

ДОННЫЕ ОТЛОЖЕНИЯ ОЗЕР КАРЕЛИИ: ПАЛЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ И ПАЛЕОКЛИМАТИЧЕСКИЕ РЕКОНСТРУКЦИИ

Шелехова Т.С., Лаврова Н.Б.

Институт геологии КарНЦ РАН, г. Петрозаводск

KARELIA'S LAKE SEDIMENTS: PALAEOECOLOGICAL AND PALAEOCLIMATIC RECONSTRUCTIONS

Shelekhova T.S., Lavrova N.B.

Institute of Geology, KarRC, RAS, Petrozavodsk

Terrigenous, biogenic and chemically precipitated lake sediments are discussed. Their formation is shown to depend on the hydrological and hydrochemical conditions of catchment areas which, in turn, depend on the geological and geomorphological structure of basins, catchment area and climatic factors. The mode of occurrence, maximum thickness and chemical composition of sediments are described. Lake sediment is shown to be a valuable useful mineral. The Late and Post-Glacial conditions of lake sedimentation and lake evolution stages are discussed. Lake dynamics is shown to depend on physico-geographic processes and climatic characteristics. After ice retreat the solifluction and erosion of the ground that was not stabilized with vegetation resulted in the precipitation of mineral sediments. An increase in moisture and heat supply in Holocene time contributed to the spreading of vegetation and water biota, which, in turn, favoured the accumulation of organic deposits. Lake evolution stages and conditions of lake formation are discussed. It is emphasized that at early glacier degradation stages small lakes were not formed simultaneously in coeval deglaciation zones: their formation lagged considerably behind the retreat of the ice edge. Ice retreated from southeastern Fennoscandia in Bølling, while the first waterbodies began to form in Allerød and mostly in the Early Holocene, i.e. much later than it was assumed earlier. In Bølling, when the first intraglacial waterbodies were formed, mineral sediments were accumulating. In Allerød, mineral sediments with dispersed or laminae-forming macrofossils were deposited. In Younger Dryas, in spite of the cooling and xerophytization of climate, lake sediments consisted of clay sapropel in South Karelia and formed thin laminae in silt in North Karelia. In Preboreal time, much more organic matter was supplied into waterbodies, but the supply of mineral particles was still substantial. In Boreal time, sapropel, diatomites, peat and minor lake chalk were accumulating in the lakes that formed earlier, and paludification began. During the Atlantic period sapropel, diatomites and, where favourable conditions exist, iron ore were deposited actively. In Sub-Boreal time, the lakes formed earlier continue to evolve throughout Karelia and compositionally diverse sapropels were deposited. In Sub-Atlantic time, as the White Sea regressed, the youngest lakes, located at low absolute altitudes, were formed on its coast. The accumulation of organic and minor chemically precipitated sediments continued throughout the study area.

Неотъемлемым элементом ландшафтов Карелии являются озера, различающиеся по размерам и происхождению. Их возникновение и развитие, связанное с историей формирования рельефа, изменениями природно-климатической обстановки, протекает в тесном взаимодействии со всем природным комплексом водосборов. В процессе развития озер в них накапливаются различные донные отложения, формирование которых происходит в результате осаждения на дно автохтонного материала, образовавшегося в самом озере в результате жизнедеятельности проживающих в нем организмов, и аллохтонного, поступающего извне. Это могут быть частицы, взвешенные в воде и привнесенные с поверхностным стоком, пыль, приносимая ветром (в том числе и пыльца растений) и выпадающая с атмосферными осадками на зеркало озера, минеральные соли, поступающие с трещинными (подземными) водами, растворенное в воде вещество. В зависимости от природно-климатических условий окружающей среды роль

данных источников может значительно меняться. Весь поступающий материал участвует в биотическом круговороте и биохимических процессах, в результате чего образуются донные отложения, имеющие специфические черты, зависящие от природно-климатических условий. Этим объясняется разнообразие их вещественного состава и характера, обусловленное всем ходом исторического развития окружающей территории. В настоящее время процессы функционирования озерных экосистем зависят от совокупного воздействия природных и антропогенных факторов, что необходимо учитывать в оценке их состояния и развития в будущем. В связи с этим, в последние годы интерес к изучению истории озер существенно вырос. Изменения лимнических экосистем, происходящие в ходе эволюции, настолько замедлены, что недоступны непосредственному наблюдению, но могут быть обнаружены методами палеогеографии и палеолимнологии. Стратиграфия озерных отложений с применением спорово-

пыльцевого, диатомового и радиоуглеродного анализов представляет убедительные доказательства преобразования ландшафтных условий и лимнических экосистем на протяжении позднеледниковья и голоцена. Поэтому донные отложения – надежный источник информации о развитии озерных экосистем во времени.

История исследования донных отложений

Изучение озерных отложений в Карелии ведется с 30-х годов XX века (Чернов, 1927; 1939; Экман, 1992). Новый этап комплексных исследований донных отложений озер Карелии начался в 80-е годы XX века сотрудниками лаборатории четвертичной геологии и геоморфологии А.Д. Лукашовым, И.М. Экманом, В.А. Ильиным, Э.И. Девятовой, Г.Ц. Лаком, С.И. Рукосуевым, И.Н. Демидовым, С.А. Вяхиревым, А.М. Колканен, Н.Б. Лавровой, Т.С. Шелеховой, Л.И. Гутаевой, Е.Б. Алексеевой и др. В результате этих исследований были представлены типы разрезов донных осадков озер Карелии и предложена схема районирования по времени образования озер за последние 12-13 тыс. лет. Согласно данной схеме зарождение озер произошло в разновозрастных зонах дегляциации вслед за отступающим ледниковым краем. В статье «Динамика развития озер и озерности Карельской АССР по данным радиохронологии» (Экман и др., 1988) были обобщены полученные материалы. В рамках работ по теме «Дегляциация восточной части Скандинавского материкового ледника» (1996), являющейся подпроектом Международного проекта «Завершающий этап плейстоцена» в 1993 году была создана карта «Четвертичные отложения Финляндии и Северо-Запада Российской Федерации» м-ба 1:1000000 (Ниемея, Экман, Лукашов, 1993). Кроме того, совместно с финляндскими коллегами изучены донные осадки Онежского озера, формирование которых началось во время интерстадиала бёллинг. Результатом исследований по теме «Донные отложения озер восточной части Фенноскандинавского кристаллического щита» явилась одноименная монография (Синькевич, Экман, 1995), в которой были освещены вопросы генезиса озерных котловин, истории развития озер, геохронологии и вещественного состава донных осадков. Рассмотрены природные факторы, влияющие на формирование осадков разного генезиса. В дальнейшем, данные по изучению донных отложений озер были дополнены новыми материалами, полученными в результате комплексных исследований по теме: «Геология и палеоэкология верхнего плейстоцена СЗ Российской Федерации», российско-шведскому проекту «Реконструкция изменений окружающей среды на СЗ России и в бассейне Балтийского моря за последние 15000 лет» (2002), которые доказали, что на ранних стадиях деградации ледника малые озера в разновозрастных зонах дегляциации возникали неодновременно, а их образование су-

щественно запаздывало относительно убывания ледникового края. Новая схема озерообразования нашла отражение в ряде статей (Демидов, 2004, 2005, 2006; Демидов, Лаврова 2001; Wohlfarth et al., 2002). Итогом проекта НИР «Диатомиты Карелии: особенности формирования, размещения и перспективы использования» стала монография И.Н. Демидова и Т.С. Шелеховой «Диатомиты Карелии» (2006), в которой выделены типы диатомитов, условия их формирования, показаны возможности их использования в народном хозяйстве. В результате работ по темам «Геолого-палеоэкологические обстановки позднеледникового и голоцена бассейна Онежского озера как основа современных ландшафтов» (2002-2005) и «Влияние глобальных изменений климата и гляциоизостатического поднятия земной коры на формирование и развитие природной среды побережий Онежского озера в поздне- и послеледниковье» (2005) разработана модель развития Онежского озера и прилегающих водоемов на заключительных этапах оледенения и в голоцене.

Донные отложения озер

Современные проблемы изменения климата, широко обсуждаемые в настоящее время, можно решать, получив неопределимые сведения о прошлых природно-климатических обстановках регионального и планетарного уровня в диапазоне от тысячелетий и столетий до года при всестороннем исследовании состава, строения и стратиграфии донных отложений.

Донные отложения озер Карелии сформированные, главным образом, в позднеледниковье и голоцене, субгоризонтально залегают на дне водоемов, нивелируя его рельеф. На побережье зарастающих озер они просеживаются под торфом прибрежных болот. В озерах Карелии накапливались различные генетические типы донных отложений: минеральные терригенные осадки – глины, алевролиты, пески; биогенные озерные отложения – сапропели, диатомиты и торф; хемогенные отложения – озерная известь (гажа или озерный мергель), железная руда; смешанные типы отложений – песчанистые, диатомовые или известковистые сапропели и т.д. (рис.1).

Состав их изменяется как по латерали, так и по вертикали разреза, указывая на смену условий осадконакопления в пространстве и времени. Основные особенности химического состава донных отложений Карелии приведены в таблице.

Осаждение сапропелей, диатомитов и озерной железной руды продолжается и в наши дни, поэтому они являются возобновляемыми природными ресурсами.

Терригенные отложения залегают в нижних частях разрезов (рис.1, а). Среди донных отложений озер Карелии преобладают сапропели (в переводе с греческого – гниющий ил), максимальные мощности которых достигают 9 м. Они представляют собой коллоидную мягкую и жирную

Химический состав донных отложений Карелии, вес (%)
Chemical composition of Karelia's bottom sediments, weight (%)

Тип отложений	Подтип отложений	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	CaO	MgO	П.п.п
Минеральные	Пески	75,50	12,05	1,0	1,58	2,50	0,65	0,51
	Алевриты	67,18	11,21	1,61	1,91	2,04	1,67	9,35
	Глины	65,18	14,50	3,46	1,89	2,03	2,87	3,58
	Ленточные глины (коричневые)	67,77	14,32	5,34	–	1,98	2,12	2,43
Хемогенные	Гажа (озерная известь, n=5)	1.37-4.28	0.32-0.86	0.23-0.59	0.03-0.29	41.15-49.91	0.5-1.7	44-54.8
	Железная руда	< 30		35-40				
Органогенные	Сапропели	8.12-34	1.1-12	2.71-6.0	3.0-5.3	1.33-2.27	0.76-1.57	63.4-87.0
	Сапропели железистые (n=4)	2.3-22.9	0.09-6.89	10.1-31.54	6.99-27.4	0.54-2.45	0-0.38	35.8-52.7
	Сапропели диатомовые	35-49	0.2-9.14	0.08-7.24	0.35-4.3	0.49-2.11	0.18-1.12	65-51
	Диатомиты белые, желтые (n=5)	81-95	2.46-2.5	0.13-0.3	0.6-0.62	0.3-0.49	0.1-0.15	0.06-14.4
	Диатомиты коричневые (n=20)	50-78	0.5-6.9	0.02-0.82	0.19-3.73	0.1-1.45	0.1-1.45	0.07-1.97
	Торф (n=2)	1.33-6.52	0.54-0.57	0.75	0.67	0.62-2.02	До 0.05	91-94.5
	Илы коричневые с вивианитом	58,71	15,04	3,67	2,92	1,78	3,14	8,68

массу коричневого, иногда почти черного или оливкового цвета, содержащую в природных условиях 70-90% воды. Органическая часть сапропелей состоит на 40-50% из углерода, 6-7% водорода, 34-44% кислорода и до 6% азота (Яковлев, 1954) (рис.1, б). Материалом для их образования служат остатки растений и животных, обитающих в озерах. Кремнистые створки микроскопических водорослей – диатомей вместе с растительными остатками образуют диатомовый сапропель, озерная известь – известковистый сапропель, окислы железа – железистый сапропель. Отмирая, органические остатки осаждаются на дно и частично проходят через пищеварительный канал живущих на дне озера ракообразных, червей и моллюсков. К органической части часто примешивается терригенный песчано-глинистый материал, привносимый с суши. Весь этот материал, находясь под водой при слабом доступе кислорода, подвергается воздействию микроорганизмов, превращается в однородную студенистую массу и уплотняется.

Сапропели являются ценным агрохимическим полезным ископаемым и после соответствующих исследований их химического состава могут использоваться в качестве органического удобрения и мелиоранта почв (Синькевич, Экман, 1995). Богатые биологически активными веществами, в том числе двухвалентным железом сапропели могут использоваться в качестве целебных, бальнеологических грязей, например железистые сапропели озера Габозеро, используемые в санатории «Марциальные воды».

Диатомиты представляют собой студнеобразную массу и состоят в основном из кремнистых, опаловых створок микроскопических водорослей – диатомей (рис.1в, рис.2), составляющих от 50 до 90% веса осадка. Чистый диатомит имеет белый цвет, в случае примеси органического вещества – коричневый или зеленоватый. Примеси железа окрашивают его в желтый, оранжевый, красный или

вишневый цвета. Диатомиты, широко распространенные в пределах Карелии, достигают мощности 8,3м и являются ценным полезным ископаемым, используемым в десятках отраслей промышленности.

Озерный торф состоит из органического материала, возникающего в воде из особых ассоциаций гидрофильных растений. Выделяются осоковый, тростниковый, камышовый, гипновый, сапропелевый и другие виды торфов (рис.1, г).

Гажа (известковистый сапропель, озерный мергель) достигает мощности 2 м и состоит из почти сплошных слоев известковых частиц, инкрустировавших остатки сине-зеленых водорослей и перемежающихся с тонкими слоями детрита тех же водорослей (Демидов, Шелехова, 2006). Образуется в условиях холодного климата за счет растворов двууглекислого кальция, принесенного в водоем ручьями и источниками и осажденного на дне в смеси с минеральными и органическими частицами. В гаже встречаются раковины пресноводных моллюсков, иногда образующие самостоятельные прослойки мощностью до 1-2 см (ракуша). На территории Карелии гажа имеет ограниченное распространение. Её находки известны на юге Пудожского района, где источником кальция, очевидно, были карбонатные породы каменноугольного периода, а также в районе оз. Паанаярви (Лоухский район), пос. Пушной (Беломорский район) (Синькевич, Экман, 1995) и д. Шалговаара (Медвежьегорский район). Источниками кальция для них были карбонатные ятулийские породы Паанаярви-Куолярвинской, Лехтинской и Сегозерской структур соответственно. Гажа или известковистый сапропель (рис.1, д) является ценным агротехническим сырьем и широко используется для раскисления подзолистых почв. Однако вследствие ограниченного распространения его использование в качестве полезного ископаемого на территории Карелии весьма проблематично.

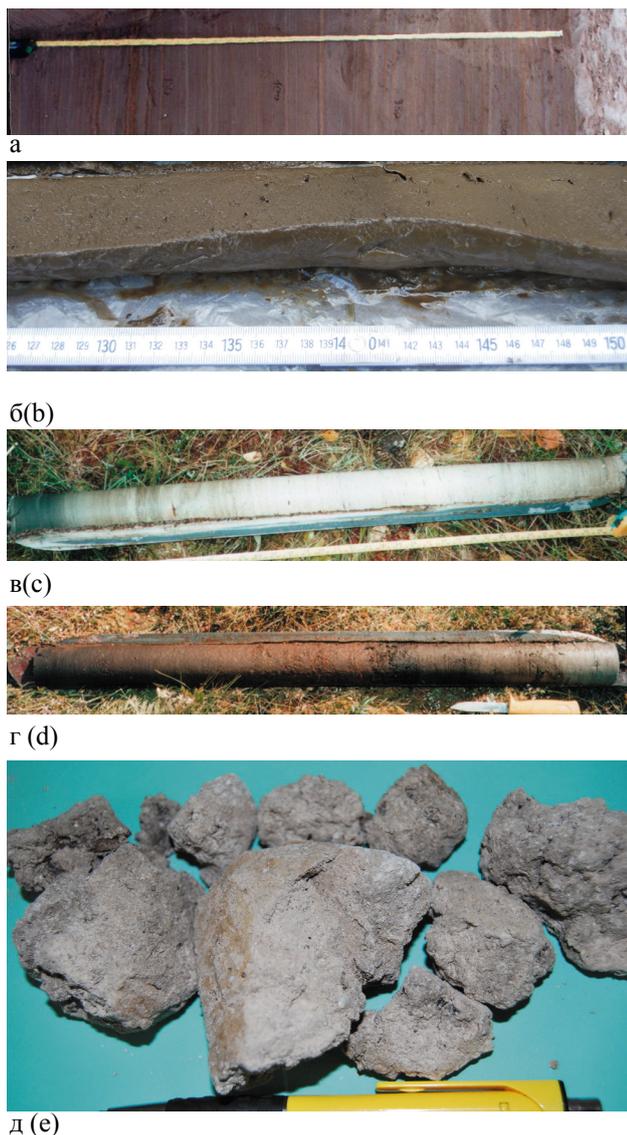


Рис.1. Генетические типы донных отложений Карелии: а – терригенные алевро-глинистые ленточные отложения; б – сапропель; в – диатомит (контакт диатомитов и сапропелей); г – торф; д – гажка (озерная известь).

Fig.1. Genetic types of Karelia's bottom sediments: a – terrigenous laminated silty clay sediments; б – sapropel; в – diatomite (contact of diatomites and sapropels); д – peat; e – lime mud (lake lime).

Озерная железная руда представляет собой скопление бурого железняка – лимонита в виде шариков, лепешек, монет. Встречается в рассеянном состоянии в песках, сапропелях и других донных осадках. Её отложение связано с широко распространенным почвенным подзолообразовательным процессом, во время которого вымываемые из почв железо и алюминий поступают в озеро в виде бикарбоната закиси железа, сульфата окиси железа, сульфидов закиси и окиси железа с органическими кислотами и в форме гидрозоля окиси железа и алюминия. В озерной воде под действием грибов, бактерий и низших водорослей происходит распад бикарбонатов, выпадение не-

растворимой гидроокиси железа и коагуляция гидрозолей в гели, а из сульфатов и сульфидов железа выделяется гидрат окиси железа. При этих процессах отлагается озерная руда – лимонит, $Fe_2O_3 \cdot xH_2O$ с примесью фосфора, марганца и минеральных зерен.

Озерные руды в Карелии распространены весьма широко и с начала XVIII века использовались в металлургической промышленности, благодаря которой возник г. Петрозаводск.

Поздне- и послеледниковые условия озерного осадконакопления и этапы развития озер

Учитывая тесную связь динамики озер с физико-географическими процессами и климатическими особенностями, на основании комплекса методов удалось проследить эволюцию озер и природных условий Карелии. Развитие природных комплексов происходило синхронно изменениям климата в позднеледниковые и голоцене и зависело от местных геолого-почвенных и топографических условий. Одним из главных факторов следует считать климатический, который проявляется зонально и влияет на большие по площади территории. Сведения по оруденным палеоклиматическим показателям региона приведены в ряде литературных источников (Климанов, Елина, 1984; Величко и др., 1994; Климанов, 1994; Филимонова, Климанов, 2005)

На первых этапах формирования озер происходило осаждение минеральных осадков – песка, алеврита, глины. Незакрепленные растительностью четвертичные отложения, покрывающие берега водоемов и их водоразделы, интенсивно подвергались эрозии тальными ледниковыми водами, атмосферными осадками и ветром. В результате выщелачивания свежотложенных невыветрелых морен и водно-ледниковых песчано-гравийных отложений озера пополнялись довольно значительным количеством различных химических элементов, однако гидрохимический состав формируемых озерных экосистем определяли огромные объемы холодных, ультрапресных талых ледниковых вод. Влияние минерально-химического состава коренных горных пород сказывалось только на небольших водоемах, в пределах водосборного бассейна которых значительную роль играли легкорастворимые породы, например карбонаты или фосфаты (Курочкина, 1976).

При изучении эволюции озер и особенностей озерной седиментации очень важно определить время их зарождения и отмирания. С помощью комплексных исследований, включающих радиоуглеродное датирование, палинологический, диатомовый и другие виды анализов можно оценить озерность территории в конкретных хронологических срезах, выявить последовательность формирования и длительность существования отдельных групп водоемов, установить возраст накопившихся в них отложений, выполнить палеоэкологические и палеоклиматические реконструкции. На базе таких исследований в Карелии выделены следующие этапы развития озер и условия их образования.

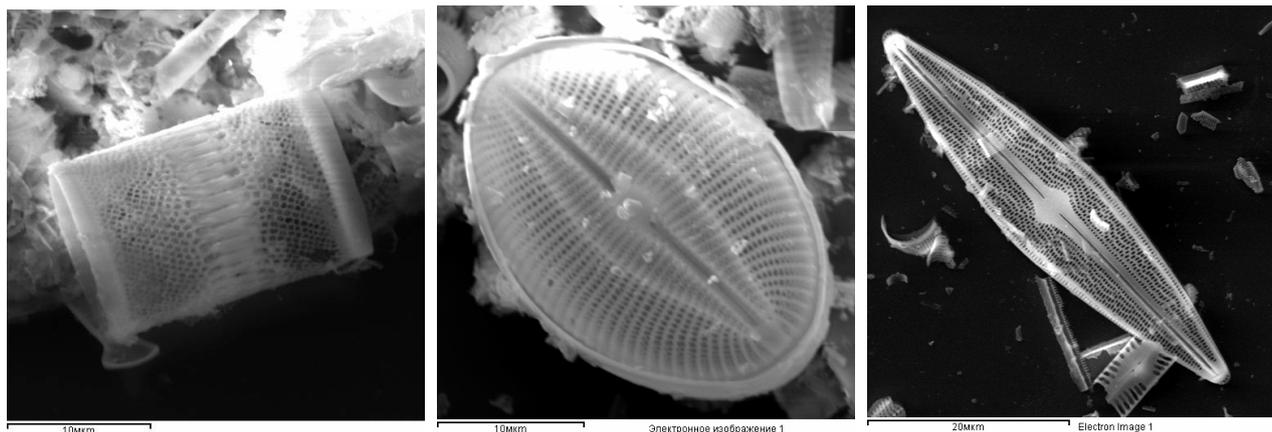


Рис.2. Породообразующие виды диатомовых водорослей в диатомитах Карелии: *Aulacoseira italica*, *Diploneis finnica*, *Anomoeoneis brachysira*.

Fig.2. Rock-forming diatoms in Karelia's diatomites: *Aulacoseira italica*, *Diploneis finnica*, *Anomoeoneis brachysira*.

Беллинг-средний дриас (~15000-14000 календарных лет назад – кал.л.н.). Это время начала формирования Онежского и Ладожского озер, Шуйского приледникового озера (Saarnisto & Saarinen, 2001, Демидов, 2005), озерно-речной сети и первых интрагляциальных водоемов в юго-восточной Карелии – Тамбичозеро и др. (Wohlfarth et al, 2002). В условиях нестабильной гидрологической обстановки, тающих массивов мертвого льда, незакрепленных растительностью водоразделов с тальми ледниковыми водами и ветром в водоемы поступало значительное количество минеральных частиц – происходила седиментация минеральных осадков – песков, глин и алевритов. Освободившиеся ото льда территории находились в непосредственной близости от ледника, что обусловило весьма суровые климатические условия. Возможно, среди оголенных субстратов и многочисленных глыб мертвого льда локальное распространение имели пионерные полярно-маревые группировки растительности (Wohlfarth et al, 2002, Лаврова, 2005).

Аллерёд (~14000-13000 кал.л.н.) – освобождение ото льда котловин Онеги, Ладоги, Сегозера, Выгозера и практически всей южной Карелии. Однако, на значительной части территории, после распада ледниковой лопасти в понижениях рельефа остаются массивы мертвого погребенного льда, которые тают на протяжении тысячелетий. Поэтому, образование озер было не одновременным, они возникали по мере таяния льда. Преобладало накопление терригенных осадков – глин и песков с минимальным содержанием органики (2-3%). В приледниковых озерах среда была слабощелочная, близкая к нейтральной, а в донных отложениях – слабокислая (Курочкина, 1976). В малых перигляциальных водоемах, перекрывавшихся долгое время плавучими льдами, на дне, в условиях дефицита кислорода, возникали и восстановительные условия, формировались зёрна вивианита, слои гидротроиллита и сульфидов (Wohlfarth et al., 2002, 2004). Аллерёд был наиболее

четким и глубоким потеплением в рамках позднеледниковья. Средние температуры июля были ниже современных на 3-4°, средние температуры января ниже современных примерно на 9°, среднегодовая сумма осадков меньше современных на 200 мм. Потепление климата и формирование скелетных почв привело к дальнейшему развитию растительного покрова, структура которого была мозаичной и представляла собой чередование различных по экологии перигляциальных полярно-маревых и тундровых палеосообществ с обширными площадями оголенных субстратов и полей мертвых льдов. Возможно, в благоприятных местообитаниях существовали разреженные березовые ценозы (Лаврова, 2005). Единичные макрофоссилии растений, не формирующие слоев органики с возрастом от 13600-13300 кал.л.н. (11635-11300 по C^{14}) обнаружены в ленточных глинах и ленточноподобных отложениях Онежского приледникового озера в районе современного Заонежского п-ова и нижнего течения р. Водла (Wohlfarth et al., 1999). В южном Прионежье, на северо-западе Олонецкой возвышенности в базальных алевритах скважинами вскрыты тонкие слои и фрагменты органики, возраст которых составляет 14000-13800 кал.л.н. (от 11500±230 до 11200±200 по C^{14}) (Ekman&Пjin, 1995, Демидов, 2005). Эти макрофоссилии представлены оогониями харовых водорослей *Chara sp.*, *Nitella sp.*, остатками тундровых растений *Polygonum viviparum*, листиками *Dryas octopetala* (Лаврова, 2006). Следует отметить, что если пыльца и споры в силу своей транспортабельности могут быть занесены в бассейн осадконакопления с довольно значительных расстояний, то макрофоссилии задерживаются *in situ*. В юго-восточной Карелии донные отложения представлены сезонно-слоистыми алевритами, с прослойками разнозернистых песков. В Онежском и Ладожском озерах развиваются диатомовые водоросли (Давыдова и др., 1998б), а в малых озерах наблюдается значительное содержание переотложенных морских диато-

мей из межледниковых осадочных толщ. Численное содержание створок ископаемой диатомовой флоры незначительное. Преобладают литоральные виды.

Поздний дриас (~13000 – 12000 кал.л.н.). В позднем дриасе размеры Беломорского и Ладожского водоемов достигают максимума. Этот период характеризуется резким похолоданием и ксерофитизацией климата. Средние температуры июля были ниже современных приблизительно на 6°, января на 14°, осадков выпадало меньше приблизительно на 250 мм. Несмотря на значительное похолодание климата и сокращения площадей, занятых растительными сообществами, в донных отложениях многих водоемов встречены прослой торфа и сапропеля с возрастом 10700±150 – 10190±80 (С¹⁴). На Онежско-Ладожском водоразделе в прослоях органики определены макроостатки *Nitella sp.*, *Isoetes lacustris*, *Potamogeton rutilus* Wolfg, *Scirpus cf. sylvaticus* L., *Carex sp.*, *Batrachium sp.*, *Dryas octopetala* (Лаврова, 2006). На севере вблизи края ледника стадии сальпаусселья органика с возрастом 10700-10640 (С¹⁴) лет формирует тонкие прослой в алевритах (Ekman & Ilin, 1995). Здесь определены следующие макрофоссилии: *Najas flexilis*, *oogonium Nitella sp.*, *Salix herbacea*, *Salix reticulata*, *Dryas octopetala*, *Betula nana*, *Juncus sp.*, *Poaceae (cf. Puccinellia)* (Vasari et al., 2007). В районе Онежского озера осадки этого времени представлены глинистыми сапропелями (Елина и др., 2000, Saarnisto et al., 1995) или тонкими прослоями торфа. В юго-восточной Карелии в позднем дриасе отлагаются серые алевриты, иногда с тонкими полосками органики черного цвета, содержащие переложенные морские диатомеи. Их численность к концу периода резко снижается до полного исчезновения, указывая на окончание интенсивных процессов размыва и выщелачивания морен и завершение таяния погребенных глыб мертвого льда. Непосредственно у края тающих ледников не хватало питания даже для развития диатомовых водорослей. В отложениях зафиксированы лишь более приспособленные к суровым условиям колонии водорослей *Pediastrum* (Шелехова и др., 2005). Вдали от края ледника количество диатомовых водорослей в приледниковых водоемах значительно возрастает. В позднем дриасе по составу диатомовых водорослей выделяется три фазы: первая и последняя холодные фазы разделяются более теплой. В диатомовых комплексах преобладают донно-литоральные виды, свидетельствующие о развитии флоры в слабо щелочной среде (рН 7,1-7,5) – самой благоприятной для активной вегетации большинства диатомовых водорослей. В результате расконсервации мертвых льдов и выщелачивания свежееотложенной морены на водосборах, а также поступления в водоемы достаточного количества необходимых для развития водорослей биогенных веществ, минерализация вод в это время довольно высокая

(для Карелии). Отличительной особенностью диатомового комплекса позднего дриаса мелких озер в пределах нунатаков (г. Воттоваара) является отсутствие переложенных морских видов, очень мелкие размеры створок, уродливость отдельных форм, что свидетельствует о крайне неблагоприятных холодных температурах развития. Изучение состава пыльцы и спор выявило перигляциальный характер растительности, свидетельствующий об очень холодных условиях, определяющихся не только климатом, но и близостью отступающего ледникового края (Шелехова, Лаврова, 2009).

Пребореальный период (~12000 – 10500 кал.л.н.). На границе позднего дриаса и пребореала масштабные регрессии Ладоги, Онеги, а позднее и Беломорского бассейна способствовали формированию множества остаточных небольших озер и отложению минеральных осадков (песков, алевритов, глин). Этот период был важным рубежом в изменении всей физико-географической обстановки и ознаменовался нарастанием влаго- и теплообеспеченности, в результате чего происходит активное внедрение березы и других древесных пород в тундровые палеосообщества. Значительно увеличивается сомкнутость растительного покрова (Лаврова, 2005). Выделились зоны тундры, лесотундры и северной тайги (Елина и др., 2000). Средние температуры июля были меньше современных примерно на 2°, января – на 6°, количество осадков – на 150 мм. Начинается накопление органогенных отложений. В донных осадках озер Онежско-Ладожского водораздела обнаружены макроостатки *Nitella sp.*, *Isoetes lacustris*, *Potamogeton rutilus*, *Eleocharis sp.*, *Carex sp.*, *Batrachium sp.*, семена *Betula sect. Alba* (Лаврова, 2006). Находки последней указывают на то, что среднеиюльская температура была не ниже +10° (H. Bos, 1998). В отложениях озера, расположенного у краевых образований стадии сальпаусселья (Ekman & Ilin, 1995) определены следующие макрофоссилии *Nitella sp.*, *Warnstorfia fluitans*, *Eriophorum sp.*, *Phragmites*, *Salix sp.*, *Typha sp.*, *Juniperus*, *Oxycoccus microcarpus*, *Betula nana*, *Stratites aloides*, *Betula pubescens* (Vasari et al., 2007). Тем не менее, привнос минеральных частиц в водоемы остается существенным. В общем составе диатомовой флоры в донных осадках большинства водоемов преобладают эпифиты и донные, планктонные сообщества в глубоких водоемах составляют от 30-60% до 90%, в мелких - 10-20% (Шелехова, 1998; Филимонова, Шелехова, 2005). Диатомовые комплексы водоемов различны, но их экологические показатели сходны. Минерализация воды отличается по регионам и зависит от геолого-геоморфологических условий. В озерах Заонежья, Прибеломорья и в юго-восточной Карелии она выше, чем на северо-западе. В это время преобладает поверхностный сток, рН среды – слабощелочная в южных районах, ближе к нейтральной – на севере. Уровни водоемов высокие.

В позднеледниковье и начале голоцена наиболее древние радиоуглеродные датировки органики – 11635 и 11500 (C¹⁴) (Wohlfarth et al, 2002, 2004) получены из макрофоссилий, включенных в минеральные отложения или формирующих тонкие до 1 см слойки в донных озерных отложениях юго-восточной Карелии, в южном Прионежье 11500±230 (C¹⁴) лет назад (Демидов, 2005), на Онежско-Ладожском перешейке в районе оз. Святозеро 11500-11200 (C¹⁴) л. н. (Ekman & Pjlin, 1995). Следовательно, около 13600-13200 кал.л.н., как в водоемах, так и на их водорозделах в южной Карелии и в южном Прионежье для формирования выдержанных горизонтов органических донных отложений биота еще не была достаточно развита. Массовое накопление органических сапропелей, диатомитов и других илов, а также процессы почвообразования, эвтрофирования водоемов, заболачивания их побережий и водоразделов начинается только со времени значительного потепления климата в конце пребореала – начале бореала (11000 кал.л.н.), вызвавшего распространение лесных ценозов почти на всей территории Карелии (Елина и др., 2000).

Бореальный период (10500-9000 кал.л.н.). Значительное потепление климата в первой половине способствует распространению березовых сообществ, а дефицит влажности – сосновых. В начале периода в Карелии преобладали северотаежные, а на крайнем северо-западе Карелии лесотундровые ландшафты, во второй половине – среднетаежные леса (Елина и др., 2000). В сформированных ранее озерах накапливаются сапропели, диатомиты, торфа, редко гажа, начинаются процессы заболачивания. Накопление органических отложений подтверждается многочисленными радиоуглеродными датировками практически для всех районов Карелии. Режимы водоемов, расположенных вне зон распространения погребенного льда, становятся более стабильными. Это обстоятельство, наряду с улучшением климатических показателей, способствует интенсивному развитию гидрофитов и прибрежно-водных растений. В пределах ледораздельных возвышенностей в восточной, юго-восточной Карелии и на Онежско-Ладожском перешейке довольно большие площади все еще перекрыты массивами мертвого и погребенного льда, но идет его интенсивное таяние и формирование многочисленных термо- и гляциокарстовых озер, на дне которых отлагается глина с прослойками органики. По составу диатомовых комплексов накопление донных отложений в большинстве озер разделяется на две фазы. В первую фазу в небольших водоемах исчезают планктонные диатомеи, в глубоких их доля снижается до 10%. Полное господство принадлежит донным сообществам, растет число теплолюбивых видов. Уровни водоемов падают, постепенно растет минерализация воды и pH. Во вторую фазу максимального содержания достигают эвригалинные мезогалобии *Mastogloia*

smithi var. *lacustris* Grün., *Navicula menisculus* Shum., *N. cuspidata* Kütz., *N. salinarum* Grün., *N. peregrina* (Ehr.) Kütz., и галофилы *Navicula pupula* et var. *rectangularis* Kütz., *N. cryptocephala* Kütz., что свидетельствует о самой высокой минерализации воды и усиленном питании трещинными (грунтовыми) водами; pH воды либо щелочная, либо также достигает максимальных значений в данном периоде. Уровни водоемов самые низкие.

Атлантический период (9000-5800 кал.л.н.) – климатический оптимум голоцена. Среднегодовые температуры были выше современных на 2-2,5°, осадков выпадало на 100-150 мм больше. Среднетаежные леса, сформированные к концу бореального периода сменяются южнотаежными елово-сосновыми и сосново-еловыми, на севере республики произрастали среднетаежные сосновые в сочетании с березовыми (Елина и др., 2000). В результате окончательного таяния вечной мерзлоты, погребенных массивов льда и регрессии крупных водоемов, связанных с гляцио-зостатическим поднятием Фенноскандии, формируются новые небольшие озера. В это время интенсивно накапливаются сапропели, диатомиты, при благоприятных условиях – железные руды. В водном балансе озер ведущим фактором становится поверхностный сток, с которым и осуществляется привнос с суши остатков растений и гумусного вещества. После регрессии Ладожского и Онежского озер отделяются и начинают самостоятельно развиваться небольшие озера в бывших заливах Онеги – Хашозеро, Турастамозеро и др. (Шелехова, 2006), в бассейне Ладоги – озера Святого Сергия, Узловое, Ламское, Макаровское и др. – (Лудикова, 2008, Субетто, 2009). В донных осадках этого периода среди диатомовых преобладают теплолюбивые обитатели планктона и эпифиты. Их доля значительно возрастает во второй половине атлантического периода (АТ), во время «климатического оптимума», указывая на потепление и увлажнение климата, усиление поверхностного стока, поднятие уровней водоемов. Растет вынос гуминовых кислот, литоральные зоны зарастают прибрежной растительностью, берега заболачиваются, что является причиной массового развития в составе диатомей типично болотных видов из рода *Eunotia*. В мелких водоемах процессы заболачивания более заметны. В связи с уменьшением подземного питания происходит снижение численности или исчезновение мезогалобов, возрастает роль галофилов, указывая на повышение поверхностного стока.

Суббореальный период (5800-2500 кал.л.н.) начинается с резкого похолодания и уменьшения влажности климата, затем среднегодовые температуры вновь становятся выше современных на 1-1,5°, осадков на 25-30 мм больше, чем в настоящее время. Происходит дальнейшее развитие ранее сформировавшихся озер практически на всей территории Карелии, накапливаются различные по составу сапропели. В это время на побережье

Белого моря в результате регрессии образуются лишь небольшие, отшнурованные от береговой линии остаточные водоемы с плоским дном. В них отлагаются терригенно-органогенные осадки (алевроиты с органикой) переходной фации от морских условий к пресноводным, а затем собственно пресноводные органогенные отложения (диатомовые сапропели). Уровни озер понижаются. В некоторых озерах прекращается развитие диатомей, вытесняемых другими видами водорослей. Диатомовые комплексы обедняются, господствуют донные и эпифиты, арктоальпийские и бореальные формы, спектр космополитов сужается. Минерализация и рН воды ниже, чем в АТ. Возрастает участие мезогалобов, либо появляются их единичные формы, указывая на приток подземных вод. Признаком дальнейшего зарастания и заболачивания берегов в условиях сухого и холодного климата суббореала является увеличение содержания видов рода *Pinnularia*: *P. microstauron* (Ehr.) Cl., *P. gibba* Ehr., *P. interrupta* (W.Sm.).

Субатлантический период (2500 л.н. до наших дней) характеризуется дальнейшим похолоданием климата и увеличением влажности по сравнению с двумя предыдущими периодами. Растительность приобретает современный облик. В связи с регрессией Белого моря на его побережье образуются самые молодые озера, расположенные на низких абсолютных отметках. Повсеместно продолжается накопление органогенных, реже хемогенных отложений. В диатомовых комплексах большинства озер выделяется три фазы: SA-1, SA-2, SA-3, для которых характерен рост доли комплекса планктонных диатомей в глубоких водоемах, и незначительная его роль в мелководных. Возрастает участие теплолюбивых видов. Наличие галофилов или небольшой всплеск в их развитии указывают на усиление притока поверхностных вод. Нарастание процессов заболачивания является причиной новой вспышки в развитии болотных диатомей рода *Eunotia*: *E. robusta* Rolfs, *E. bidentula* W.Sm., *E. monodon* Ehr., *E. veneris* (Kütz.) O.Müll. и др. Минерализация воды и рН чаще снижаются (если водоем не подвержен техногенной нагрузке). Уровни озер повышаются.

Выводы

Формирование первых озер и накопление терригенного материала началось в южной Карелии около 14500 лет назад. На северо-западе республики развитие малых озер прослеживается после отступления ледника стадии сальпаусселькя - II (Калевальской) примерно 10000 лет назад в пребореальное время, за исключением небольших озер-ламбушек, возникших в пределах нунатаков еще в позднем дриасе. На рубеже пребореального и бореального периодов (~ 10500 к.л.н.) в ходе резкого потепления климата, вызвавшего практически повсеместное распространение лесных сообществ, на

всей территории шла седиментация органогенных донных отложений – диатомитов и сапропелей, реже хемогенных известковых сапропелей. В юго-восточной и южной Карелии отмечается гетерохронность в развитии озер с аллереда – пребореала и, возможно, бореала. Атлантическое время было самым благоприятным для накопления органогенных и хемогенных осадков. В суббореальном и субатлантическом периодах после регрессии Белого моря, Ладожского и Онежского озер от них отделяются лишь небольшие остаточные котловины. В настоящее время продолжается эволюция озер и накопление различных озерных отложений.

Литература

Величко А.А., Андреев А.А., Климанов В.А. Динамика растительности и климата в тундровой и лесной зонах Северной Евразии в позднеледниковье и голоцене // Короткопериодные и резкие ландшафтно-климатические изменения за последние 15 000 лет, М.: ИГ РАН, 1994. С. 4–35.

Давыдова Н.Н., Хомутова В.И., Демидов И.Н. Позднеплейстоценовая история Онежского озера // История плейстоценовых озер Восточно-Европейской равнины. СПб.: Наука, 1998а 147–161.

Давыдова Н.Н., Рыбалко А.Е., Субетто Д.А., Хомутова В.И. Позднеплейстоценовая история Ладожского озера // История плейстоценовых озер Восточно-Европейской равнины. СПб.: Наука, 1998б. С.140–146.

Демидов И.Н. Этапы формирования и особенности локализации полезных ископаемых Карелии в четвертичном периоде // Геология и полезные ископаемые Карелии. Вып. 1. КарНЦ РАН. Петрозаводск. 1998. С.137–143.

Демидов И.Н. Четвертичные отложения // Разнообразие биоты Карелии: условия формирования, сообщества, виды. Петрозаводск: КарНЦ РАН. 2003. С. 19–26.

Демидов И.Н. Донные отложения и колебания уровня Онежского озера в позднеледниковье // Геология и полезные ископаемые Карелии. Вып.7. Петрозаводск: КарНЦ РАН. 2004. С. 207–218.

Демидов И.Н. Деграция поздневалдайского оледенения в бассейне Онежского озера // Геология и полезные ископаемые Карелии. Вып.8. Петрозаводск: КарНЦ РАН. 2005. С. 134–142.

Демидов И.Н. О максимальной стадии развития Онежского приледникового озера, изменениях его уровня и гляциоизостатическом поднятии побережий в позднеледниковье // Геология и полезные ископаемые Карелии. Вып.9. Петрозаводск: КарНЦ РАН. 2006. С. 171–182.

Демидов И.Н., Лаврова Н.Б. Строение четвертичного покрова бассейна р.Водла (Восточная Карелия) и особенности развития растительности в поздне- и послеледниковье // Национальный парк «Водлозерский»: природное разнообразие и культурное наследие. Петрозаводск: КарНЦ РАН. 2001. С.49–62.

Демидов И.Н., Шелехова Т.С. Диатомиты Карелии. Петрозаводск, Карельский научный центр РАН, 2006. 89 с.

- Климанов В.А., Елина Г.А. Изменение климата на северо-западе Русской равнины в голоцене // ДАН. 1984. Т.274, N 5. С.1164–1167.
- Елина Г.А., Лукашов А.Д., Юрковская Т.К. Позднеледниковье и голоцен Восточной Фенноскандии. Петрозаводск: КарНЦ РАН. 2000. 242 с.
- Климанов В.А. Количественные характеристики климата Северной Евразии в аллереде // ДАН. 1994. Т.339, N4. С.533–537.
- Курочкина А.А. Литология и хемостратиграфия Онежского озера // Палеолимнология Онежского озера. Л.: Наука, 1976. С.74–129.
- Лаврова Н.Б. Развитие растительности бассейна Онежского озера в ходе деградации последнего оледенения // Геология и полезные ископаемые Карелии. Вып. 8. Петрозаводск: КарНЦ РАН. 2005. С.143–148.
- Лаврова Н.Б. Некоторые особенности состава спорово-пыльцевых спектров позднеледниковых отложений Олонецкого плато // Геология и полезные ископаемые Карелии. Вып. 9. Петрозаводск: КарНЦ РАН. 2006. С.183–188.
- Лудикова А. В. История развития и современное состояние водоемов Карельского перешейка и г. Санкт-Петербурга по материалам диатомового анализа донных отложений: Автореф. канд. диссерт. на соискание ученой степени канд. геогр. наук. СПб., 2008. 25 с.
- Ниемеля Й., Экман И.М., Лукашов А.Д. (ред.) Четвертичные отложения Финляндии и Северо-Запада Российской Федерации и их сырьевые ресурсы. Карта м-ба 1:1 000 000. Эспоо: Геологический научно-исследовательский институт Финляндии, 1993.
- Синькевич Е.И., Экман И.М. Донные отложения озер восточной части Фенноскандинавского кристаллического щита. Петрозаводск: Кар.НЦ РАН. 1995. 176 с.
- Субетто Д.А. Донные отложения озер: палеолимнологические реконструкции. СПб.: Изд-во РГПУ им. А.И. Герцена. 2009. 339 с.
- Филимонова Л.В., Шелехова Т.С. Динамика уровенно-го режима, зарастания и заторфовывания озера Руоколампи (заповедник «Кивач») в голоцене // Биоразнообразие, динамика и ресурсы болотных экосистем Восточной Фенноскандии. Тр. Карельского научного центра РАН. Вып.8. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2005. С. 121–132.
- Филимонова Л.В., Климанов В.А. Изменения количественных показателей палеоклимата в среднетаежной подзоне Карелии за последние 11000 лет // Биоразнообразие, динамика и ресурсы болотных экосистем Восточной Фенноскандии. Труды КарНЦ РАН. Вып.8. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2005. С.112–120.
- Чернов В.К. Материалы к познанию фитопланктона озер, расположенных в районе Бородинской пресноводной биологической станции. Тр. Бород. биол. ст. Т. 5.1927. С. 14–68.
- Чернов В. К. 1939. Результаты микробиологического анализа образцов диатомитов северной Карелии // Учен. зап. ЛГУ, № 30, сер. Биол. Вып.8. 1939. С. 173–177.
- Шелехова Т.С. Эволюция малых озер охраняемых территорий Карелии (по данным диатомового анализа донных отложений) - Автореф. канд. диссерт., СПб., 1998. 26 с.
- Шелехова Т.С. Ископаемая диатомовая флора голоценовых озерных отложений Заонежья // Северная Европа в XXI веке: природа, культура, экономика. Материалы международной конференции, посвященной 60-летию КарНЦ (24-27 октября 2006 г.). Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2006. С.323–324.
- Шелехова Т.С., Лаврова Н.Б. Четвертичные отложения и геоморфологические особенности // Природный комплекс горы Воттоваара: особенности, современное состояние, сохранение. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2009. С.19–28.
- Экман И.М. Карелия // История озер Восточно-Европейской равнины. СПб.: Наука, 1992. С.45–50.
- Экман И.М., Лукашов А.Д., Колканен А.М., Лийва А.А. Динамика развития озер и озерности Карельской АССР по данным радиохронологии // Изотопно-геохимические исследования в Прибалтике и Белоруссии. Таллин: Институт геологии АН Эстонской АССР. 1988. С.206–217.
- Яковлев С.А. Методическое руководство по изучению и геологической съемке четвертичных отложений. М: Госгеотехиздат. 1954. С.101.
- Bos H. Aspects of Lateglacial-early Holocene vegetation development in western Europe. LPP // Contribution Series 10. PhD thesis. University of Utrecht. Enschede: Fedodruk. 1998 P.1–240.
- Ekman I., Iljin V. Deglaciation, the Young Dryas end moraine and their correlation in Russian Karelia and adjacent areas // Glacial deposits in North-East Europe/ Rotterdam: Balkena. 1995. P. 195–209.
- Saarnisto M., Grönlund T., Ekman I. Lateglacial of Lake Onega – contribution to the history of the eastern Baltic basin// Quaternary International. 1995. Vol. 27. P.1–10.
- Saarnisto M., Saarinen T. Correlation between varves, paleomagnetic data and radiocarbon dates in the study of the deglaciation chronology of the Scandinavian Ice Sheet in NW Russia // Terra Nostra 99/10: 4th ELDP Workshop, Lund, 1999. P.78–81.
- Vasari Y., Kuznetsov O., Lavrova N., Shelekhova T., Vasari A. Alinlampi, a Late-Glacial site in the northern Karelian Republic // Ann.Bot.Fennici. 2007. Vol.44. P. 42–55.
- Wohlfarth B., Bennike O., Brunberg L., Demidov, I., Possnert, G., and Vyahirev S. AMS ¹⁴C measurement sand microfossil analysis from a varved sequence near Pudozh, eastern Karelia, NW Russia. Boreas 29. 1999. P. 575–586.
- Wohlfarth B., Filimonova L., Bennike O., Bjorkman L., Lavrova N., Demidov I. Late-Glacial and Early Holocene Environmental and Climatic Change at Lake Tambichozero, Southeastern Russian Karelia// Quarter. Research. 2002.58. P.261–272.
- Wohlfarth B., Schwark L., Bennike O., Filimonova L., Tarasov P., Bjorkman L., Brunnberg L., Demidov I., Possnert G. Unstable early-Holocene climatic and environmental conditions in northwestern Russia derived from multidisciplinary study of lake-sediment sequence from Pichozero, southeastern Russian Karelia // The Holocene. 2004. 14. P. 732–746.