

Палеолимнологические исследования в российской части северной Евразии: обзор

Д. А. СУБЕТТО^{1,2}, Л. Б. НАЗАРОВА^{3,4,5}, Л. А. ПЕСТРЯКОВА⁶, Л. С. СЫРЫХ^{2,5}, А. В. АНДРОНИКОВ⁷,
В. БИСКАБОРН^{3,4}, В. ДИКМАНН^{3,4}, Д. Д. КУЗНЕЦОВ⁸, Т. В. САПЕЛКО⁸, И. М. ГРЕКОВ²

¹ *Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН
185030, Петрозаводск, просп. Александра Невского, 50
E-mail: subetto@mail.ru*

² *Российский государственный педагогический университет им. А. И. Герцена
191186, Санкт-Петербург, наб. р. Мойки, 48*

³ *Потсдамский университет, Институт Земли и экологических наук
14476, Потсдам-Гольм, ул. Карла Либкнехта, 24-25*

⁴ *Институт им. Альфреда Вегенера, Гельмгольц центр полярных и морских исследований
14473, Потсдам, Телеграфенберг, А43*

⁵ *Казанский (Приволжский) федеральный университет
420000, Казань, ул. Кремлевская, 18*

⁶ *Северо-Восточный федеральный университет им. М. К. Аммосова
677000, Якутск, ул. Белинского, 58*

⁷ *Отдел геохимии и лабораторий Чешской геологической службы
15200, Прага, ул. Геологическая, 6*

⁸ *Институт озераведения РАН
196105, Санкт-Петербург, ул. Севастьянова, 9*

Статья поступила 23.10.2016

Принята к печати 27.01.2017

АННОТАЦИЯ

Анализируется и обобщается современная информация о палеолимнологической изученности озер северной Евразии в пределах России. Подробно рассмотрены результаты исследований северо-запада европейской части России как наиболее изученного в палеолимнологическом аспекте сектора российского севера. Детально рассматриваются условия озерного осадконакопления на рубеже позднего плейстоцена и голоцена, и обсуждается роль внешних факторов в формировании их химических характеристик, в том числе в результате активной вулканической деятельности и возможного падения крупного метеорита. Приведены результаты основных палеоклиматических и палеоэкологических реконструкций на территории севера Сибири. Особое внимание уделено базам данных абиотических и биотических характеристик озерных экосистем как основе количественных реконструкций климатических и экологических изменений в позднем плейстоцене и голоцене.

Ключевые слова: палеолимнология, озера, донные отложения, север Евразии, Российская Арктика, базы данных.

© Субетто Д. А., Назарова Л. Б., Пестрякова Л. А., Сырых Л. С., Андроников А. В., Бискаборн В., Дикманн В., Кузнецов Д. Д., Сапелко Т. В., Греков И. М., 2017

Донные отложения озер среди других геологических архивов являются летописями, в которых записана и сохранена информация об экологических обстановках прошлого регионального и планетарного уровня с разрешением от тысячелетий и столетий до года [Субетто, 2009]. В последние годы значительно вырос интерес к палеоэкологическим и, в частности, к палеолимнологическим исследованиям Северного полушария, что вызвано, в первую очередь, проблемой глобального изменения климата, особенно в высоких широтах [Climate change, 2007]. В приполярных областях Северного полушария располагается огромное количество озер различного генезиса и морфометрии, заархивировавших в своих донных отложениях подробную информацию об изменениях климата, ландшафтов и гидрологии в плейстоцене и голоцене.

Начало палеолимнологическим исследованиям в Российской Арктике положено учеными Арктического и антарктического научно-исследовательского института в 1960–1970 гг. XX в. [Говоруха и др., 1965]. В 1980-е гг. велись исследования по проекту “История озер СССР” Институтом озероведения АН СССР и смежными институтами, в рамках которого изучался ряд озер Кольского полуострова, Большеземельской тундры, п-ова Таймыр и других северных регионов Евразии [История..., 1992; История..., 1995]. В настоящее время значительная работа по исследованию арктических озер Сибири проводится в рамках международного сотрудничества. Однако, несмотря на то, что палеоэкологические исследования в России проводятся во многих регионах страны, изученность палеоклиматических и палеоэкологических изменений на территории российской части Северной Евразии несопоставимо низка по сравнению с Европой и Американским континентом.

В специальном выпуске “Сибирского экологического журнала” “Палеоэкологические исследования в России” публикуются актуальные, новейшие исследования ведущих российских специалистов, работающих в области палеоэкологии и палеоклимата. В статьях представлены новейшие данные о палеоэкологических и палеоклиматических реконструкциях, историческому развитию при-

родных условий в районах Северного Урала (Назарова и др.), юга п-ова Таймыр (Сырых и др.), центральной Сибири (Максимов и др.), центральной [Фролова и др.; Павлова и др.] и северной (Рашке и др.) Якутии, Новосибирского архипелага (Палагушкина и др.), Байкальского региона (Безрукова и др.) и Дальнего Востока (Разжигаева и др.).

В статье обобщена современная информация по палеоэкологическим исследованиям северной Евразии в пределах Российской Арктики от Кольского полуострова до Якутии.

ИССЛЕДОВАНИЯ НА ЕВРОПЕЙСКОМ СЕВЕРЕ РОССИИ

Последние десятилетия активно проводятся палеолимнологические исследования на европейском севере России, включающие в себя реконструкции природно-климатических обстановок в послеледниковое время, динамику уровня крупных бассейнов по периферии Балтийского кристаллического щита, выявление причин и механизмов резких климатических изменений на границе плейстоцена и голоцена [Субетто и др., 2003; Wohlfarth et al., 2007; Субетто, 2009; Андроников и др., 2014]. Исследованы донные отложения разновысотных озер Карельского берега Белого моря и Соловецкого архипелага, позволившие реконструировать динамику изменения уровня Белого моря в послеледниковое время [Субетто, 2010; Субетто и др., 2012; Сапелко и др., 2015]. Аналогичные исследования выполнены ранее для восточной части Балтийского моря и Ладожского озера [Dolukhanov et al., 2009; Rosentau et al., 2013; Сапелко и др., 2014; Лудикова, 2015; Сырых и др., 2015]. В 2014 г. палеогеографические работы продолжены уже на Онежском полуострове Белого моря, где выполнены исследования разреза на мысу Вейнаволок и озер и болот в губе Конюховской. Полученные данные легли в основу реконструкции хронологии перемещений береговой линии Белого моря в районе Онежского полуострова [Леонтьев и др., 2016].

Развитие озер севера непосредственно связано с распространением четвертичных оледенений, сформировавших современный рельеф и обусловивших возникновение различного генезиса озер, которые можно под-

разделить на две большие группы – приледниковые, являвшиеся в прошлом частью крупных приледниковых бассейнов, и озера, развитие которых происходило вне крупных приледниковых бассейнов (термокарстовые, подпруженные, аккумулятивно-просадочные, экзарационные и др.) [Субетто, 2009].

Озера приледникового генезиса (реликтовые) расположены преимущественно на относительно низких абсолютных отметках в районах распространения в прошлом крупных приледниковых бассейнов. К этой группе на северо-западе России относятся оз. Ильмень, озера северной низменной части Карельского перешейка, Приладожье и Ладожское озеро, водоемы прибрежной зоны Балтийского моря, озера Псковско-Чудское и Онежское, большие мелководные озера в Вологодско-Архангельском регионе – Воже, Лача, Белое, Кубенское и ряд других. Крупные приледниковые водоемы возникли не ранее 14 000 лет назад в результате таяния ледника последнего валдайского оледенения. Для них характерно наличие в нижней части разрезов донных отложений мощной (до десятков метров) толщи ленточных глин – отложений озерно-ледникового генезиса, сформировавшихся в условиях сезонного поступления потоков наносов с талыми водами с ледникового щита [Субетто, 2009].

Для подпруженных моренами озер термокарстового генезиса или озер, возникших в результате протаивания погребенного льда, характерны, как правило, в основании разреза маломощные (первые метры), иногда с неясно выраженной слоистостью, глинистые отложения, преимущественно серого или буровато-серого цвета. Время происхождения озер этой группы более позднее, чем реликтовых озер (10 000–9000 л. н.), особенно у термокарстовых водоемов.

Смена климатических условий от холодных, арктических позднего плейстоцена к теплым и влажным условиям голоцена около 11 700 лет назад привела к значительным палеогеографическим изменениям, включающим [Субетто, 2009]: 1) быстрое таяние Скандинавского ледникового щита; 2) катастрофический спуск Балтийского ледникового озера на 25–28 м в связи с отступлением ледника от среднешведской возвышенности, в результате чего снизились базис эрозии и

уровни озер (до полного исчезновения приледниковых бассейнов); 3) таяние вечно-мерзлых грунтов; 4) смена тундро-степных ценозов лесными сообществами, переход от азональности к зональности в распределении растительности; 5) формирование устойчивого почвенного покрова.

Весь комплекс палеогеографических изменений привел к смене характера осадконакопления в озерах севера европейской части России. Серые, минерогенные, глинистые отложения сменяются вверх по разрезу бурыми, зеленовато-коричневыми, органогенными илами (сапропелями) [Субетто, 2009]. Возраст смены минерального типа донных отложений органическим по данным многочисленных радиоуглеродных датировок варьирует в узком диапазоне 10 500–10 000 лет назад. Это свидетельствует о запоздалой реакции наземных и водных экосистем на быстрое (катастрофическое) потепление около 11 700 л. н., которая может объясняться различием циркуляции воздушных масс на северо-западе Восточно-Европейской равнины от территорий, прилегающих к Северной Атлантике. Экстремальная континентальность климата и/или антициклональная циркуляция из-за возможного господства сильных восточных ветров к югу от Скандинавского ледникового щита могли способствовать сохранению многолетней мерзлоты на северо-западе России. Зона высокого давления над территорией распространения многолетней мерзлоты и преобладание восточных ветров могли блокировать перенос теплых воздушных масс с запада на восток на протяжении почти 3000 лет (12 900–10 000 лет назад) [Субетто и др., 2003].

Особенности строения донных отложений определяются и гипсометрическим положением озер. Водоем мог развиваться либо изолированно на протяжении всей своей истории с момента образования после дегляциации территории, либо являться частью крупного бассейна и после его спуска в дальнейшем мог вновь соединиться с ним и впоследствии изолироваться снова в ходе трансгрессий/регрессий последнего [Субетто, 2009; Кузнецов и др., 2015]. Например, в низменной части Карельского перешейка, заливаемого в прошлом водами Балтийского ледникового озера, наблюдается очень резкая гра-

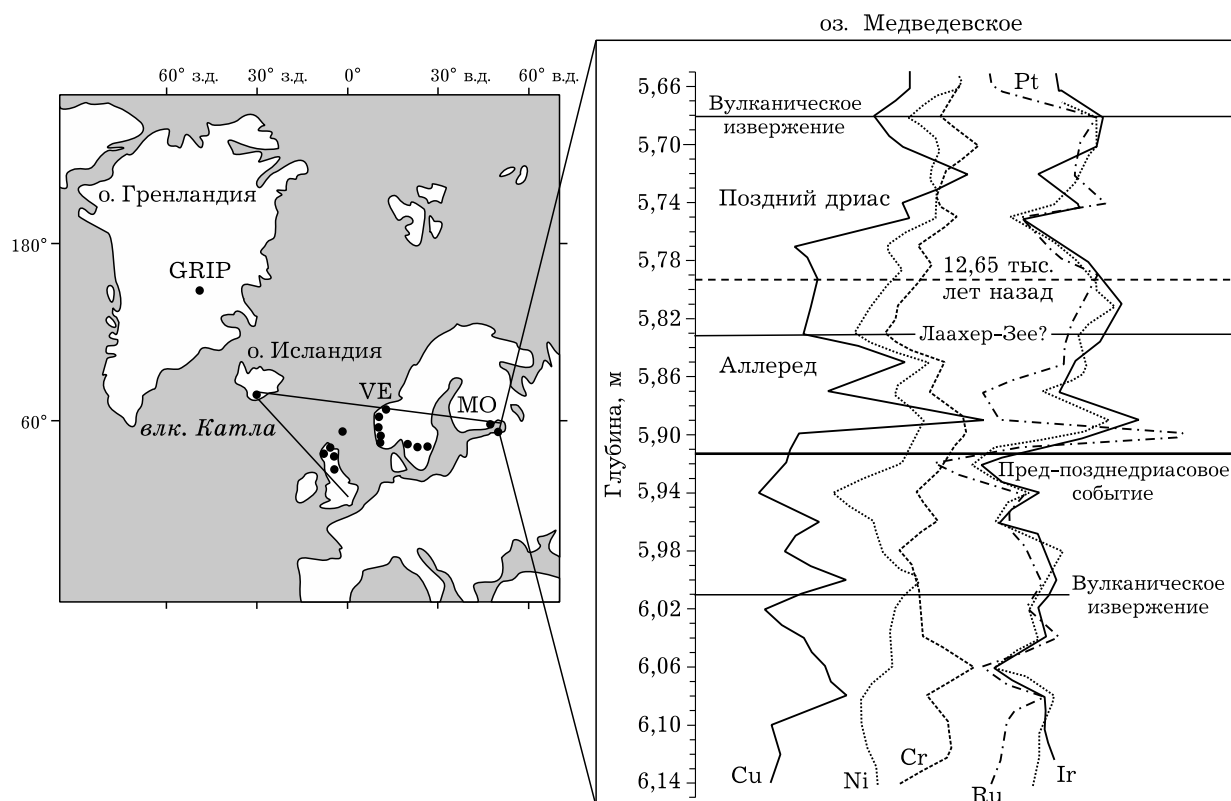


Рис. 1. Географическое положение оз. Медведовское (МО), вулкана Катла и находок вулканического пепла (VE); линиями указан веер разноса пепла “Ведде”, точками обозначены прочие места находок пепла (слева); схема распределения некоторых “метеоритных” элементов в осадках оз. Медведовское; распределение микроэлементов показано схематически, а не в абсолютных концентрациях (справа) [Субетто, 2009; Андроников и др., 2014]

ница между серыми озерно-ледниковыми отложениями и собственно озерными голоценовыми осадками, часто с прослоем песка между серыми глинами и вышележащими бурыми илами. Это свидетельствует о перерыве в осадконакоплении, связанном с катастрофическим падением уровня Балтийского ледникового озера на рубеже позднего плейстоцена и голоцена, около 10 300 ^{14}C (около 11 500 календарных) лет назад. Это, в свою очередь, привело к изменению стока и эрозионного профиля, опусканию уровня грунтовых вод и как следствие к снижению уровня озер, расположенных в пределах водосборного бассейна Балтики. Выступившие из-под воды большие по площади поверхности дна приледникового озера подверглись сильной эрозии, что привело к выносу большого количества терригенного материала в озера-реликты на Карельском перешейке, Ладожское озеро и Балтику.

Исследование позднеледниковых донных отложений оз. Медведовское (рис. 1; Карельский перешеек, Ленинградская обл.), которое вследствие своего высотного положения не заливалось водами Балтийского ледникового озера после дегляциации Карельского перешейка, выявило в них тонкий прослой вулканического пепла “Ведде”, образовавшегося 12 000 лет назад в результате сильнейшего извержения вулкана Катла, Исландия [Wastegård et al., 2000; Субетто и др., 2003; Wohlfarth et al., 2007; Кузнецов и др., 2015], а также вулканический материал, предположительно образованный в результате извержения вулкана Лаахер-Зее и, возможно, некоторых других позднеплейстоценовых вулканов Западной Европы и/или Исландии [Субетто, 2009]. Донные отложения данного озера стали объектом изучения содержания микроэлементов – маркеров возможного метеоритного удара [Андроников и др., 2014; And-

ronikov et al., 2015]. Согласно гипотезе, предложенной В. В. Firestone et al. [2007], незадолго до начала позднедриасового похолодания, около 12 900 лет назад, крупный болид (диаметром до 4 км) взорвался над Лаврентийским ледниковым щитом Северной Америки. Последствия этого катастрофического события (так называемая “импактная зима”) могли привести к резкому похолоданию климата. Предположение о внеземной причине похолодания в позднем дриасе вызвало широкую дискуссию, все еще не дающую ответа на вопрос о возможном метеоритном ударе около 12 900 лет назад [Firestone et al., 2007; Pinter et al., 2011]. Если взрыв метеорита произошел над Северной Америкой, преобладающее движение воздушных масс с запада на восток могло перемещать микрочастицы, образовавшиеся при взрыве, достаточно далеко, в частности, в Западную и Восточную Европу.

Особенности распределения микроэлементов в донных отложениях оз. Медведовское предполагают воздействие какого-то события, оставившего свои следы в донных осадках с глубины разреза около 5,9 м. Эти осадки характеризуются резким возрастанием концентраций таких “метеоритных” элементов, как Ni, Cr, Cu, и, вероятно, элементов платиновой группы. Кроме того, рассматриваемый горизонт характеризуется уменьшением содержания редкоземельных элементов, концентрация которых очень низка в метеоритах. Геохимический маркер “5,9 м” располагается на 11 см ниже границы аллеред – поздний дриас (12 650 лет назад), что приближается к возрасту 12 900 лет назад, предложенному для пред-позднедриасового метеоритного удара. Таким образом, содержание и особенности распределения микроэлементов в осадках оз. Медведовское указывают на присутствие здесь материала из источников, не характерных для озерных отложений региона. Поскольку обогащение отложений маркирующими микроэлементами очень незначительно, можно предположить, что территория северо-запада России, вероятно, является наиболее удаленным восточным регионом распространения, переносимого воздушным путем материала, образовавшегося в результате предполагаемого поздне-

плейстоценового метеоритного удара [Андроников и др., 2014].

ПАЛЕОЛИМНОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НА ТЕРРИТОРИИ СРЕДНЕЙ И СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЙ СИБИРИ

Азиатская часть России в палеолимнологическом отношении менее изучена, хотя потребности в знании скорости и направленности природных процессов в озерах велики. На территории Якутии насчитывается свыше 709 тыс. озер. Их разнообразие зависит от происхождения котловин, очертаний берегов, размера, глубины и органического состава. По происхождению котловины озер подразделяются на термокарстовые, карстовые, пойменные, речные, дельтовые, лагунные, тектонические и ледниковые. В Якутии 98 % озер имеют термокарстовое происхождение, для них характерна небольшая площадь и малая глубина.

Лимнологические исследования, анализ специальных аэрофотосъемочных и картографических материалов, а также морфометрических, гидрологических, гидрохимических и гидробиологических особенностей озер позволили разработать региональную классификацию водоемов на ландшафтно-генетической основе [Жирков, 2000]. Выделены основные морфогенетические типы озер: термокарстовые, водно-эрозионные, эрозионно-термокарстовые, карстовые, озера тукуланов (песков), антропогенные, траптовых поверхностей с дальнейшей их дифференциацией на подтипы, группы и подгруппы.

Реконструкция лимнических условий прошлого озер по составу диатомовых комплексов позволила выделить Нижнеленскую, Верхоянскую, Вилюйскую и Среднеленскую географические озерные провинции на территории Якутии, а данные комплексных анализов озерных отложений впервые позволили проследить этапы развития озерных экосистем Республики [Пестрякова и др., 2008]. Амплитуда колебания темпов озерного осадконакопления подчинялась глобальным изменениям климата и происходила в Среднеленской и Вилюйской провинциях синхронно. Максимум накопления озерных осадков отмечен в пребореальный период за счет по-

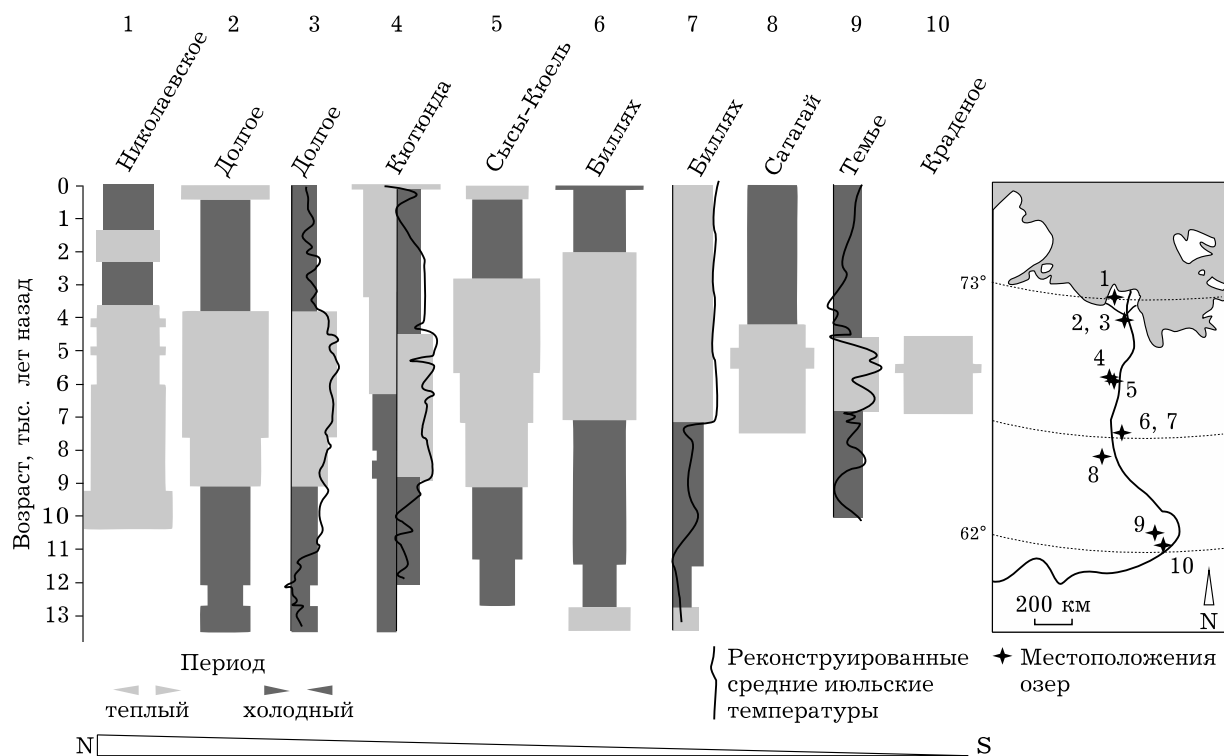


Рис. 2. Пространственно-временная схема проявления голоценового оптимума в Северо-Восточной Сибири, по результатам палеоклиматических реконструкций (1 – [Andreev et al., 2004]; 2 – [Laing et al., 1999]; 3 – [Klemm et al., 2013]; 4 – [Biskaborn et al., 2016]; 5 – [Biskaborn et al., 2012]; 6 – [Müller et al., 2009]; 7 – [Tarasov et al., 2013]; 8 – [Popp, 2006]; 9 – [Nazarova et al., 2013]; 10 – [Fradkina et al., 2005]). По Biskaborn et al. [2016]

ступления аллохтонного терригенного материала. Колебания уровней озер в голоцене свидетельствуют о высокой чувствительности водного баланса водоемов к изменениям климатических условий и хорошо согласуются с эволюцией растительности, реконструированной по данным палинологического анализа донных осадков, что позволяет предположить их единую климатическую природу [Pestryakova et al., 2012; Zibulski et al., 2016].

Начиная с позднеатлантической эпохи в центральной части региона (Среднеленская и Вилюйская провинции) отмечено прогрессирующее эвтрофирование озер, главной причиной которого является истощение объема и сокращение мощности подозерного ледового комплекса на водосборных бассейнах. Изменения минерализации озерных вод имеют региональные и локальные различия [Kumke et al., 2007]. Контрастность фаз повышения минерализации значительно усиливается по мере продвижения с севера на юг. В течение голоцена в условиях постепенного

потепления климата видовое разнообразие диатомовых водорослей повсеместно возросло [Пестрякова и др., 2008]. С продвижением на север (озера Сагагай, Восточный Севостьян и Ладаннаах) относительно высокая численность и разнообразие диатомовых комплексов зафиксированы в суббореальное время. Однако в субатлантике наблюдается их обеднение за исключением оз. Улахан Чабыда (Среднеленская провинция).

Реконструкция климатических изменений в различных регионах Якутии и прилегающих территорий, выполненная с применением биотических и абиотических индикаторов из донных отложений озер показала, что климатические вариации на протяжении позднего плейстоцена и голоцена носили несинхронный и региональный характер (рис. 2) [Biskaborn et al., 2016]. Наступление голоценового оптимума в различных регионах Сибири, по всей вероятности, находилось в зависимости от времени отступления Лаврентийского ледяного щита, который служил

поставщиком холодных воздушных масс в Сибирь [Renssen et al., 2012]. Однако реконструируемая асинхронность окончания голоценового оптимума может являться ответной реакцией экосистем и на уменьшающийся контраст сезонной инсоляции и усиливающуюся континентальность Сибири [Laskar et al., 2004].

В последние годы развернулись активные научно-исследовательские работы по изучению стратиграфии донных отложений озер и реконструкции палеогеографических и палеоклиматических обстановок прошлого в рамках международных проектов, таких как “Озеро Эльгыгытгын”, “Озера Сибири” и др. В настоящее время в уникальном озере метеоритного происхождения Эльгыгытгын вскрыты отложения, послойное изучение которых позволит реконструировать изменения климата на протяжении 3,6 млн лет [Melles et al., 2012]. Новые данные получены совместно с немецкими коллегами в рамках проекта “Озера Сибири” по изучению истории озер Якутии, таких, например, как Биллях, Сатагай и др. [Müller et al., 2009; Nazarova et al., 2013; Schleusner et al., 2015]. Установлено, что накопление донных отложений в оз. Биллях, расположенном в районе Верхоянского хребта, идет непрерывно не менее 40 тыс. лет [Müller et al., 2009; Diekmann et al., 2017], что свидетельствует об отсутствии в исследуемом регионе значительных ледниковых шапок в максимуме последнего оледенения. Получена информация по динамике климата и природных обстановок в позднем плейстоцене и голоцене для северо-востока Сибири [Herzschuh et al., 2009; Biskaborn et al., 2012, 2016; Klemm et al., 2015] и выявлены изменения характера озерного органикоаккумуляции в зависимости от солнечной активности [Пестрякова и др., 2008].

БАЗЫ ДАННЫХ

С целью систематизации данных о генезисе озер Европейского Севера России разрабатывается и пополняется база данных (БД) “PaleoLake” [Субетто, Сырых, 2014; Syrykh et al., 2014], в которой анализируются сведения об озерах, изученных палеолимнологическими методами. Эти работы являются

продолжением ранее начатых исследований по районированию, реконструкции этапов развития в послеледниковое время и изменения уровня режима озер Севера Евразии [Harrison et al., 1996].

Аналогичные исследования ведутся и в Европе, и на Американском континенте, о чем свидетельствуют последние публикации [Sundqvist et al., 2014]. Структура метабазы данных включает наименование озера, географическое положение (географические координаты; регион, в котором оно расположено), морфометрические показатели (среднюю и максимальную глубину, площадь, объем) высоту над уровнем моря, происхождение котловины, описание донных отложений (пробоотбор, тип материала, мощность), виды проводимых с образцами анализов (литологический, диатомовый, геохимический, спорово-пыльцевой), методы датирования (радиоуглеродный анализ, AMS-спектрометрия и др.), а также интервал времени осадконакопления. Кроме того, БД содержит библиографические источники, которые использованы в работе. В настоящее время в базе данных представлены сведения о более чем 100 озерах.

В целях реконструкции изменений природной среды позднеледниковья и голоцена Кольского полуострова составлена база данных “Q-KOLA” [Субетто, Греков, 2014]. Она содержит более 114 объектов палеогеографической информации, таких как донные отложения озер, болот и др. Особое внимание уделено возрасту отложений и проведенным исследованиям [Греков, Субетто, 2015]. В дальнейшем планируется расширение базы данных и создание на ее основе интерактивной карты-справочника (рис. 3).

Систематизация данных по экологическим характеристикам озер и составу озерной флоры и фауны важна для проведения качественных палеоклиматических реконструкций. Разработанные на основе региональных каталогов баз данных статистические модели являются инструментом достоверных количественных палеорекоkonструкций [Rudaya et al., 2016]. За последние десятилетия такие базы данных и модели разработаны по хирономидному анализу и широко применяются в Северной Европе, Северной Африке,

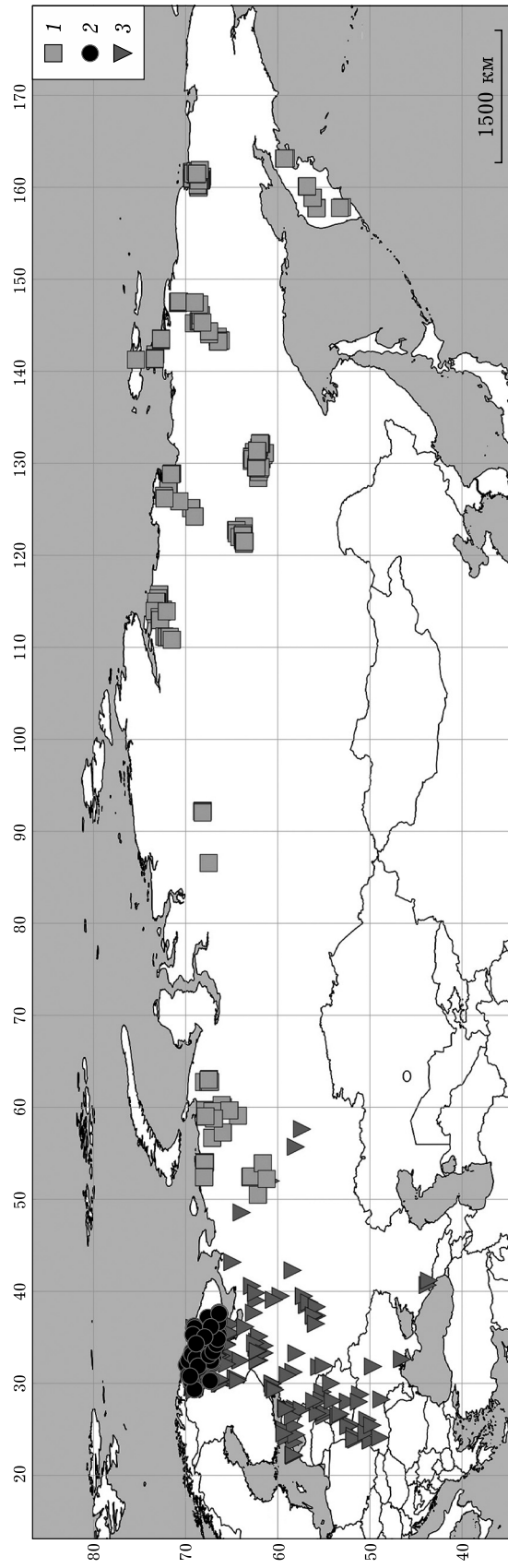


Рис. 3. Палеолимнологическая изученность озер севера России на основе баз данных: 1 – озера севера и северо-востока Евразии [Palagushkina et al., 2012; Pestryakova et al., 2012; Klemm et al., 2013; Nazarova et al., 2015]; 2 – озера Кольского полуострова. База данных “Q-Kola” [Субетто, Греков, 2014; Греков, Субетто, 2015]; 3 – палеолимнологически изученные озера европейской части России. База данных “PaleoLake” [Субетто, Сырых, 2014; Сырых et al., 2014]

Новой Зеландии, позволяя получать реконструкции палеоклимата с высокой степенью точности [Plyashuk E., Plyashuk B., 2004; Brooks, 2006; Nazarova et al., 2008].

Первые в мире российские статистические модели для реконструкции среднеиюльской температуры воздуха [Nazarova et al., 2008, 2011, 2015; Self et al., 2011] созданы на основе обширной региональной базы данных по озерам Российской Арктики и Дальнего Востока. Она включает в себя информацию о химии и морфометрических характеристиках озер, типе окружающей растительности, климатических показателях прилегающей территории, а также о составе фауны хирономид, кладоцер, ризопод и остракод [Nazarova et al., 2011, 2015; Bobrov et al., 2013; Frolova et al., 2013, 2014], флоре диатомовых водорослей [Palagushkina et al., 2012; Pestryakova et al., 2012] и спорах и пыльце, сконцентрированных в поверхностных слоях озерных донных отложений [Klemm et al., 2013]. В настоящее время в базе данных представлены сведения о 349 озерах, в том числе 85 полигональных водоемов из разных регионов Урала, Сибири и Дальнего Востока, включающих бассейны крупных рек Северо-Востока России и Новосибирских островов (см. рис. 3). Девяносто шесть озер, входящих в трансекту по северной Якутии через бассейны рек Анабар, Лена, Индигирка и Колыма и пересекающую несколько природных растительных зон от арктической тундры до тайги, использованы для создания статистической модели для реконструкции июльской температуры воздуха по спорово-пыльцевым спектрам [Klemm et al., 2013].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ показал, что позднеледниковые и голоценовые отложения севера Евразии все еще недостаточно и неравномерно изучены, несмотря на возросшую активность палеолимнологических исследований в арктическом и субарктическом секторах Российской Арктики. Сведения о динамике климата и развитии растительности получены преимущественно на основе изучения разрезов озерных отложений, охватывающих отдельные периоды (этапы) голоцена. По этой причине

стратиграфическое расчленение и корреляция разрезов позднего плейстоцена и голоцена отдельных территорий нередко являются проблематичными, а их палеогеографическая летопись до сих пор остается неполной. Все это затрудняет как воссоздание непрерывного хода ландшафтно-климатических изменений в поздне- и послеледниковье, так и получение качественных и количественных характеристик климата прошлого. Дальнейшие изучения донных отложений озер севера Евразии позволят подробнее реконструировать гидроклиматические условия прошлого, динамику береговой линии арктических морей, эволюцию экосистем озер и проследить направления их дальнейшего развития и спрогнозировать вероятные изменения природной среды и климата в будущем.

Исследования частично выполнены в рамках проектов РФФИ № 16-05-00727_а, 15-45-05063_р_восток_а, 14-05-00787_а, 13-05-41457_РГО_а. Базы данных биологических индикаторов созданы в рамках гранта РНФ 16-17-10118, а также за счет средств субсидии, выделенной в рамках государственной поддержки Казанского (Приволжского) и Северо-Восточного федеральных университетов в целях повышения их конкурентоспособности среди ведущих мировых научно-образовательных центров.

ЛИТЕРАТУРА

- Андроников А. В., Субетто Д. А., Лауретта Д. С., Андроникова И. Е., Дросенко Д. А., Кузнецов Д. Д., Сапелко Т. В., Сырых Л. С. Поиск следов метеоритного удара: особенности распределения микроэлементов в позднеплейстоценовых осадках оз. Медведевского (Карельский перешеек, Россия) // ДАН. 2014. № 1. С. 69–73.
- Говоруха Л. С., Зауер Л. М., Зеленко А. С. Палеогеографическая реконструкция голоцена Земли Франца-Иосифа на основании изучения озерных отложений // Антропогенный период в Арктике и Субарктике. М.: Недра, 1965. 360 с. (Тр. НИИГА. Т. 143).
- Греков И. М., Субетто Д. А. Применение базы палеогеографических данных Кольского полуострова “Q-KOLA” в палеолимнологических исследованиях // Тр. Карел. науч. центра РАН. Сер. Лимнология. 2015. № 5. С. 48–52.
- Жирков И. И. О классификации озер холодных регионов // Озера холодных регионов. Якутск: Изд-во Якут. гос. ун-та, 2000. Т. 1: Вопросы теории, методики, лимногенеза, классификации и районирования. С. 84–93.
- История озер Восточно-Европейской равнины. Сер. История озер. СПб., 1992. 262 с.

- История озер Севера Азии. Сер. История озер. СПб., 1995. 288 с.
- Кузнецов Д. Д., Субетто Д. А., Сапелко Т. В., Лудикова А. В. Гидрографическая сеть северной части Карельского перешейка в голоцене по данным о строении отложений малых озер // Геоморфология. 2015. № 1. С. 54–69.
- Леонтьев П. А., Греков И. М., Субетто Д. А., Кузнецов Д. Д., Колька В. В., Лудикова А. В., Потахин М. С., Сапелко Т. В., Сырых Л. С., Толстобров Д. С. Стратиграфия озерных отложений Онежского полуострова, Белое море // Общество. Среда. Развитие. 2016. № 3 (40). С. 125–129.
- Лудикова А. В. Свидетельства среднеголоценовой трансгрессии Ладожского озера по данным диатомового анализа // Изв. РГО. 2015. Т. 147, вып. 4. С. 38–51.
- Пестрякова Л. А., Субетто Д. А., Герасимова М. А., Андреев А. А., Дикман Б., Попп С. Эволюция природной среды в Центральной Якутии в голоцене // Там же. 2008. Т. 140, № 4. С. 54–67.
- 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) // Тр. Карел. науч. центра РАН. Сер. Лимнология. 2014. № 5. С. 60–69.
- Субетто Д. А. Донные отложения озер: палеолимнологические реконструкции. СПб.: Изд-во РГПУ им. А. И. Герцена, 2009. 339 с.
- Субетто Д. А. Палеолимнологические реконструкции в бассейне Белого моря // Система Белого моря. М.: ГЕОС, 2010. Т. 1: Природная среда водосбора Белого моря. С. 247–265.
- Субетто Д. А., Греков И. М. База палеогеографических данных "Q-KOLA" // Свид. о гос. регистрации базы данных № 2014620843. 16.06.14.
- Субетто Д. А., Давыдова Н. Н., Сапелко Т. В., Вольфарт Б., Васегорд С., Кузнецов Д. Д. Климат северо-запада России на рубеже плейстоцена и голоцена // Изв. РАН. Сер. географическая. 2003. № 5. С. 80–91.
- Субетто Д. А., Сырых Л. С. База палеолимнологических данных "PaleoLake" // Свид. о гос. регистрации базы данных № 2014621070. 31.07.14.
- Субетто Д. А., Шевченко В. П., Лудикова А. В., Кузнецов Д. Д., Сапелко Т. В., Лисицын А. П., Евзеров В. Я., ван Беек П., Суо М., Субетто Г. Д. Хронология изоляции озер Соловецкого архипелага и скорости современного озерного осадконакопления // ДАН. Сер. Геология. 2012. Т. 446, № 2. С. 183–190.
- Сырых Л. С., Назарова Л. Б., Субетто Д. А. Предварительные данные о развитии климата на территории Карельского перешейка в голоцене по результатам хириноидного и литологического анализов // Тр. Карел. науч. центра РАН. Сер. Лимнология. 2015. № 5. С. 53–59.
- Andreev A., Tarasov P., Schwamborn G., Ilyashuk B., Ilyashuk E., Bobrov A., Klimanov V., Rachold V., Hubberten H. W. Holocene paleoenvironmental records from Nikolay Lake, Lena River Delta, Arctic Russia // Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol. 2004. Vol. 209. P. 97–217.
- Andronikov A. V., Rudnickaitė E., Lauretta D. S., Andronikova I. E., Kaminskas D., Šinkūnas P., Melešytė M. Geochemical evidence of the presence of volcanic and meteoritic materials in Late Pleistocene lake sediments of Lithuania // Quaternary Int. 2015. Vol. 386. P. 18–29.
- Biskaborn B. K., Herzsuh U., Bolshiyarov D., Savelieva L., Diekmann B. Environmental variability in northeastern Siberia during the last ~13.300 yr inferred from lake diatoms and sediment-geochemical parameters // Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol. 2012. Vol. 329–330. P. 22–36.
- Biskaborn B. K., Subetto D. A., Savelieva L. A., Vakhrameva P. S., Hansche A., Herzsuh U., Klemm J., Heinecke L., Pestryakova L. A., Meyer H., Kuhn G., Diekmann B. Late Quaternary vegetation and lake system dynamics in northeastern Siberia: Implications for seasonal climate variability // Quaternary Sci. Rev. 2016. Vol. 147. P. 406–421.
- Bobrov A. A., Wetterich S., Beermann F., Schneider A., Kokhanova L., Schirrmeister L., Pestryakova L. A., Herzsuh U. Testate amoebae and environmental characteristics of polygon tundra in the Indigirka lowland (East Siberia) // Polar Biol. 2013. Vol. 36, N 6. P. 857–870.
- Brooks S. J. Fossil midges (Diptera: Chironomidae) as paleoclimatic indicator for the Eurasian region // Quat. Sci. Rev. 2006. N 25. P. 1894–1910.
- Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2007. 982 p.
- Diekmann B., Pestryakova L., Nazarova L., Subetto D., Tarasov P. E., Stauch G., Thiemann A., Lehmkuhl F., Biskaborn B. K., Kuhn, G., Henning D., Müller S. Late quaternary lake dynamics in the Verkhojansk mountains of eastern Siberia: Implications for climate and glaciacion history // Polarforschung. 2017. Vol. 86 (2). P. 97–110.
- Dolukhanov P. M., Subetto D. A., Arslanov Kh. A., Davydova N. N., Zaitseva G. I., Djniridze E. N., Kuznetsov D. D., Ludikova A. V., Sapelko T. V., Savelieva L. A. The Baltic Sea and Ladoga Lake transgressions and early human migrations in North-western Russia // Quaternary Int. 2009. Vol. 203. P. 33–51.
- Firestone R. B., West A., Kennett J. P., Bunch T. E., Revay Z. S., Schultz P. H., Belgya T., Kennett D. J., Erlandson J. M., Dickenson O. J., Goodyear A. C., Harris R. S., Howard G. A., Kloosterman J. B., Lechler P., Mayewski P. A., Montgomery J., Poreda R., Darrach T., Que Hee S. S., Smith A. R., Stich A., Topping W., Wittke J. H., Wolbach W. S. Evidence for an extraterrestrial impact 12.900 years ago that contributed to the megafaunal extinctions at the Younger Dryas cooling // Proc. Nation Acad. Sci. 2007. Vol. 104. P. 16016–16021.
- Fradkina A. F., Alekseev M. N., Andreev A. A., Klimanov V. A. East Siberia (Based on data obtained mainly in Central Yakutia) // Cenozoic Climatic and Environmental Changes in Russia / eds. A. A. Velichko, V. P. Nechaev. Boulder, Colorado, 2005. P. 89–103.
- Frolova L. A., Nazarova L., Pestryakova L., Herzsuh U. Analysis of the effects of climate-dependent factors on the formation of zooplankton communities that inhabit arctic lakes in the Anabar River Basin // Contemporary Problems of Ecology. 2013. N 6 (1). P. 1–11.
- Frolova L., Nazarova L., Pestryakova L., Herzsuh U. Subfossil cladoceran from sediment in thermokarst

- lakes in northeastern Siberia, Russia and their relationship to limnological and climatic variables // *J. Paleolimnol.* 2014. N 52 (1). P. 107–119.
- Harrison S. P., Yu G., Tarasov P. E. Late Quaternary lake-level record from northern Eurasia // *Quaternary Res.* 1996. Vol. 45. P. 138–159.
- Herzschuh U., Bolshiyarov D., Pestryakova L., Boersma M., Abramova K., Zubrzycki S., Biskaborn B. K., Klemm J., Vakhrameeva P. Ecological state of permafrost lakes and their catchment along a North-South transect in north-central Yakutia: Past and present // *Russian-German Cooperation System Laptev Sea: The Expedition Lena, Reports on Polar and Marine Research.* 2009. Vol. 600. P. 22–24.
- Ilyashuk E., Ilyashuk B. Analysis of chironomid remains from lake sediments in paleoecological reconstruction // *Water Res.* 2004. N 31 (2). P. 203–214.
- Klemm J., Herzschuh U., Pisaric M. F. J., Telford R. J., Heim B., Pestryakova L. A. A pollen-climate transfer function from the tundra and taiga vegetation in Arctic Siberia and its applicability to a Holocene record // *Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol.* 2013. Vol. 386. P. 702–713.
- Klemm J., Herzschuh U., Pestryakova L. A. Vegetation, climate and lake changes over the last 7000 years at the boreal treeline in northcentral Siberia // *Quaternary Sci. Rev.* 2015. Vol. 47. P. 422–434.
- Kumke T., Ksenofontova M., Pestryakova L., Nazarova L., Hubberten H.W. Limnological characteristics of lakes in the lowlands of Central Yakutia, Russia // *J. Limnol.* 2007. N 66. P. 40–53.
- Laing T. E., Rühland K. M., Smol J. P. Past environmental and climatic changes related to tree-line shifts inferred from fossil diatoms from a lake near the Lena River Delta, Siberia // *Holocene.* 1999. Vol. 9. P. 547–557.
- Laskar J., Robutel P., Joutel F., Gastineau M., Correia A. C. M., Levrard B. A long-term numerical solution for the insolation quantities of the Earth // *Astron. Astrophys.* 2004. Vol. 428. P. 261–285.
- Melles M., Brigham-Grette J., Nowaczyk N. R., Wenrich V., De Conto R. M., Anderson P. M., Andreev A. A., Coletti A., Cook T. M., Haltia-Hovi E., Kukkonen M., Lozhkin A. V., Rosen P., Tarasov P., Vogel H., Wagner B. 2.8 Million years of arctic climate change from Lake El'gygytgyn, NE Russia // *Science.* 2012. Vol. 337, N 6092. P. 315–320.
- Müller S., Tarasov P. E., Andreev A. A., Tütken T., Gartz S., Diekmann B. Late Quaternary vegetation and environments in the Verkhoyansk Mountains region (NE Asia) reconstructed from a 50-kyr fossil pollen record from Lake Billyakh // *Quaternary Sci. Rev.* 2010. N 29. P. 2071–2086.
- Nazarova L. B., Pestryakova L. A., Ushnitskaya L. A., Hubberten H.-W. Chironomids (Diptera: Chironomidae) in lakes of Central Yakutia and their indicative potential for paleoclimatic research // *Contemporary Problems of Ecology.* 2008. N 1. P. 335–345.
- Nazarova L., Herzschuh U., Wetterich S., Kumke T., Pestryakova L. Chironomid-based inference models for estimating mean July air temperature and water depth from lakes in Yakutia, northeastern Russia // *J. Paleolimnol.* 2011. N 45. P. 57–71.
- Nazarova L., Lüpfer H., Subetto D., Pestryakova L., Diekmann B. Holocene climate conditions in Central Yakutia (North-Eastern Siberia) inferred from sediment composition and fossil chironomids of Lake Temje // *Quaternary Int.* 2013. Vol. 290–291. P. 264–274.
- Nazarova L., Self A., Brooks S. J., van Hardenbroek M., Herzschuh U., Diekmann B. Northern Russian chironomid-based modern summer temperature data set and inference models // *Global and Planetary Change.* 2015. N 134. P. 10–25.
- Palagushkina O. V., Nazarova L. B., Wetterich S., Shirmaister L. Diatoms from sediments of water bodies of Siberian Arctic // *Contemporary Problems of Ecology.* 2012. Vol. 5, N 4. P. 413–422.
- Pestryakova L. A., Herzschuh U., Wetterich S., Ulrich M. Present-day variability and Holocene dynamics of permafrost-affected lakes in central Yakutia (Eastern Siberia) inferred from diatom records // *Quaternary Sci. Rev.* 2012. Vol. 51. P. 56–70.
- Pinter N., Scott A. C., Daulton T. L., Podoll A., Koeberl C., Anderson R. S., Ishman S. E. The Younger Dryas impact hypothesis: A requiem // *Earth Sci. Rev.* 2011. Vol. 106. P. 247–264.
- Popp S., Diekmann B., Meyer, H., Siegert C., Syromyatnikov I., Hubberten H. W. Palaeoclimate signals as inferred from stable-isotope composition of ground ice in the Verkhoyansk foreland, Central Yakutia // *Permafrost. Periglac. Proc.* 2006. Vol. 17. P. 119–132.
- Renssen H., Seppä H., Crosta X., Goosse H., Roche D. M. Global characterization of the Holocene Thermal Maximum // *Quaternary Sci. Rev.* 2012. Vol. 48. P. 7–19.
- Rosentau A., Muru M., Kriiska A., Subetto D. A., Vassiljev Jü., Hang T., Gerasimov D., Nordqvist K., Ludikova A., Lõugas L., Raig H., Kihno K., Aunap R., Letyka N. Stone Age settlement and Holocene shore displacement in the Narva-Luga Klint Bay area, eastern Gulf of Finland // *Boreas.* 2013. Vol. 42. P. 912–931.
- Rudaya N., Nazarova L., Novenko E., Andreev A., Kalugin I., Daryin A., Babich V., Hong-Chun Li, Shilov P. Mid Holocene climate and vegetation in the Northern Altay mountains recorded in Lake Teletskoe // *Global and Planetary Change.* 2016. Vol. 141. P. 12–24.
- Schleusner P., Biskaborn B. K., Kienast F., Wolter J., Subetto D., Diekmann B. Basin evolution and palaeoenvironmental variability of the thermokarst lake El'gene-Kyuele, Arctic Siberia // *Boreas.* 2015. Vol. 44 (1). P. 216–229.
- Self A. E., Brooks S. J., Birks H. J. B. et al. The distribution and abundance of chironomids in high-latitude Eurasian lakes with respect to temperature and continentality: development and application of new chironomid-based climate-inference models in northern Russia // *Quaternary Sci. Rev.* 2011. Vol. 30. P. 1122–1141.
- Sundqvist H. S., Kaufman D. S., McKay N. P., Balascio N. L., Briner J. P., Cwynar L. C., Sejrup H. P., Seppä H., Subetto D. A., Andrews J. T., Axford Y., Bakke J., Birks H. J. B., Brooks S. J., de Vernal A., Jennings A. E., Ljungqvist F. C., Rühland K. M., Saenger C., Smol J. P., Vial A. E. Arctic Holocene proxy climate database – new approaches to assessing geochronological accuracy and encoding climate variables // *Clim. Past.* 2014. N 10. P. 1605–1631.
- Syrykh L., Subetto D. A., Grekov I. Paleolimnological database for lakes of Russian plain // *Proc. of the II PAST Gateways Int. Conf. and Workshop.* 2014. P. 74–75.

- Tarasov P. E., Mueller S., Zech M., Andreeva D., Diekmann B., Leipe C. Last glacial vegetation reconstructions in the extreme-continental eastern Asia: Potentials of pollen and n-alkane biomarker analyses // *Quaternary Int.* 2013. Vol. 290. P. 253–263.
- Wastegård S., Wohlfarth B., Subetto D. A., Sapelko T. V. Extending the known distribution of the Younger Dryas Vedde Ash into northwestern Russia // *J. Quaternary Sci.* 2000. Vol 15 (6). P. 581–586.
- Wohlfarth B., Lacourse T., Bennike O., Subetto D. A., Demidov I., Filimonova L., Tarasov P., Sapelko T. Climatic and environmental changes in NW Russia between 15,000 and 8000 cal yr BP: A review // *Quaternary Sci. Rev.* 2007. N 26. P. 1871–1883.
- Zibulski R., Herzschuh U., Pestryakova L. A. Vegetation patterns along micro-relief and vegetation type transects in polygonal landscapes of the Siberian // *Arctic. Journ. Veg. Sci.* 2016. Vol. 27. P. 377–386.

Palaeolimnological Studies in Russian Northern Eurasia: A Review

D. A. SUBETTO^{1,2}, L. B. NAZAROVA^{3,4,5}, L. A. PESTRYAKOVA⁶, L. S. SYRYKH^{2,5},
A. V. ANDRONIKOV⁷, B. BISKABORN^{3,4}, B. DIEKMANN^{3,4}, D. D. KUZNETSOV⁸,
T. V. SAPELKO⁸, I. M. GREKOV²

¹ *Northern Water Problems Institute of the Karelian Research Centre, RAS
185030, Petrozavodsk, Alexander Nevsky ave., 50
E-mail: subetto@mail.ru*

² *Herzen State Pedagogical University of Russia
191186, Saint-Petersburg, emb. Moika, 48*

³ *University of Potsdam, Institute of Earth and Environmental Sciences
14476, Potsdam-Golm, Karl-Liebknecht-Str. 24-25*

⁴ *Alfred Wegener Institute Helmholtz Centre for Polar and Marine Research
14473, Potsdam, Telegrafenberg, A43*

⁵ *Kazan (Volga) Federal University
420000, Kazan, Kremlevskaya str., 18*

⁶ *Ammosov North-Eastern Federal University
677000, Yakutsk, Belinsky str., 58*

⁷ *Division of Geochemistry and Laboratories, Czech Geological Survey
15200, Prague, Geologicka str., 6*

⁸ *Institute of Limnology, RAS
196105, St. Petersburg, Sevast'yanova str., 9*

We present a review of the modern information on palaeolimnological investigations in Russian part of Northern Eurasia. The results from the north-western part of the European Russia are presented in more details because this part of the country is better studied by palaeolimnological methods. Conditions of lacustrine sediment deposition around the Late Pleistocene/Holocene boundary are discussed together with the role of different external factors in formation of chemical composition of lake sediments, including such factors as volcanic activity and large meteorite impacts. Results of major paleoclimatic and paleoecological reconstructions across the northern Siberia are presented. A special attention is paid to the databases of biotic and abiotic parameters of the lakes as an important basis for the reconstructions of climatic and ecological changes during the Late Pleistocene and Holocene.

Key words: palaeolimnology, lakes, bottom sediments, Northern Eurasia, Russian Arctic, databases.