Л.: Гос. гидрол. ин-т, 1933. 114 с.
- Верещагин Г. Ю. Байкал. Научно-популярный очерк. Иркутск: ОГИЗ, 1947. 114 с.
- Веселов Е. А. Юбилей старейшей пресноводной биологической станции // Гидробиол. журнал. 1977. Т. 13, вып. 6.
- Винберг Г. Г. Опыт изучения фотосинтеза и дыхания в водной массе озера. К вопросу о балансе органического вещества // Тр. Лимнол. ст. в Косине. 1934. Т. 18. С. 5–24.
- Воронихин Н. Н. Растительный мир континентальных водоемов. М.; Л.: АН СССР, 1953. 410 с.
- Калесник С. В. О географической лимнологии // История озер Северо-Запада СССР. Л., 1967. С. 5–7.
- Кожов М. М. Деятельность Восточно-Сибирского отдела Русского географического общества по изучению животного мира Сибири за 75 лет // 75 лет Восточно-Сибирскому отделу Русского географического общества. Иркутск, 1926. С. 109–124.
- Муравейский С. Д. Пути построения теории биологической продуктивности водоемов // Зоол. журн. 1936. Т. 15. С. 563–586.
- Муравейский С. Д. Реки и озера. Гидробиология. Сток. М.: Географгиз, 1960.
- Озерецковский Н. Я. Путешествие академика Н. Озерецковского по озерам Ладожскому, Онежскому и вокруг Ильмени. Второе изд. СПб., 1812. 559 с.
- Распопова В. М. Лев Семенович Берг (1876–1950) // Материалы к библиографии ученых СССР. Сер. геогр. наук. Вып. 2. М.: АН СССР, 1952. 145 с.
- Россолимо Л. Л. Задачи и установки лимнологии как науки // Тр. Лимнол. ст. в Косине. 1934. Т. 17. С. 5–20.
- Семенович Н. И. Лимнологические условия накопления железистых осадков в озерах // Тр. Лаб. озеровед. АН СССР. 1958. Т. 6. С. 1–188.
- Скориков А. С. Зоологические исследования Ладожской воды как питьевой // Ладожское озеро как источник водоснабжения. СПб.: Гор. тип., 1911. С. 587–709.
- Соловьев А. И., Муравейский С. Д. Предисловие к книге // Муравейский С. Д. Реки и озера. М.: Географгиз, 1960.
- Сухомлинов Н. И. Академик Н. Я. Озерецковский // История Российской академии. СПб.: Тип. Императорской акад. наук, 1875. Вып. 2.
- Талиев Д. Н. Глеб Юрьевич Верещагин. Предисловие к книге // Г. Ю. Верещагин. Байкал, научно-популярный очерк / Под ред. Д. Н. Талиева. Иркутск: ОГИЗ, 1947. С. 5–13.
- Фортунатов М. А. Международные лимнологические конгрессы. Исторический обзор к XVIII Международному лимнологическому конгрессу. Л.: Наука, 1971. 19 с.
- Широкова В. А. Россолимо Леонид Леонидович // Лица Москвы. Кн. 4: Р-Т. М.: Московская энциклопедия, 2012. С. 50.

Behning A. Das Leben der Volga // Verh. Internat. Verein. theor. und angew. Limnologie. 1927. Vol. 3.
Lindemann R. L. The trophic-dinamic aspect of ecology // Ecology. 1942. Vol. 23. P. 552–570.

Forel F. Handbuch der Seekunde // Allgemeine Limnologie. Stuttgart, 1901. 249 s.

Поступила в редакцию 04.09.2018

References

Andreev A. N. Ladozhskoe ozero [Lake Ladoga]. Pt. I, II. St. Petersburg: Tip. Morskogo ministerstva, 1875. 398 p.

Anuchin D. N. Vody sushy. Ozera [Land waters. Lakes]. *Zemlevedenie* [Physical Geogr.]. 1896. Vol. 2. P. 1–24.

Anuchin D. N. Ozera oblasti istokov Volgi i Zapadnoi Dviny [Lakes in the area of the sources of the Volga and the Western Dvina]. *Zemlevedenie* [Physical Geogr.]. 1898. Vol. 1/2. P. 109–164.

Berg L. S. D. N. Anuchin (1843–1923). *Ocherki po istorii russkikh geograficheskikh otkrytii* [Essays on the history of Russian geographical discoveries]. Moscow; Leningrad: AN SSSR, 1949. 446 p.

Berg L. S. Aral'skoe more [The Aral Sea]. St. Petersburg: Tip. M. M. Stasyulevicha, 1908. 580 p.

Bogoslovskii B. B., Muraveiskii S. D. *Ocherki po ozerovedeniyu* [Essays on limnology]. Moscow: Izd-vo Mosk. un-ta, 1955. 176 p.

Bolokhontsev E. N. Botaniko-biologicheskie issledovaniya Ladozhskogo ozera [Botanical and biological research on Lake Ladoga]. *Ladozhskoe ozero kak istochnik vodosnabzheniya* [Lake Ladoga as a source of water supply]. St. Petersburg: Gor. tip., 1911. P. 175–581.

Fortunatov M. A. Mezhdunarodnye limnologicheskie kongressy. Istoricheskiy obzor k XVIII Mezhdunarodnomu limnologicheskomu kongressu [International Limnological Congresses. A historical review for XVIII International Limnological Congress]. Leningrad: Nauka, 1971. 19 p.

Kalesnik S. V. O geograficheskoi limnologii [On geographical limnology]. *Istoriya ozer Severo-Zapada SSSR* [History of lakes in the Northwest of the USSR]. Leningrad, 1967. P. 5–7.

Kozhov M. M. Deyatel'nost' Vostochno-Sibirskogo otdela Russkogo geograficheskogo obshchestva po izucheniyu zhivotnogo mira Sibiri za 75 let [Activities of the East-Siberian Department of the Russian Geographical Society on studying fauna of Siberia for 75 years]. *75 let Vostochno-Sibirskomu otd. Russ. geogr. obshch.* [75 years of the East-Siberian Dep. of the Russ. Geogr. Society]. Irkutsk, 1926. P. 109–124.

Muraveiskii S. D. Puti postroeniya teorii biologicheskoi produktivnosti vodoemov [Ways of development of theory of waterbodies biological productivity]. *Zool. zhurn.* [Zool. J.]. 1936. T. 15. P. 563–586.

Muraveiskii S. D. Reki i ozera [Rivers and lakes]. Moscow: Geografgiz, 1960.

Ozeretskivskii N. Ya. Puteshestvie akademika N. Ozeretskivskogo po ozeram Ladozhskomu, Onezhskomu i vokrug Il'meni [Travel of academician N. Ozeretskivsky on Lakes Ladoga, Onego and around Ilmen]. 2nd ed. St. Petersburg, 1812. 559 p.

Raspopova V. M. Lev Semenovich Berg (1876–1950). *Materialy k bibliografii uchenykh SSSR. Ser. geogr. nauk* [Materials for the bibliography of scien-

tists of the USSR. Geograph. Sci. Ser.]. Iss. 2. Moscow: AN SSSR, 1952. 145 p.

Rossolimo L. L. Zadachi i ustanovki limnologii kak nauki [Goals and guidelines of limnology as a science]. *Tr. Limnol. st. v Kosino* [Proceed. Limnol. Station in Kosino]. 1934. Vol. 17. P. 5–20.

Semenovich N. I. Limnologicheskie usloviya nakopleniya zhelezistykh osadkov v ozerakh [Limnological conditions of ferriferous sediments accumulation in lakes]. *Tr. Lab. ozeroved. AN SSSR* [Proceed. Limnol. Lab., Acad. of Sci. of the USSR]. 1958. Vol. 6. P. 1–188.

Shirokova V. A. Rossolimo Leonid Leonidovich [Rossolimo Leonid Leonidovich]. *Litsa Moskvy* [Faces of Moscow]. B. 4: R-T. Moscow: Moskovskaya entsiklopediya, 2012. P. 50.

Skorikov A. S. Zoologicheskie issledovaniya Ladozhskoi vody kak pit'evoi [Zoological study of Lake Ladoga for drinking water]. *Ladozhskoe ozero kak istochnik vodosnabzheniya* [Lake Ladoga as a source of water supply]. St. Petersburg: Gor. tip., 1911. P. 587–709.

Solov'ev A. I., Muraveiskii S. D. Predislovie k knige [Foreword to the book]. *Muraveiskii S. D. Reki i ozera* [Rivers and lakes]. Moscow: Geografgiz, 1960.

Sukhomlinov N. I. Akademik N. Ya. Ozeretskivskii [Academician N. Ya. Ozeretskivsky]. *Istoriya Rossiiskoi akademii* [History of the Russ. Acad. of Sci.]. St. Petersburg: tip. Imperatorskoi akad. nauk, 1875. Iss. 2.

Taliev D. N. Gleb Yur'evich Vereshchagin. Predislovie k knige [Gleb Yuryevich Vereshchagin. Foreword to the book]. *G. Yu. Vereshchagin. Baikal, nauchno-populyarnyi ocherk* [Baikal: a popular scientific outline]. Irkutsk: OGIz, 1947. P. 5–13.

Vereshchagin G. Yu. Metody morfologicheskoi kharakteristiki ozer [Methods of morphological description of lakes]. *Tr. Olonetskoi nauchn. eksped.* [Proceed. Olonets Sci. Expedition]. Pt. II., iss. I. Leningrad: GGI, 1930.

Vereshchagin G. Yu. Limnologiya i puti ee sovremennogo razvitiya [Limnology and ways of its modern development]. *Issled. ozer SSSR* [Research of lakes of the USSR]. Vol. 1. Leningrad: GGI, 1932. P. 5–19.

Vereshchagin G. Yu. Metody polevogo gidrokhimicheskogo analiza v ikh primenenii k gidrologicheskoi praktike [Methods of field hydrochemical analysis and their application to hydrological practice]. Leningrad, 1933. 114 p.

Vereshchagin G. Yu. Baikal. Nauchno-populyarnyi ocherk [Baikal: a popular scientific outline]. Irkutsk: OGIz, 1947. 114 p.

Veselov E. A. Yubilei stareishei presnovodnoi biologicheskoi stantsii [Jubilee of the oldest freshwater biological station]. *Gidrobiol. zhurn.* [Hydrobiol. J.]. 1977. Vol. 13, iss. 6.

Vinberg G. G. Opyt izucheniya fotosinteza i dykhaniya v vodnoi masse ozera. K voprosu o balanse organi-

cheskogo veshchestva [Experience of studying photosynthesis and respiration in water mass of a lake. To the question of organic substance balance]. *Tr. Limnol. st. v Kosino* [Proceed. Limnol. Station in Kosino]. 1934. Vol. 18. P. 5–24.

Voronikhin N. N. *Rastitel'nyi mir kontinental'nykh vodoemov* [The vegetable kingdom of continental water bodies]. Moscow; Leningrad: AN SSSR, 1953. 410 p.

Behning A. *Das Lebender Volga. Verh. Internat. Verein. theor. und angew. Limnologie.* 1927. Vol. 3.

Lindemann R. L. The trophic-dinamic aspect of ecology. *Ecology.* Vol. 23. P 552–570.

Forel F. *Handbuch der Seekunde. Allgemeine Limnologie.* Stuttgart, 1901. 249 p.

Received September 04, 2018

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:

Трифонова Ирина Сергеевна

главный научный сотрудник, д. б. н., проф.
Институт озераведения РАН
ул. Севастьянова, 9, Санкт-Петербург, Россия, 196105
эл. почта: itrifonova@mail.ru

CONTRIBUTOR:

Trifonova, Irina

Institute of Limnology, Russian Academy of Sciences
9 Sevastyanov St., 196105 St. Petersburg, Russia
e-mail: itrifonova@mail.ru

ХРОНИКА

24-Я МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ ИНТЕРКАРТО/ИНТЕРГИС «ГЕОИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ ТЕРРИТОРИЙ» (Петрозаводск, 19–22 июля 2018 г.)

Российская часть конференции проходила с 19 по 22 июля 2018 г. в Петрозаводске, продолжая многолетнюю традицию международных научных мероприятий ИнтерКарто/ИнтерГИС.

Конференция организована и проведена Институтом водных проблем Севера Федерального исследовательского центра «Карельский научный центр РАН» и Московским государственным университетом имени М. В. Ломоносова при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 18-05-20048). Мероприятие состоялось под эгидой Международной картографической ассоциации (МКА), Международной академии наук Евразии, Центра мировой системы данных по географии ICSU-WDS, Русского географического общества и отделения РГО по Республике Карелия.

В работе мероприятия приняли участие 68 специалистов, представлявших различные регионы и города России (Москву, Санкт-Петербург, Тюмень, Красноярск, Ростов-на-Дону, Краснодар, Астрахань, Орел и др.), в том числе коллега из Италии. Участники конференции работают в области картографии, геоинформационных технологий, создания и применения ГИС в практике.

Материалы конференции, подготовленные совместно ИВПС КарНЦ РАН и МГУ им. Ломоносова, были опубликованы до начала мероприятия (Петрозаводск, КарНЦ РАН. 1020 с.

300 экз.). Все 87 статей двухтомного сборника прошли двойное рецензирование.

Доклады по шести основным направлениям – Геоинформационное обеспечение экологических, экономических и социальных аспектов устойчивого развития территорий; География мирового хозяйства, включая вопросы цифровой экономики; Геоинформатика и картографирование в области охраны окружающей среды и обеспечении экологической безопасности; Геоинформационное и картографическое обеспечение сохранения культурного наследия и туризма; Дистанционные методы исследования Земли; Геоинформационное моделирование, виртуальные географические среды и концепция Цифровой Земли – были заслушаны на четырех основных секциях конференции: 1. Геоинформационное обеспечение экологических, экономических и социальных аспектов устойчивого развития территорий. 2. Геоинформатика и картографирование в области охраны окружающей среды и обеспечении экологической безопасности. 3. Геоинформационное и картографическое обеспечение сохранения культурного наследия и туризма. 4. Геоинформационное моделирование, виртуальные географические среды и дистанционные методы исследования Земли.

Всего было заслушано 54 доклада, из них 6 пленарных, 44 секционных и 4 стендовых сообщения, посвященных вопросам использо-

вания теории и методов картографического моделирования и геоинформационных технологий для обеспечения устойчивого развития территорий. Представлены новые разработки, такие как «Экологический атлас России», «Национальный атлас Арктики», «Российская Арктика: пространство, время, ресурсы», комплексный атлас «Белое море и водосбор».

Особое внимание уделялось разработкам в рамках «Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации», реализации направлений, которые обеспечат переход к передовым цифровым, интеллектуальным производственным технологиям, а также обеспечению решения проблем связанности территории Российской Федерации, совершенствованию проектирования и использования транспортных систем и освоению Арктики.

Участники конференции отмечают, что развитие и использование геоинформационных технологий и проектов, картографическое моделирование и прогнозирование имеют важное научное и прикладное значение, уровень работ в данных областях неуклонно и динамично возрастает, расширяется территория исследова-

ний и внедрения в практику новейших картографических и геоинформационных методов и технологий.

На секции 1 из восьми докладов центральным было пленарное выступление проф. МГУ В. С. Тикунова «О деятельности Комиссии “Геоинформатика для устойчивого развития” Международной картографической ассоциации». На этой же секции были представлены сообщения о региональных разработках геоинформационного обеспечения устойчивого развития разных территорий РФ, таких как Север ЕТЧ РФ (Н. Н. Филатов), Азовское море (О. Е. Архипова), Крымский полуостров (А. И. Прасолова), Брянско-Белгородский участок российского приграничья (А. И. Игонин).

На секции 2 заслушаны доклады, в которых представлены разработки, имеющие важное значение для реализации «Стратегии развития РФ», такие как «Транспортная система России», «Водный транспорт» и др. Решению сложных социо-эколого-экономических задач территорий были посвящены доклады О. И. Марковой «Ценность присоединенных к Москве в 2012 году территорий и возможности их опти-



Участники конференции, 19.07.2018

мизации для устойчивого развития». П. В. Дружина с соавторами «Моделирование и пространственный анализ эколого-экономического состояния водосбора Белого моря».

На секциях 2 и 3 обсуждались вопросы геоинформатики и картографирования в области охраны окружающей среды и обеспечении экологической безопасности регионов. Среди них выделим такие сообщения, как «Геоинформационное моделирование медико-экологической безопасности южных регионов России» (О. Е. Архипова), «Картографирование потенциальных районов экологической дестабилизации в Российской Арктике» (С. К. Белоусов) и др. На секции, посвященной геоинформационному и картографическому обеспечению сохранения культурного наследия и туризма, особо отмечены доклады «Культурное, духовное и природное наследие в Национальном атласе Арктики» (А. И. Ельчанинов), «Образы Русского Севера в художественно-графическом обеспечении Атласа Арктики» (О. И. Маркова) и сообщение В. А. Шекова «Проект bsuip как инновационная платформа для изучения горно-промышленного наследия в России». Развитию и использованию дистанционных методов был посвящен ряд работ: «Применение ДДЗЗ в геоинформационном картографировании для археологических исследований» (И. Е. Сидорина), «Использование дистанционных методов оценки лесов Севера ЕТР РФ» (П. Ю. Литинский), «Методические аспекты дешифрирования инфраструктуры месторождений нефти и газа по снимкам высокого разрешения» (П. Е. Каргашин), «Автоматизированное дешифрирование лесотаксационных выделов по материалам космической съемки и цифровой модели рельефа местности» (М. А. Корец), «О проблеме определения временных границ вегетационных сезонов по данным наземных наблюдений и дистанционного зондирования» (Е. А. Паниди). Среди работ в области геоинформационного и картографического обеспечения сохранения культурного наследия и туризма отметим доклад «Особенности профессионального картографирования для целей сохранения историко-культурного наследия и туризма» (Т. А. Андреева). А также важные разработки, представленные в докладах «Использование технологий машинного обучения при решении геоинформационных задач» (А. А. Колесников), «Трехмерное моделирование рельефа: применение пакета Blender» (И. В. Флоринский) и доклад «Развитие и использование технологий дополненной реальности в качестве нового перспективного способа представления пространственных данных» (П. И. Кикин).

Пленарные, секционные и стендовые доклады были посвящены как традиционным методам геоинформатики и их приложениям, так и новым подходам к организации пространственных данных в форме ИПД – инфраструктур пространственных данных разного уровня управления и назначения.

21 июля после пленарных и секционных сообщений состоялась дискуссия и был заслушан проект Резолюции (решения) конференции.

22 июля были организованы экскурсии на остров Кижы, водопад Кивач, по г. Петрозаводску. Участники могли ознакомиться с инфраструктурой, институтами, возможностями ГИС-технологий КарНЦ РАН.

Партнером по проведению конференции, экскурсий и размещению участников была фирма ООО «ИнтурЛидер» (www.inturist-karelia.ru), по договору о сотрудничестве.

Подводя итоги работы конференции, можно отметить, что на ней были показаны широчайшие возможности использования современных геоинформационных технологий для решения различных практических задач. Полученные результаты в области геоинформатики, цифровых технологий, картографии будут способствовать все более широкому их использованию во всех сферах деятельности для обеспечения устойчивого развития территорий, найдут широкое применение при реализации «Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации».

Участники международной конференции ИнтерКарто/ИнтерГИС-24 приняли решение:

- Признать работы, представленные на конференции в российской части международной конференции в г. Петрозаводске, важным вкладом в развитие теоретико-методологических основ геоинформационного обеспечения устойчивого развития территорий.
- Рекомендовать шире использовать методологию картографических и геоинформационных исследований при разработке конкретных (экологических, изыскательских, исследовательских и других) проектов на региональном и локальном уровнях, используя опыт ведущих научных и образовательных учреждений.
- В качестве направлений дальнейшего развития методов и средств геоинформатики рекомендовать опыт отечественных разработок элементов инфраструктур пространственных данных, включая геопорталы и системы управления метаданными, а также использование открытых сетевых геоинформационных ресурсов, то есть свободно рас-

пространяемых пространственных данных и программного обеспечения ГИС.

- Признать целесообразным проведение специализированных семинаров в области использования картографического обеспечения и геоинформационных технологий для специалистов государственных и муниципальных органов власти.
- Активизировать исследования в области истории развития автоматизации в картографии и использования геоинформационных технологий, а также содействовать подготовке и изданию факсимильных исторических картографических произведений в регионах проведения международных конференций ИнтерКарто/ИнтерГИС.
- Способствовать более широкому информированию и доступности для широкой общественности результатов региональных тематических картографических произведений социально-экологической и медико-географической направленности.
- Привлекать ученых разных специальностей с целью расширения методологических возможностей и развития ГИС в качестве общего инструмента.
- Развивать теорию и методологию географических информационных систем и геоинформационного картографирования, используя новейшие достижения в области технологических решений, данных дистанционного зондирования, дистанционного обучения и междисциплинарной интеграции знаний.
- Развивать использование технологий дополненной реальности в качестве нового перспективного способа представления пространственных данных. Проводить ис-

следования возможностей использования технологий машинного обучения для целей обработки пространственных данных.

- В целях повышения устойчивого развития регионов России и постепенного перехода к экономике, основанной на цифровых технологиях, с учетом географического расположения рекомендовать научно-техническим экспертным советам при администрации регионов в подготовке аналитических материалов шире использовать современные геоинформационные технологии, обеспечивающие своевременную актуализацию проблем региона и подготовку взвешенных рекомендаций по их решению с учетом состояния внешней среды.
- Считать целесообразным проведение следующей международной конференции ИнтерКарто/ИнтерГИС-25 в феврале 2019 года в г. Мурманске.

Участники ИнтерКарто/ИнтерГИС-24 выразили благодарность Институту водных проблем Севера, Федеральному исследовательскому центру «Карельский научный центр РАН» за хорошую организацию мероприятия.

В свою очередь организаторы благодарят за поддержку АО «Славмо» (Петрозаводск).

Работа конференции была представлена на сайте Правительства Республики Карелия (http://www.gov.karelia.ru/gov/News/2018/07/0723_29.html). Материалы конференции, фрагменты работы, фотографии, резолюция представлены на сайтах ИВПС КарНЦ РАН: <http://nwpi-karelia.ru/events/4995/5006/>; <http://intercarto.msu.ru/>

Н. Н. Филатов, Т. И. Регеранд

ЮБИЛЕИ И ДАТЫ

ОСНОВАТЕЛЬ ОТДЕЛА ВОДНЫХ ПРОБЛЕМ КАРЕЛЬСКОГО ФИЛИАЛА АН СССР (к 130-летию со дня рождения Сергея Владимировича Григорьева)

В этом году исполнилось 130 лет со дня рождения выдающегося гидролога и гидроэнергетика Сергея Владимировича Григорьева (1888–1974). В 1947 г. он стал основателем Отдела водных проблем Карельского филиала АН СССР, которым затем плодотворно руководил на протяжении 15 лет. За это время произошло становление уникального исследовательского коллектива. В 1991 г. на базе отдела было создано новое научное учреждение – Институт водных проблем Севера¹.

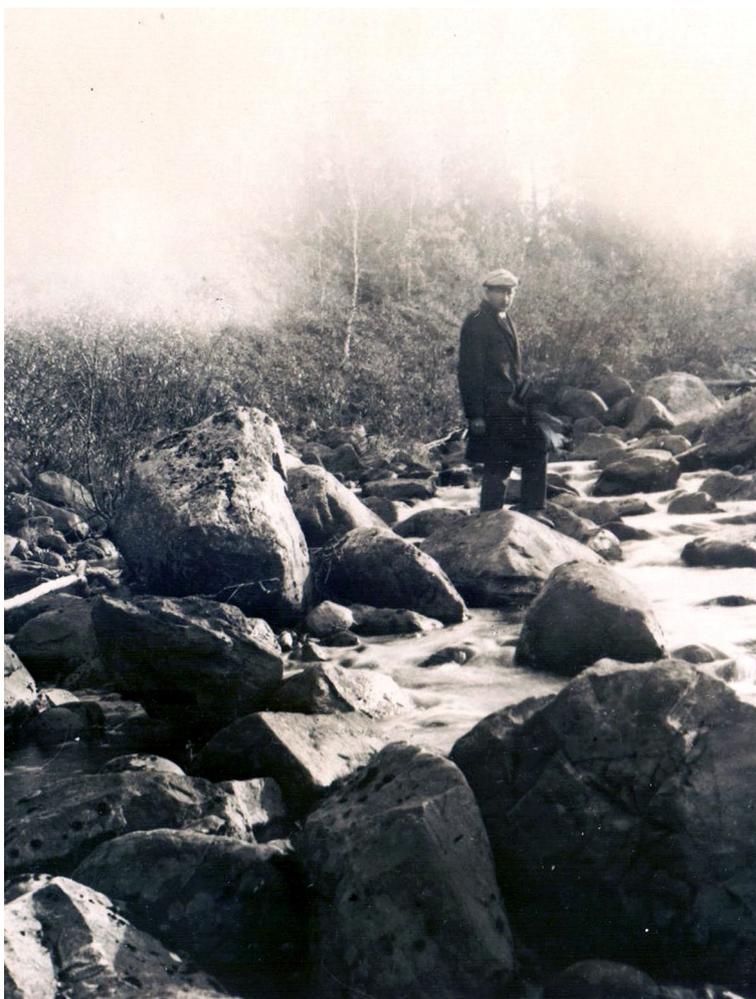
С. В. Григорьев родился 9 июня 1888 г. в городе Ораниенбауме (ныне Ломоносов) в семье военного фельдшера. В 1906 г. окончил с золотой медалью гимназию и поступил на электромеханическое отделение Петербургского политехнического института. Завершив учебу в 1913 г. по специальности «инженер-электрик, специалист по электростанциям и гидроэнергетике», он приступил к работе в Управлении внутренних водных путей Министерства путей сообщения. Сначала был помощником, а затем стал начальником исследовательской партии.

¹ При подготовке статьи использовались материалы: Личное дело С. В. Григорьева // Архив КарНЦ РАН. Ф. 2. Оп. 35. Д. 532; *Филатов Н. Н.* К 25-летию Института водных проблем Севера Карельского научного центра РАН // Труды КарНЦ РАН. 2016. № 5. С. 117–125; *Собисевич А. В.* С. В. Григорьев и его вклад в изучение водных ресурсов Карелии // Институт истории естествознания и техники им. С. И. Вавилова. Годичная научная конференция, посвященная 85-летию ИИЕТ РАН. Т. 23. М., 2017. С. 553–555.

В 1917 г. С. В. Григорьев начал работу по теме «Водно-энергетические схемы Карело-Мурманского края». В 1922 г. принимал участие в работе Малого Совнаркома РСФСР, где решались вопросы промышленного развития карельского края. В 1923 г. ему предложили стать



С. В. Григорьев (фото из архива КарНЦ РАН)



С. В. Григорьев осматривает район строительства ГЭС «Нива-2», 1935 г. (фото из архива КарНЦ РАН)

заместителем главного инженера на строительстве Кондопожской ГЭС Д. И. Верещагина. С этого времени С. В. Григорьев начинает заниматься помимо инженерно-проектных работ и научными исследованиями, работая в Научно-исследовательском институте энергетики и электрификации, Государственном гидрологическом институте и Географо-экономическом научно-исследовательском институте Ленинградского государственного университета. Академик АН СССР А. Е. Ферсман, курирующий развитие гидроэнергетики в Советском Союзе, отмечал, что С. В. Григорьев «...не только крупный инженер-проектировщик, обогащенный огромным опытом, но и, несомненно, очень серьезный научный работник с большим кругозором и с новаторскими идеями, представляющими большой интерес». Благодаря проведенным им расчетам водного баланса водосборов, прежде не охваченных регулярными наблюдениями, была определена обеспечен-

ность гидроэнергетическими ресурсами таких создаваемых на территории Карелии и Кольского полуострова гидроэлектростанций, как Нижне-Тулумская, Нива-1 и Нива-2.

Под руководством С. В. Григорьева в Карелии создается сеть гидрологических постов, проводятся наблюдения за годовым стоком рек для определения их гидроэнергетических возможностей. Результаты этой работы были отражены в вышедших с 1928 по 1935 гг. «Материалах по гидрографии, гидрологии и водным силам СССР». С 1944 по 1946 гг. он руководил исследованиями по теме «Ладожское озеро и его географо-экономический комплекс» в Ленинградском государственном университете.

26 сентября 1946 г. С. В. Григорьев стал исполнять обязанности заведующего Сектором гидрологии и водного хозяйства, учрежденным при Карело-Финской базе АН СССР. Небольшой коллектив доказал, что его исследования востребованы в послевоенной Карелии, нуж-



*С. В. Григорьев с сотрудниками сектора гидрологии Отдела водных проблем, 1953 г.
(фото из коллекции ИВПС КарНЦ РАН)*

дающей в восстановлении многих разрушенных отраслей промышленности. Сектор расширялся и вскоре был преобразован в отдел. Руководя отделом, С. В. Григорьев проводил большую работу по организации регулярного изучения водных ресурсов Карелии. В этих исследованиях большое значение имели его собственные научные разработки, как, например, метод определения мощности малых водосток. В 1947 г. С. В. Григорьеву присуждают степень кандидата географических наук за работу «Потенциальные энергоресурсы малых рек СССР», а в 1948 г. за выдающиеся заслуги по изучению водных ресурсов Карелии – звание заслуженного деятеля науки Карело-Финской ССР.

Основным объектом исследований Отдела водных проблем под руководством С. В. Григорьева стало установление гидроэнергетического потенциала рек, а также комплексное изучение озер. Одной из первых задач отдела было составление инвентарной описи водных ресурсов края: в 1948 г. составлен каталог рек Карелии, а в 1949 г. завершена работа по составлению каталога озер. Каталог озер давал представление об общей численности озер на территории карельского гидрографического района, а также позволял определить для каждого из описанных водных объектов основные морфометрические и гидрологические

характеристики. На основании сводных данных о площади и числе озер стало возможным определить «коэффициент озерности» для каждого водосбора.

Важным этапом для исследования озерно-речных систем Карелии стало проведение с 1948 г. под руководством С. В. Григорьева комплексных экспедиций. Комплексный характер исследований водных объектов определил и структуру Отдела водных проблем, основу которого составили пять лабораторий: гидрологии, гидробиологии, водохозяйственных исследований, гидрохимии и гидробиологии. В рамках исследовательской темы «Комплексное изучение водоемов в целях разработки научных основ их рационального использования и охраны» лабораториями проводилось исследование влияния сбросов сточных вод целлюлозно-бумажной промышленности на качество вод водохранилищ, изучались закономерности формирования гидрологического, гидрохимического и гидробиологического режимов малых водоемов, выявлялись запасы подземных вод для питьевого водоснабжения, составлялись водохозяйственные балансы и оценивалась кормовая база водоемов. До середины 1960-х гг. экологическому состоянию озер и других водных объектов в Советском Союзе уделялось не так много внимания, поэтому приоритет в этом вопросе С. В. Григорьева для

нас очевиден. В 1961 г. он обобщил итоги работы отдела в монографии «Внутренние воды Карелии и их хозяйственное использование». В этом же году по совокупности опубликованных научных работ он получает научную степень доктора географических наук.

В 1957 г. С. В. Григорьев направляет записку на имя председателя Президиума Карельского филиала АН СССР В. С. Слодкевича с просьбой освободить его от должности заведующего отделом. По всей видимости, причиной этой просьбы была большая нагрузка и нахождение в постоянных разъездах: С. В. Григорьев работал совместителем в Кольском филиале АН СССР, а в Ленинграде жила его семья. Прошение не было поддержано, так как в этот момент среди сотрудников отдела просто не было кандидатур, способных заменить С. В. Григорьева. Однако в 1963 г. по состоянию здоровья он передает руководство отделом И. М. Нестеренко. В том же году происходит расформирование Карельского филиала АН СССР, а Отдел водных проблем временно становится учреждением Северного научно-исследовательского института гидротехники и мелиорации Министерства мелиорации и водного хозяйства. В 1967 г. Карельский филиал АН СССР был восстановлен, и Отдел водных проблем вернулся в его состав. В 1968 г. руководителем отдела стал В. А. Фрейдлинг, фактически он вместе с И. М. Нестеренко продолжил традиции «григорьевской школы» карельских гидрологов.

В 1964 г. С. В. Григорьев переходит на работу в Институт озероведения АН СССР, где продолжает изучать водные объекты на территории Карелии. Вместе с А. Г. Люллиным он руководит исследовательскими темами «Онежское озеро как объект хозяйственного использования» и «Хозяйственное использование Ладожского озера». В это же время сложилось его плодотворное сотрудничество с директором Института озероведения, академиком АН СССР С. В. Калесником. Вскоре С. В. Григорьев из-за проблем со здоровьем уже не мог часто бывать в институте и с 1970 г. исполнял обязанности научного консультанта. В течение последующих нескольких лет он внес весомый вклад в подготовку молодых лимнологов.

В завершающий период жизни у С. В. Григорьева появляется интерес к истории изучения территории Карелии. В 1958 г. он публикует статью «Картография, география, геология» в сборнике «Из летописи по истории науки и техники Карелии и Кольского полуострова». В 1967 г. – «Краткий обзор научных исследований по энергетике и гидроэнергетике Советской Карелии за 50 лет». Наибольшую же известность получил его труд «Биографический словарь. Естествознание и техника в Карелии». Словарь увидел свет в 1973 г., а в начале следующего года С. В. Григорьев после тяжелой болезни ушел из жизни.

Современники высоко оценивали заслуги Сергея Владимировича Григорьева. Его считали крупнейшим знатоком гидроэнергетических ресурсов на территории Карелии и Кольского полуострова, основателем научной школы карельских гидрологов и инициатором создания такого направления, как «водное хозяйство». Лаборатория гидрохимии в составе Отдела водных проблем стала одной из ведущих в системе филиалов Академии наук СССР. С. В. Григорьев смог подробно описать водные ресурсы Карелии, о которых ранее имелись только приблизительные сведения. Его работы не теряют актуальности и в настоящее время, так, изданная в 1956 г. работа «Водопады Карелии» стала основой для исследования «“Алмазна сыплется гора...”: неизвестные водопады Карелии», проводимого в 2014–2015 гг. сотрудниками Института водных проблем Севера. Как очень разносторонний человек, С. В. Григорьев также интересовался физической географией, инженерной геологией и историей географии. Последний аспект научной деятельности остается в тени его заслуг в области гидрологии, но именно успехи в изучении водного хозяйства Карелии привели его к очень важным работам в истории науки.

*Н. Н. Филатов, чл.-корр. РАН, д. г. н.,
директор ИВПС КарНЦ РАН
А. В. Собисевич, к. г. н., ст. научный сотрудник
Института истории естествознания и техники
им. С. И. Вавилова РАН*

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ

(требования к работам, представляемым к публикации
в «Трудах Карельского научного центра Российской академии наук»)

«Труды Карельского научного центра Российской академии наук» (далее – Труды КарНЦ РАН) публикуют результаты завершённых оригинальных исследований в различных областях современной науки: теоретические и обзорные статьи, сообщения, материалы о научных мероприятиях (симпозиумах, конференциях и др.), персоналии (юбилеи и даты, потери науки), статьи по истории науки. Представляемые работы должны содержать новые, ранее не публиковавшиеся данные.

Статьи проходят обязательное рецензирование. Решение о публикации принимается редакционной коллегией серии или тематического выпуска Трудов КарНЦ РАН после рецензирования, с учётом научной значимости и актуальности представленных материалов. Редакционные серии и отдельных выпусков Трудов КарНЦ РАН оставляют за собой право возвращать без регистрации рукописи, не отвечающие настоящим правилам.

При получении редакцией рукопись регистрируется (в случае выполнения авторами основных правил её оформления) и направляется на отзыв рецензентам. Отзыв состоит из ответов на типовые вопросы анкеты и может содержать дополнительные расширенные комментарии. Кроме того, рецензент может вносить замечания и правки в текст рукописи. Авторам высылаются электронная версия анкеты и комментарии рецензентов. Доработанный экземпляр автор должен вернуть в редакцию вместе с первоначальным экземпляром и ответом на все вопросы рецензента не позднее чем через месяц после получения рецензии. Перед опубликованием авторам высылаются распечатанная версия статьи, которая вычитывается, подписывается авторами и возвращается в редакцию.

Журнал имеет полноценную электронную версию на базе Open Journal System (OJS), позволяющую перевести предоставление и редактирование рукописи, общение автора с редколлегией серий и рецензентами в электронный формат и обеспечивающую прозрачность процесса рецензирования при сохранении анонимности рецензентов (<http://journals.krc.karelia.ru/>).

Редакционный совет журнала «Труды Карельского научного центра РАН» (Труды КарНЦ РАН) определил для себя в качестве одного из приоритетов полную открытость издания. Это означает, что пользователям на условиях свободного доступа разрешается: читать, скачивать, копировать, распространять, печатать, искать или находить полные тексты статей журнала по ссылке без предварительного разрешения от издателя и автора. Учредители журнала берут на себя все расходы по редакционно-издательской подготовке статей и их опубликованию.

Содержание номеров Трудов КарНЦ РАН, аннотации и полнотекстовые электронные варианты статей, а также другая полезная информация, включая настоящие Правила, доступны на сайтах – <http://transactions.krc.karelia.ru>; <http://journals.krc.karelia.ru>

Почтовый адрес редакции: 185000, г. Петрозаводск, ул. Пушкинская, 11, КарНЦ РАН, редакция Трудов КарНЦ РАН. Телефон: (8142) 762018.

ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ РУКОПИСИ

Статьи публикуются на русском или английском языке. Рукописи должны быть тщательно выверены и отредактированы авторами.

Объём рукописи (включая таблицы, список литературы, подписи к рисункам, рисунки) не должен превышать: для обзорных статей – 30 страниц, для оригинальных – 25, для сообщений – 15, для хроники и рецензий – 5–6. Объём рисунков не должен превышать 1/4 объёма статьи. Рукописи большего объёма (в исключительных случаях) принимаются при достаточном обосновании по согласованию с ответственным редактором.

При оформлении рукописи применяется полуторный межстрочный интервал, шрифт Times New Roman, кегль 12, выравнивание по обоим краям. Размер полей страницы – 2,5 см со всех сторон. Все страницы, включая список литературы и подписи к рисункам, должны иметь сплошную нумерацию в нижнем правом углу. Страницы с рисунками не нумеруются.

Рукописи подаются в электронном виде в формате MS Word на сайте <http://journals.krc.karelia.ru> либо на e-mail: trudy@krc.karelia.ru, или же представляются в редакцию лично (г. Петрозаводск, ул. Пушкинская, 11, каб. 502). К рукописи желательно прилагать два бумажных экземпляра, напечатанных на одной стороне листа формата А4 в одну колонку.

ОБЩИЙ ПОРЯДОК РАСПОЛОЖЕНИЯ ЧАСТЕЙ СТАТЬИ

Элементы статьи должны располагаться в следующем порядке: *УДК* курсивом на первой странице, в левом верхнем углу; заглавие статьи на русском языке заглавными буквами полужирным шрифтом; инициалы, фамилии всех авторов на русском языке полужирным шрифтом; полное название организации – места работы каждого автора в именительном падеже на русском языке курсивом (если авторов несколько и работают они в разных учреждениях, следует отметить арабскими цифрами соответствие фамилий авторов учреждениям, в которых они работают; если все авторы статьи работают в одном учреждении, можно не указывать место работы каждого автора отдельно); аннотация на русском языке; ключевые слова на русском языке; инициалы, фамилии всех авторов на английском языке полужирным шрифтом; название статьи на английском языке заглавными буквами полужирным шрифтом; аннотация на английском языке; ключевые слова на английском языке; текст статьи (статья экспериментального характера, как правило, должны иметь разделы: **Введение. Материалы и методы. Результаты и обсуждение. Выводы либо Заключение**); благодарности и указание источников финансирования выполненных исследований; списки литературы: с библиографическими описаниями на языке и алфавите оригинала (**Литература**) и транслитерированный в латиницу с переводом русскоязычных источников на английский язык (**References**); таблицы на русском и английском языках (на отдельных листах); рисунки (на отдельных листах); подписи к рисункам на русском и английском языках (на отдельном листе).

На отдельном листе дополнительные сведения об авторах: фамилии, имена, отчества всех авторов полностью на русском и английском языке; полный почтовый адрес каждой организации (страна, город) на русском и английском языке; должности, ученые звания, ученые степени авторов; адрес электронной почты для каждого автора; телефон для контактов с авторами статьи (можно один на всех авторов).

ЗАГЛАВИЕ СТАТЬИ должно точно отражать содержание статьи* и состоять из 8–10 значимых слов.

АННОТАЦИЯ** должна быть лишена вводных фраз, создавать в возможно полное представление о содержании статьи и иметь объем не менее 200 слов. Рукопись с недостаточно раскрывающей содержание аннотацией может быть отклонена.

Отдельной строкой приводится перечень КЛЮЧЕВЫХ СЛОВ (не менее 5). Ключевые слова или словосочетания отделяются друг от друга точкой с запятой, в конце фразы ставится точка. Слова, фигурирующие в заголовке статьи, ключевыми являться не могут.

Раздел «Материалы и методы» должен содержать сведения об объекте исследования с обязательным указанием латинских названий и сводок, по которым они приводятся, авторов классификаций и пр. Транскрипция географических названий должна соответствовать атласу последнего года издания. Единицы физических величин приводятся по Международной системе СИ. Желательна статистическая обработка всех количественных данных. Необходимо возможно точнее обозначать местонахождения (в идеале – с точным указанием географических координат).

Изложение результатов должно заключаться не в пересказе содержания таблиц и графиков, а в выявлении следующих из них закономерностей. Автор должен сравнить полученную им информацию с имеющейся в литературе и показать, в чем заключается ее новизна. Следует ссылаться на табличный и иллюстративный материал так: на рисунки, фотографии и таблицы в тексте (рис. 1, рис. 2, табл. 1, табл. 2 и т. д.), фотографии, помещаемые на вкладышах (рис. I, рис. II). Обсуждение завершается формулировкой в разделе «Заключение» основного вывода, которая должна содержать конкретный ответ на вопрос, поставленный во «Введении». Ссылки на литературу в тексте даются фамилиями, например: Карху, 1990 (один автор); Раменская, Андреева, 1982 (два автора); Крутов и др., 2008 (три автора или более) либо начальным словом описания источника, приведенного в списке литературы, и заключаются в квадратные скобки. При перечислении нескольких источников работы располагаются в хронологическом порядке, например: [Иванов, Топоров, 1965; Успенский, 1982; Erwin et al., 1989; Атлас..., 1994; Longman, 2001].

ТАБЛИЦЫ нумеруются в порядке упоминания их в тексте, каждая таблица имеет свой заголовок. Заголовки таблиц, заголовки и содержание столбцов, строк, а также примечания приводятся на русском и английском языках. На полях бумажного экземпляра рукописи (слева) карандашом указываются места расположения таблиц при первом упоминании их в тексте. Диаграммы и графики не должны дублировать таблицы. Материал таблиц должен быть понятен без дополнительного обращения к тексту. Все сокращения, использованные в таблице, поясняются в Примечании, расположенном под ней. При повторении цифр в столбцах нужно их повторять, при повторении слов – в столбцах ставить кавычки. Таблицы могут быть книжной или альбомной ориентации (при соблюдении вышеуказанных параметров страницы).

РИСУНКИ представляются отдельными файлами с расширением TIF (* .TIF) или JPG. При первичной подаче материала в редакцию рисунки вставляются в общий текстовый файл. При сдаче материала, принятого в печать, все рисунки из текста статьи должны быть убраны и представлены в виде отдельных файлов в вышеуказанном формате. Графические материалы должны быть снабжены распечатками с указа-

* Названия видов приводятся на латинском языке КУРСИВОМ, в скобках указываются высшие таксоны (семейства), к которым относятся объекты исследования.

** Обращаем внимание авторов, что в связи с подготовкой журнала к включению в международные базы данных библиографических описаний и научного цитирования расширенная аннотация на английском языке, двуязычные таблицы и подписи к рисункам, а также транслитерированный в латиницу список использованной литературы приобретают особое значение.

нием желательного размера рисунка, пожеланий и требований к конкретным иллюстрациям. На каждый рисунок должна быть как минимум одна ссылка в тексте. Иллюстрации объектов, исследованных с помощью фотосъемки, микроскопа (оптического, электронного трансмиссионного и сканирующего), должны сопровождаться масштабными линейками, причем в подрисуночных подписях надо указать длину линейки. Приводить данные о кратности увеличения необязательно, поскольку при публикации рисунков размеры изменятся. Крупномасштабные карты желательно приводить с координатной сеткой, обозначениями населенных пунктов и/или названиями физико-географических объектов и разной фактурой для воды и суши. В углу карты желательна врезка с мелкомасштабной картой, где был бы указан участок, увеличенный в крупном масштабе в виде основной карты.

ПОДПИСИ К РИСУНКАМ приводятся на русском и английском языках, должны содержать достаточно полную информацию, для того чтобы приводимые данные могли быть понятны без обращения к тексту (если эта информация уже не дана в другой иллюстрации). Аббревиации расшифровываются в подрисуночных подписях, детали на рисунках следует обозначать цифрами или буквами, значение которых также приводится в подписях.

ЛАТИНСКИЕ НАЗВАНИЯ. В расширенных латинских названиях таксонов не ставится запятая между фамилией авторов и годом, чтобы была понятна разница между полным названием таксона и ссылкой на публикацию в списке литературы. Названия таксонов рода и вида печатаются курсивом. Вписывать латинские названия в текст от руки недопустимо. Для флористических, фаунистических и таксономических работ при первом упоминании в тексте и таблицах приводится русское название вида (если такое название имеется) и полностью – латинское, с автором и желательно с годом, например: водяной ослик (*Asellus aquaticus* (L. 1758)). В дальнейшем можно употреблять только русское название или сокращенное латинское без фамилии автора и года опубликования, например, для брюхоногого моллюска *Margarites groenlandicis* (Gmelin 1790) – *M. groenlandicus* или для подвида *M. g. umbilicalis*.

СОКРАЩЕНИЯ. Разрешаются лишь общепринятые сокращения – названия мер, физических, химических и математических величин и терминов и т. п. Все сокращения должны быть расшифрованы, за исключением небольшого числа общепотребительных.

БЛАГОДАРНОСТИ. В этой рубрике выражается признательность частным лицам, сотрудникам учреждений и фондам, оказавшим содействие в проведении исследований и подготовке статьи, а также указываются источники финансирования работы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ. Пристатейные ссылки и/или списки пристатейной литературы следует оформлять по ГОСТ Р 7.0.5-2008. Библиографическая ссылка. Общие требования и правила составления (http://www.bookchamber.ru/GOST_P_7.0.5.-2008). Список работ представляется в алфавитном порядке. Все ссылки даются на языке оригинала (названия на японском, китайском и других языках, использующих нелатинский шрифт, пишутся в русской транскрипции). Сначала приводится список работ на русском языке и на языках с близким алфавитом (украинский, болгарский и др.), а затем – работы на языках с латинским алфавитом. В списке литературы между инициалами ставится пробел.

ТРАНСЛИТЕРИРОВАННЫЙ СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ (REFERENCES). Приводится отдельным списком, повторяя все позиции основного списка литературы. Описания русскоязычных работ указываются в латинской транслитерации, рядом в квадратных скобках помещается их перевод на английский язык. Выходные данные приводятся на английском языке (допускается транслитерация названия издательства). При наличии переводной версии источника можно указать его библиографическое описание вместо транслитерированного. Библиографические описания прочих работ приводятся на языке оригинала. Для составления списка рекомендуется использование бесплатных онлайн-сервисов транслитерации, вариант BSI.

Внимание! С 2015 года каждой статье, публикуемой в «Трудах Карельского научного центра РАН», редакцией присваивается уникальный идентификационный номер цифрового объекта (DOI) и статья включается в базу данных Crossref. **Обязательным условием является указание в списках литературы DOI для тех работ, у которых он есть.**

ОБРАЗЕЦ ОФОРМЛЕНИЯ 1-Й СТРАНИЦЫ

УДК 631.53.027.32:635.63

ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ РЕЖИМОВ ПРЕДПОСЕВНОГО ЗАКАЛИВАНИЯ СЕМЯН НА ХОЛОДОУСТОЙЧИВОСТЬ РАСТЕНИЙ ОГУРЦА

Е. Г. Шерудило¹, М. И. Сысоева¹, Г. Н. Алексейчук², Е. Ф. Марковская¹

¹Институт биологии Карельского научного центра РАН

²Институт экспериментальной ботаники НАН Республики Беларусь им. В. Ф. Купревича

Аннотация на русском языке

Ключевые слова: *Cucumis sativus* L.; кратковременное снижение температуры; устойчивость.

E. G. Sherudilo, M. I. Sysoeva, G. N. Alekseichuk, E. F. Markovskaya. EFFECTS OF DIFFERENT REGIMES OF SEED HARDENING ON COLD RESISTANCE IN CUCUMBER PLANTS

Аннотация на английском языке

Keywords: *Cucumis sativus* L.; temperature drop; resistance.

ОБРАЗЕЦ ОФОРМЛЕНИЯ ТАБЛИЦЫ

Таблица 2. Ультраструктура клеток мезофилла листа в последствии 10-минутного охлаждения (2 °С) проростков или корней пшеницы

Table 2. Ultrastructure of leaf mesophyll cells after the exposure of wheat seedlings or roots to 10 min of chilling at 2 °C

Показатель Index	Контроль Control	Охлаждение проростков Seedling chilling	Охлаждение корней Root chilling
Площадь среза хлоропласта, мкм ² Chloroplast cross-sectional area, μm ²	10,0 ± 0,7	13,5 ± 1,1	12,7 ± 0,5
Площадь среза митохондрии, мкм ² Mitochondria cross-sectional area, μm ²	0,4 ± 0,03	0,5 ± 0,03	0,6 ± 0,04
Площадь среза пероксисомы, мкм ² Peroxisome cross-sectional area, μm ²	0,5 ± 0,1	0,5 ± 0,1	0,7 ± 0,1
Число хлоропластов на срезе клетки, шт. Number of chloroplasts in cell cross-section	9 ± 1	8 ± 1	10 ± 1
Число митохондрий на срезе клетки, шт. Number of mitochondria in cell cross-section	8 ± 1	8 ± 1	10 ± 1
Число пероксисом на срезе клетки, шт. Number of peroxisomes in cell cross-section	2 ± 0,3	2 ± 0,3	3 ± 0,4

Примечание. Здесь и в табл. 3: все параметры ультраструктуры измеряли через 24 ч после охлаждения.

Note. Here and in Tab. 3 all ultrastructure parameters were measured 24 h after chilling.

ОБРАЗЕЦ ОФОРМЛЕНИЯ ПОДПИСИ К РИСУНКУ

Рис. 1. Северный точильщик (*Hadrobregmus confuses* Kraaz.)

Fig. 1. Woodboring beetle *Hadrobregmus confuses* Kraaz.

Рис. 5. Результаты изучения кристаллитов и демпферных зон в образце кварца из Дульдурги:

(а) – электронная микрофотография кварца; (б) – картина микродифракции, полученная для участка 1 в области кристаллитов; (в) – картина микродифракции, отвечающая участку 2 в области демпферных зон

Fig. 5. Results of the study of crystallites and damping zones in a quartz sample from Duldurga:

(a) – electron microphotograph of the quartz sample; (б) – microdiffraction image of site 1 in the crystallite area; (в) – microdiffraction image corresponding to site 2 in the damping area

ОБРАЗЕЦ ОФОРМЛЕНИЯ СПИСКА ЛИТЕРАТУРЫ

Ссылки на книги

Вольф Г. Н. Дисперсия оптического вращения и круговой дихроизм в органической химии / Ред. Г. Снатцке. М.: Мир, 1970. С. 348–350.

Патрушев Л. И. Экспрессия генов. М.: Наука, 2000. 830 с.

Knorre D. G., Laric O. L. Theory and practice in affinity techniques / Eds P. V. Sundaram, F. L. Eckstein. N. Y., San Francisco: Acad. Press, 1978. P. 169–188.

В транслитерированном списке литературы:

Vol'f G. N. Dispersiya opticheskogo vrashheniya i krugovoj dikhroizm v organicheskoy khimii [Optical rotatory dispersion and circular dichroism in Organic Chemistry]. Ed. G. Snattske. Moscow: Mir, 1970. P. 348–350.

Patrushev L. I. Ekspressiya genov [Gene expression]. Moscow: Nauka, 2000. 830 p.

Knorre D. G., Laric O. L. Theory and practice in affinity techniques. Eds P. V. Sundaram, F. L. Eckstein. N. Y., San Francisco: Acad. Press, 1978. P. 169–188.

Ссылки на статьи

Викторов Г. А. Межвидовая конкуренция и сосуществование экологических гомологов у паразитических перепончатокрылых // Журн. общ. биол. 1970. Т. 31, № 2. С. 247–255.

Grove D. J., Loisesides L., Nott J. Satiation amount, frequency of feeding and emptying rate in *Salmo gairdneri* // J. Fish. Biol. 1978. Vol. 12, no. 4. P. 507–516.

Noctor G., Queval G., Mhamdi A., Chaouch A., Foyer C. H. Glutathione // Arabidopsis Book. American Society of plant Biologists, Rockville, MD. 2011. doi:10.1199/tab.0142

В транслитерированном списке литературы:

Viktorov G. A. Mezhhvidovaya konkurentsia i sosushhestvovanie ehkologicheskikh gomologov u paraziticheskikh pereponchatokrylykh [Interspecific competition and coexistence ecological homologues in parasitic Hymenoptera]. Zhurn. obshh. biol. [Biol. Bull. Reviews]. 1970. Vol. 31, no. 2. P. 247–255.

Grove D. J., Loisesides L., Nott J. Satiation amount, frequency of feeding and emptying rate in *Salmo gairdneri*. J. Fish. Biol. 1978. Vol. 12, no. 4. P. 507–516.

Noctor G., Queval G., Mhamdi A., Chaouch A., Foyer C. H. Glutathione. Arabidopsis Book. American Society of plant Biologists, Rockville, MD. 2011. doi: 10.1199/tab.0142

Ссылки на материалы конференций

Марьинских Д. М. Разработка ландшафтного плана как необходимое условие устойчивого развития города (на примере Тюмени) // Экология ландшафта и планирование землепользования: тезисы докл. Всерос. конф. (Иркутск, 11–12 сент. 2000 г.). Новосибирск, 2000. С. 125–128.

В транслитерированном списке литературы:

Mar'inskikh D. M. Razrabotka landshaftnogo plana kak neobkhodimoe uslovie ustoichivogo razvitiya goroda (na primere Tyumeni) [Landscape planning as a necessary condition for sustainable development of a city (example of Tyumen)]. Ekologiya landshafta i planirovanie zemlepol'zovaniya: Tezisy dokl. Vseros. konf. (Irkutsk, 11–12 sent. 2000 g.) [Landscape ecology and land-use planning: abstracts of all-Russian conference (Irkutsk, Sept. 11–12, 2000)]. Novosibirsk, 2000. P. 125–128.

Ссылки на диссертации или авторефераты диссертаций

Шефтель Б. И. Экологические аспекты пространственно-временных межвидовых взаимоотношений землероек Средней Сибири: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. М., 1985. 23 с.

Лозовик П. А. Гидрогеохимические критерии состояния поверхностных вод гумидной зоны и их устойчивости к антропогенному воздействию: Дис. ... докт. хим. наук. Петрозаводск, 2006. 481 с.

В транслитерированном списке литературы:

Sheftel' B. I. Ekologicheskie aspekty prostranstvenno-vremennykh mezhhvidovykh vzaimootnoshenii zemlerоек Srednei Sibiri [Ecological aspects of spatio-temporal interspecies relations of shrews of Middle Siberia]: Summary of PhD (Cand. of Biol.) thesis. Moscow, 1985. 23 p.

Lozovik P. A. Hidrogeokhimicheskie kriterii sostoyaniya poverkhnostnykh vod gumidnoi zony i ikh ustoichivosti k antropogennomu vozdeistviyu [Hydrogeochemical criteria of the state of surface water in humid zone and their tolerance to anthropogenic impact]: DSc (Dr. of Chem.) thesis. Petrozavodsk, 2006. 481 p.

Ссылки на патенты

Патент РФ № 2000130511/28.04.12.2000.

Еськов Д. Н., Серегин А. Г. Оптико-электронный аппарат // Патент России № 2122745. 1998. Бюл. № 33.

В транслитерированном списке литературы:

Patent RF № 2000130511/28. 04. 12. 2000 [Russian patent No. 2000130511/28. December 4, 2000].

Es'kov D. N., Seregin A. G. Optiko-elektronnyi apparat [Optoelectronic apparatus]. Patent Rossii № 2122745 [Russian patent No. 2122745]. 1998. Bulletin No. 33.

Ссылки на архивные материалы

Гребенщиков Я. П. К небольшому курсу по библиографии: материалы и заметки, 26 февр. – 10 марта 1924 г. // ОР РНБ. Ф. 41. Ед. хр. 45. Л. 1–10.

В транслитерированном списке литературы:

Grebenshchikov Ya. P. K nebol'shomu kursu po bibliografii: materialy i zametki, 26 fevr. – 10 marta 1924 g. [Brief course on bibliography: the materials and notes, Febr. 26 – March 10, 1924]. OR RNB. F. 41. St. un. 45. L. 1–10.

Ссылки на интернет-ресурсы

Паринов С. И., Ляпунов В. М., Пузырев Р. Л. Система Соционет как платформа для разработки научных информационных ресурсов и онлайн-сервисов // Электрон. б-ки. 2003. Т. 6, вып. 1. URL: <http://www.elbib.ru/index.phtml?page=elbib/rus/journal/2003/part1/PLP/> (дата обращения: 25.12.2015).

Демография. Официальная статистика / Федеральная служба государственной статистики [Электронный ресурс]. URL: <http://www.gks.ru/> (дата обращения: 25.12.2015).

В транслитерированном списке литературы:

Parinov S. I., Lyapunov V. M., Puzyrev R. L. Sistema Sotsionet kak platforma dlya razrabotki nauchnykh informatsionnykh resursov i onlainovykh servisov [Socionet as a platform for development of scientific information resources and online services]. *Elektron. b-ki [Digital library]*. 2003. Vol. 6, iss. 1. URL: <http://www.elbib.ru/index.phtml?page=elbib/rus/journal/2003/part1/PLP/> (accessed: 25.11.2006).

Demografija. Oficial'naja statistika [Demography. Official statistics]. *Federal'naja sluzhba gosudarstvennoj statistiki [Federal state statistics service]*. URL: <http://www.gks.ru/> (accessed: 25.12.2015).

Ссылки на электронные ресурсы на CD-ROM

Государственная Дума, 1999–2003 [Электронный ресурс]: электронная энциклопедия / Аппарат Гос. Думы Федер. Собрания Рос. Федерации. М., 2004. 1 CD-ROM.

В транслитерированном списке литературы:

Gosudarstvennaya Duma, 1999–2003 [State Duma, 1999–2003]. Electronic encyclopedia. The office of the State Duma of the Federal Assembly of the Russian Federation. Moscow, 2004. 1 CD-ROM.

TABLE OF CONTENTS

EDITORIAL	3
HYDROPHYSICS. HYDROLOGY	
R. E. Zdorovenov, N. I. Palshin, G. E. Zdorovenova, A. V. Mitrokhov, A. Y. Terzhevnik. DATABASE "CURRENTS IN A SHALLOW LAKE – 1" AND ITS POTENTIAL APPLICATIONS	4
HYDROCHEMISTRY AND BOTTOM SEDIMENTS	
N. E. Galakhina, P. A. Lozovik. CHANGES IN SURFACE WATER CHEMICAL COMPOSITION AT KORPANGSKOYE IRON ORE DEPOSIT	15
D. V. Ivanov, E. V. Osmelkin, I. I. Ziganshin. A STUDY OF CONTEMPORARY AND HISTORICAL SEDIMENTATION IN WATERBODIES OF THE VOLGA UPLAND AND THE LOW-LYING TRANS-VOLGA REGION	31
HYDROBIOLOGY	
E. V. Tekanova, N. M. Kalinkina, R. E. Zdorovenov, E. M. Makarova. PRELIMINARY RESULTS OF THE STUDY OF LAKE ONEGA ECOSYSTEM IN THE PERIOD OF SUMMER STRATIFICATION BASED ON MEASURED DATA FROM A 2017 EXPEDITION	44
Yu. Yu. Fomina, M. T. Syarki. MODERN STATE OF ZOOPLANKTON AND ITS RESPONSE TO CLIMATE CHANGE IN PETROZAVODSK BAY OF LAKE ONEGO	54
D. B. Denisov, S. A. Valkova, P. M. Terentjev, A. A. Cherepanov, A. V. Razumovskaya. ECOLOGICAL STATE OF SMALL LAKES IN THE IMPACT ZONE OF THE MONCHEGORSK SITE OF JSC "KOLSKAYA GMK"	65
PALEOLIMNOLOGY	
A. L. Kosova, D. B. Denisov, S. B. Nikolaeva. THE HISTORY OF LAKE TRIDTSATKA (MURMANSK REGION) ECOSYSTEM DEVELOPMENT IN THE HOLOCENE BASED ON DIATOM SEDIMENT RECORDS	77
D. S. Tolstobrov, A. N. Tolstobrova, V. V. Kolka, O. P. Korsakova, D. A. Subetto. PUTATIVE RECORDS OF THE HOLOCENE TSUNAMI IN LACUSTRINE BOTTOM SEDIMENTS NEAR THE TERIBERKA SETTLEMENT (KOLA PENINSULA, RUSSIA)	92
A. V. Ludikova, D. D. Kuznetsov. LAKE ONEGA LEVEL CHANGES IN THE LATE AND POSTGLACIAL TIMES AS INFERRED FROM THE STUDY OF THE SEDIMENT SEQUENCE ON BOLSHOY KLIMENETSKY ISLAND	103
HISTORY OF SCIENCE	
I. S. Trifonova. KEY DEVELOPMENT STAGES OF LIMNOLOGY IN RUSSIA UP TO THE MIDDLE OF THE 20 th CENTURY	115

CHRONICLE

N. N. Filatov, T. I. Regerand. International Conference InterCarto/InterGIS-24 "Geoinformation Support to Sustainable Development of Territories" (Petrozavodsk, July 19–22, 2018) 126

DATES AND ANNIVERSARIES

N. N. Filatov, A. V. Sobisevich. Founder of the Water Problems Department of the Karelian Branch of the USSR Academy of Sciences (on the 130th anniversary of Sergey V. Grigoriev) 130

INSTRUCTIONS FOR AUTHORS 134

Научное издание

**Труды Карельского научного центра
Российской академии наук**
№ 9, 2018

ЛИМНОЛОГИЯ И ОКЕАНОЛОГИЯ

*Печатается по решению Ученого совета
Федерального исследовательского центра
«Карельский научный центр Российской академии наук»*

Выходит 12 раз в год

Издание зарегистрировано Федеральной службой по надзору в сфере связи,
информационных технологий и массовых коммуникаций
Регистрационная запись ПИ № ФС 77-72429 от 28.02.2018 г.

Редактор А. И. Мокеева
Компьютерная верстка Г. О. Предтеченский

Подписано в печать 24.09.2018. Дата выхода 30.09.2018. Формат 60x84¹/₈.
Печать офсетная. Уч.-изд. л. 15,2. Усл. печ. л. 16,5.
Тираж 120 экз. Заказ 508. Цена свободная

Учредитель и издатель: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Федеральный исследовательский центр «Карельский научный центр Российской академии наук»
185910, г. Петрозаводск, ул. Пушкинская, 11

Оригинал-макет: Редакция научного издания «Труды КарНЦ РАН»

Типография: Редакционно-издательский отдел КарНЦ РАН
185003, г. Петрозаводск, пр. А. Невского, 50