

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК

Институт озераедения

На правах рукописи



Лудикова Анна Валерьевна

ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ И СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ
ВОДОЕМОВ КАРЕЛЬСКОГО ПЕРЕШЕЙКА И Г. САНКТ-ПЕТЕРБУРГА
ПО МАТЕРИАЛАМ ДИАТОМОВОГО АНАЛИЗА ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ

Специальность 25.00.36 – геозкология

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата географических наук

Санкт-Петербург
2008

1 2 ДЕК 2008

Работа выполнена в Лаборатории географии и природопользования
Института озераедения Российской Академии Наук

Научный руководитель: д.б.н. Наталья Наумовна Давыдова,
Институт озераедения РАН

Официальные оппоненты: д.г.н., проф. Дмитрий Викторович Севастьянов,
Санкт-Петербургский Государственный
университет;
к.г.н. Татьяна Станиславовна Шелехова,
Институт геологии КарНЦ РАН, Петрозаводск

Ведущая организация: ФГУНПП «СЕВМОРГЕО», Санкт-Петербург

Защита диссертации состоится «17» декабрь 2008 г. в 11 час. на
заседании диссертационного совета Д 002.064.01 при Институте озераедения
РАН по адресу: 196105, Санкт-Петербург, ул. Севастьянова, 9.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Института озераедения
РАН.

Автореферат разослан «17» ноябрь 2008 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,

кандидат военных наук



Цветков В.Ю.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. В настоящее время ни у кого не вызывает сомнения тот факт, что человеческая деятельность является важнейшим фактором преобразования окружающей среды, оказывающим влияние на все составляющие географической оболочки. Комплекс проблем, связанных с антропогенным воздействием на озерные экосистемы, включает эвтрофирование, закисление и загрязнение водной среды тяжелыми металлами и токсичными веществами. Одной из наиболее актуальных задач на сегодняшний день является сохранение биологических ресурсов озер и восстановление качества их вод как источника бытового и промышленного водоснабжения. Однако при разработке мероприятий по восстановлению водных объектов и контролю за их экологическим состоянием необходимо учитывать влияние различных природных факторов на происходящие в них процессы, в частности, процесс эвтрофирования, часто являющийся следствием естественных причин (Лепнева, 1950; Типология озер, 1967; Wetzel, 1983 и др.). Поэтому эффективность подобных мер непосредственно зависит от правильной оценки соотношения природной и антропогенной составляющих в развитии и трансформации озерных экосистем. Реалистичное определение конечной цели восстановительных работ невозможно без представления о «фоновом» состоянии экосистемы, а пониманию особенностей современного состояния водоемов во многом способствует знание палеогеографических обстановок (Smol, 1992).

Важнейшим «архивом», содержащим сведения о развитии озерных экосистем, являются донные отложения, один из наиболее надежных и широко используемых методов изучения которых – диатомовый анализ (Жузе, 1939; Диатомовые водоросли..., 1974; The diatoms..., 1999). Преимущества метода состоят в том, что: 1) диатомовые водоросли являются важным компонентом сообществ водных организмов и населяют практически все водные объекты; 2) их кремнистые створки хорошо сохраняются в донных осадках; 3) диатомеи обладают способностью быстро реагировать на изменения параметров водной среды и потому являются надежными индикаторами таких изменений; 4) систематика диатомовых водорослей детально разработана; 5) для большинства видов установлены четкие экологические предпочтения и специфические требования к условиям среды. Таким образом, изучение диатомовых комплексов из донных отложений позволяет реконструировать основные этапы эволюции озерных экосистем, судить о скорости и направленности происходящих в них изменений,

выявлять роль природных и антропогенных факторов в этих процессах. Эффективность использования диатомового анализа при оценке современного состояния водоемов обусловлена тем, что диатомовые комплексы, аккумулирующиеся в поверхностном слое донных отложений, представляют интегрированную характеристику состояния водного объекта за определенный период (обычно 1-5 лет), усредняя и сглаживая сезонные изменения, а также влияние кратковременных либо «точечных» воздействий.

Цель исследования - выявление особенностей развития и современного состояния водоемов Карельского перешейка и г. Санкт-Петербурга по материалам диатомового анализа донных отложений.

Для достижения поставленной цели были поставлены и решены следующие **задачи**:

1. Изучить состав и структуру ископаемых и современных диатомовых комплексов водоемов Карельского перешейка и г. Санкт-Петербурга.

2. Реконструировать изменения природных обстановок озер Карельского перешейка и Санкт-Петербурга в голоцене и выявить роль антропогенного воздействия в процессах трансформации озерных экосистем.

3. Установить факторы, определяющие особенности современного состояния водоемов Карельского перешейка.

4. Изучить зависимости состава современных диатомовых комплексов водоемов Санкт-Петербурга от различных параметров водной среды и выделить комплексы видов, характерные для определенных условий.

5. Оценить современное состояние водоемов Санкт-Петербурга путем сравнения их диатомовых комплексов с таковыми из исследованных водоемов Карельского перешейка.

Основные защищаемые положения:

1. Развитие озер северной части Карельского перешейка (Макаровское, Ламское, Узловое, Святого Сергия) в среднем голоцене определялось изменениями уровня Ладожского озера, обусловленными особенностями развития региона в послеледниковое время.

2. В позднем голоцене в развитии озер Карельского перешейка (Макаровское, Узловое) и озера Нижнего Суздальского, расположенного на территории Санкт-Петербурга, отчетливо выделяется антропогенная составляющая.

3. Современное состояние изученных озер Карельского перешейка определяется особенностями их водосбора и наличием источников антропогенного воздействия.

4. Особенности современного состояния водоемов г. Санкт-Петербурга обусловлены степенью антропогенного воздействия, установленной по данным диатомового анализа.

Научная новизна. На основании результатов изучения диатомовых комплексов из донных отложений озер Карельского перешейка и Санкт-Петербурга (рис. 1) получены новые данные об истории их развития и изменениях природных обстановок региона в целом.

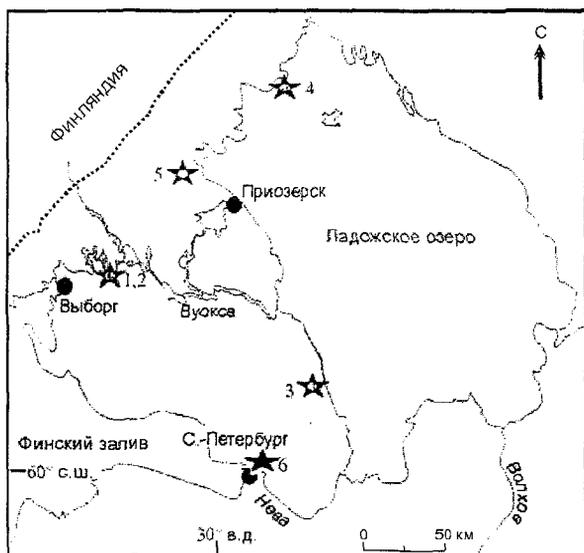


Рис. 1. Схема расположения изученных разрезов озерных отложений: 1 – оз. Ламское, 2 – оз. Макаровское, 3 – оз. Воляярви, 4 – оз. Св. Сергия (о. Путсаари), 5 – оз. Узловое, 6 – оз. Нижнее Суздальское.

В частности, удалось уточнить пределы распространения и уровень среднеголоценовой ладожской трансгрессии и на фактическом материале подтвердить существование стока из Ладоги в Балтику в северной части Карельского перешейка до образования р. Невы в позднем голоцене. Установлено время начала антропогенного воздействия на водоемы Карельского перешейка и оз. Н. Суздальское. Впервые исследованы диатомовые комплексы поверхностного слоя донных отложений водоемов Санкт-Петербурга, установлена связь их состава и структуры с параметрами водной среды (глубина, содержание общего фосфора и др.). Сопоставление современных диатомовых комплексов городских водоемов и озер

Карельского перешейка дало возможность ранжировать водоемы по степени антропогенного воздействия и оценить их современное состояние.

Практическая значимость работы. Полученные результаты: 1) позволяют реконструировать историю развития озерных экосистем и тем самым расширить имеющиеся представления об изменении природных обстановок Карельского перешейка в голоцене; 2) дают возможность оценить степень и последствия антропогенного воздействия на водоемы, расположенные в природных и антропогенных ландшафтах; 3) могут быть использованы при разработке мероприятий по восстановлению и сохранению водоемов Санкт-Петербурга.

Личный вклад соискателя. В основу диссертации положены материалы, полученные автором начиная с 2002 года. Диссертант принимал участие в большинстве полевых выездов и отборе проб. Лабораторная и аналитическая обработка полученных материалов, а также интерпретация результатов выполнены диссертантом лично.

Апробация результатов исследования. Результаты исследования докладывались и обсуждались на 18-м и 19-м Международных диатомовых симпозиумах, заседаниях палеолимнологической комиссии РГО, Международной конференции «Экологическое состояние континентальных водоемов арктической зоны в связи с промышленным освоением северных территорий», IX школе диатомологов России и стран СНГ «Морфология, систематика, онтогенез, экология и биогеография диатомовых водорослей», XI Всероссийской палинологической конференции «Палинология: теория и практика», международной конференции «Биоиндикация в мониторинге пресноводных экосистем», международной конференции «European Large Lakes Symposium 2006. Ecosystem changes and their ecological and socioeconomic impacts», международной конференции «Man and Environment in Pleistocene and Holocene: Evolution of Waterways and Early Settlement of Northern Europe», Международной конференции «Радиоуглерод в археологических и палеоэкологических исследованиях», X Международной научной конференции «Морфология, клеточная биология, экология, флористика и история развития диатомовых водорослей», 2-й Центрально-Европейской Диатомовой Конференции, международной конференции «Man and environment in boreal forest zone: past, present and future» и др.

Внедрение результатов исследований. Все исследования выполнялись в соответствии с планом научно-исследовательских работ Института озероведения РАН по основным темам: «Закономерности эволюции озерных

геосистем по палеолимнологическим данным» и «Особенности озерного осадконакопления на территории России и сопредельных стран в геологическом прошлом и в современную эпоху». Результаты по теме диссертации получены также в рамках научно-исследовательских проектов INTAS «Waterways and early human movements in NW Russia» и РФФИ «Ладожское озеро: история развития и расселение человека в голоцене».

Публикации. По теме диссертации опубликовано 25 работ, из них 2 статьи в реферируемых журналах из списка ВАК и 23 – в трудах, материалах и тезисах конференций и симпозиумов. 1 статья принята в печать.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения и списка цитируемой литературы, включающего 170 названий. Материалы диссертации изложены на 179 страницах машинописного текста и иллюстрированы 4 таблицами и 29 рисунками.

В главе 1 «Физико-географические условия и история развития района исследования» приведены сведения о геологическом строении, рельефе, четвертичных отложениях, климатических, гидрологических и почвенно-растительных условиях рассматриваемого региона. Указаны особенности озерных котловин, характерных для различных ландшафтов. Перечислены основные источники антропогенного воздействия на водоемы Карельского перешейка и Санкт-Петербурга. Отмечены основные этапы позднечетвертичного развития района исследования, при этом особое внимание уделено истории палеоводоемов. Глава 2 «Использование диатомового анализа при изучении развития и современного состояния водоемов Карельского перешейка и Санкт-Петербурга» содержит обзор литературы, посвященной применению диатомового анализа для реконструкций изменения природных обстановок и изучения антропогенного воздействия на озерные экосистемы рассматриваемого региона. В главе 3 «Материалы и методика исследований» приведены основные характеристики исследованных водоемов, дано литостратиграфическое описание колонок донных отложений, рассмотрены использованные методики полевых и лабораторных работ и статистические методы, примененные для обработки результатов исследования. Глава 4 «История развития водоемов по данным диатомового анализа» посвящена результатам диатомового анализа донных отложений озер Карельского перешейка и оз. Нижнего Суздальского (г. Санкт-Петербург). Выделены основные этапы развития водоемов, выявлена роль антропогенного фактора. В главе 5 «Современное состояние водоемов по данным диатомового анализа» с помощью методов ординации выявлены

факторы, определяющие особенности современного состояния водоемов Карельского перешейка и Санкт-Петербурга.

Благодарности. Хочу выразить глубокую признательность моему руководителю д.б.н. Н.Н. Давыдовой, д.г.н. Д.А. Субетто и всем коллегам из группы палеолимнологии ИНОЗ, без которых эта работа никогда не была бы написана, – к.г.п. Т.В. Сапелко, Д.Д. Кузнецову, к.г.-м.н. И.Ю. Неуструевой – за всестороннюю помощь и поддержку на всех этапах исследования. Искренняя благодарность к.г.н. Н.В. Игнатъевой и О.М. Сусаревой за предоставленные данные гидрохимических исследований городских водоемов; д.б.н. И.С. Трифионовой и д.г.н. А.П. Алхименко за критические замечания в отношении автореферата, Н.В. Надеждиной за консультации по интерпретации результатов геохимического анализа, Г.Т. Ларионовой за помощь в освоении методики лабораторной обработки образцов, библиотекарю О.М. Хохловой за информационную поддержку, и другим сотрудникам ИНОЗ за доброжелательное отношение, поддержку и участие; д.б.н. Н.И. Стрельниковой (СПбГУ); зарубежным коллегам: проф. Х. Симоле, д-ру Э. Грёнлунд и д-ру Ю. Миеттинену (Ун-т г. Йозенсуу, Финляндия); проф. Б. Вольфарт и д-ру Я. Рисбергу (Ун-т г. Стокгольм, Швеция); д-ру К. Биглеру (Ун-т г. Умео, Швеция); д-ру Х. Хоканссон, проф. С. Бьёрку и проф. Б. Берглунду (Ун-т г. Лунд, Швеция), принимавшим самое живое участие в обсуждении результатов исследования; и, наконец, моим близким – за неизменную веру в мои силы, заботу, понимание и терпение. Исследование поддерживалось фондами: СИМО (Center of International Mobility, Finland, персональный грант ТМ-03-1930), Шведский Институт (Swedish Institute, персональный грант № 01206/2005-382), INTAS (грант № 03-51-4269), на завершающем этапе – РФФИ (грант № 07-05-01115-а).

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ДИССЕРТАЦИИ

Защищаемое положение № 1. Развитие озер северной части Карельского перешейка (Макаровское, Ламское, Узловое, Святого Сергия) в среднем голоцене определялось изменениями уровня Ладожского озера, обусловленными особенностями развития региона в послеледниковое время.

Результаты диатомового анализа донных отложений озер Св. Сергия, Узлового, Ламского и Макаровского позволили выделить две основные стадии в развитии этих водоемов. В составе диатомовых комплексов рапшей

стадии озер Ламского и Макаровского встречаются, а в озерах Узловом и Св. Сергия – доминируют диатомей-обитатели глубоких холодноводных олиготрофных бассейнов, в частности, Ладожского озера: *Aulacoseira islandica* (O. Müll.) Sim. – массовая диатомей ладожского планктона, начиная с позднеледниковья (Давыдова, 1985), другие типичные представители современной и ископаемой ладожской диатомовой флоры: *Cyclotella schumannii* (Grun.) Håkansson, *Ellerbeckia arenaria* (Moore) Crawford, *Eunotia clevei* Grun., *Navicula aboensis* (Cl.) Hust., *N. jaernefeltii* Hust., *N. jentzschii* Grun., *Stephanodiscus medius* Fricke и *S. rotula* (Kütz.) Hedney и др. (рис. 2, 3). Все они появляются, достигают максимальной численности и исчезают из состава диатомовых комплексов рассматриваемых озер одновременно, что является свидетельством поступления в их котловины ладожских вод. Последнее явилось результатом подъема уровня Ладожского озера – так называемой ладожской трансгрессии, начавшейся около 5000 С¹⁴ л.п. (Saarnisto, 1970). Ее причинами послужили образование р. Вуоксы (одного из трех основных притоков Ладоги) и катастрофический спуск вод оз. Сайма, а также гляциозостатическое поднятие северной части ладожской котловины и, как следствие, подтопление южных берегов (Квасов, 1975; История Ладожского..., 1990). Береговые формы рельефа, формирование которых связывают с трансгрессией, в настоящее время прослеживаются на а.о. (абсолютная отметка) 20-22 м в северном Приладожье и 14-18 м – в южном. Так как озера Макаровское, Ламское, Узловое, Святого Сергия расположены на отметках 11-15 м, проникновение в их котловины вод Ладожского озера на данном этапе представляется вполне закономерным. Заслуживает внимания факт отсутствия «ладожских» видов в ископаемых диатомовых комплексах оз. Волоярви (а.о. 16 м), расположенного в юго-западном Приладожье, стабильном с точки зрения гляциотектоники. Это позволяет уточнить максимальный уровень трансгрессии, по-видимому, имевший отметку, по крайней мере, менее 16 м.

Применение ординационного анализа соответствий с удаленным трендом позволило выявить факторы, определявшие особенности развития исследованных озер на данном этапе. Установлено, что эффект, который имело поступление ладожских вод в их котловины (кроме Волоярви), был обусловлен их местоположением и обратно пропорционален их удаленности от Ладоги. Оз. Св. Сергия, расположенное на острове и в настоящее время отделенное от Ладоги 200-метровой перемычкой, должно было в наибольшей степени испытать на себе воздействие трансгрессии. В этот период оно

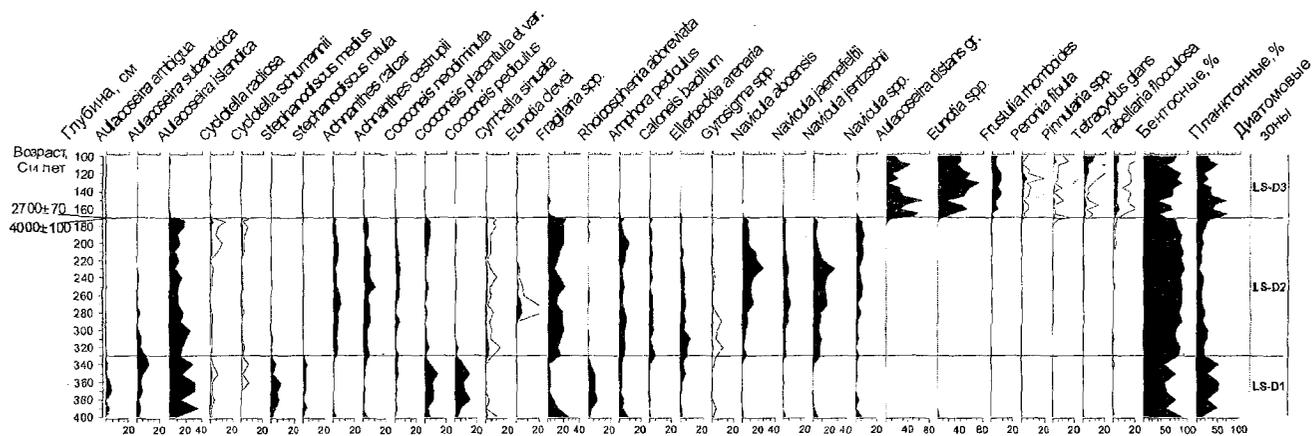


Рис. 2. Диатомовая диаграмма оз. Св. Сергия. Относительная численность основных видов диатомей (в %), соотношение основных экологических групп, концентрация створок в 1 г сухого осадка и диатомовые зоны.

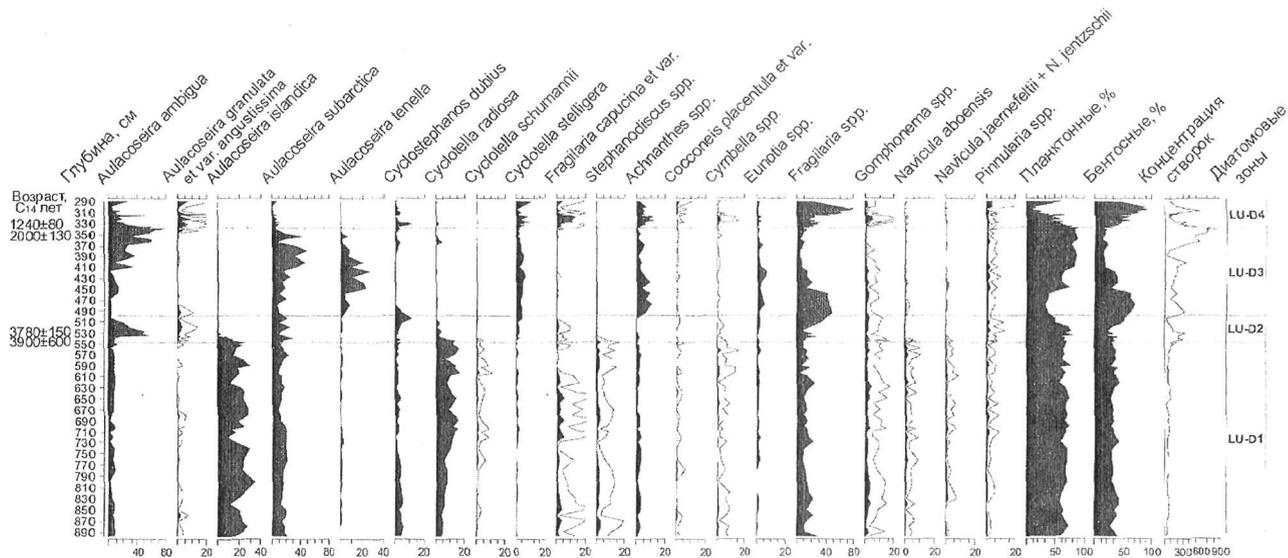


Рис. 3. Диатомовая диаграмма оз. Узлового. Относительная численность основных видов диатомей (в %), соотношение основных экологических групп, концентрация створок в 1 г сухого осадка и диатомовые зоны.

представляло собой небольшой, но глубокий залив, условия которого были весьма сходны с таковыми Ладожского озера, о чем свидетельствует доминирование в составе диатомовых комплексов индикаторных «ладожских» видов. Оз. Узловое, расположенное в 10 км от берега Ладоги, являлось частью затопленной прибрежной низины, занимавшей значительную площадь. Очевидно, что формирование диатомовых комплексов должно было происходить здесь в условиях, отличных от тех, что существовали в оз. Св. Сергия. Это подтверждается более обедненным видовым составом «ладожских» видов, их меньшей относительной численностью. Наиболее сходные обстановки существовали на рассматриваемом этапе в озерах Ламском и Макаровском, расположенных на трассе предполагаемого палеостока из Ладоги в Балтику. Присутствие «ладожских» диатомей в составе их диатомовых комплексов этого времени свидетельствует о соединении озер, а их низкая численность объясняется дальностью переноса и «разбавлением» ладожских вод водами озерно-речной системы, через которую в этот период осуществлялся сток из Ладожского озера.

Защищаемое положение № 2. В позднем голоцене в развитии озер Карельского перешейка (Узловое, Макаровское) и оз. Н. Суздальского, расположенного на территории Санкт-Петербурга, отчетливо выделяется антропогенная составляющая.

Оз. Узловое. Трансформация экосистемы озера под воздействием антропогенного фактора связана с увеличением поступления терригенного материала и датируется временем $1240 \pm 80 \div 2000 \pm 130$ C¹⁴ лет (Субетто и др., 2007). Существенное уменьшение концентрации створок диатомей в донных отложениях стало следствием роста темпов седиментации, что в свою очередь привело к увеличению скорости заполнения котловины озера осадками. Возрастает численность диатомей-образователей, главным образом, *Fragilaria* spp. и *Achnanthes* spp., свидетельствуя об активизации процесса зарастания водоема (рис. 3, LU-D4). Поступление биогенных элементов с водосбора приводит к увеличению содержания эвтрофных *Aulacoseira granulata* (Ehr.) Sim. et var. *angustissima* (O. Müll.) Sim., *Cyclostephanos dubius* (Fricke) Round, *Fragilaria capucina* Desm. et var., ранее не встречавшихся или плохо представленных в составе диатомовых комплексов. Развитие процессов эвтрофирования и обмеления водоема на данном этапе можно обоснованно считать результатом деятельности человека, связанной с началом раннего сельского хозяйства на берегах озера. Этот вывод подтверждается данными

спорово-пыльцевого анализа, согласно которым в этот период отмечаются максимальное содержание пыльцы культурных злаков и сопутствующих им сорных растений (Sapelko et al., 2008).

Оз. Макаровское. На наиболее позднем этапе развития озера происходит существенный рост содержания эпифитов рода *Fragilaria* (рис. 4, LM-D4), что, вероятно, является следствием резкого уменьшения глубины водоема и увеличения площади литорали, пригодной для развития макрофитов. В дальнейшем им на смену приходят диатомеи-обрататели, до сих пор отсутствовавшие в составе диатомовых комплексов, либо имевшие очень низкую численность – *Cocconeis placentula* var. *euglypta* (Ehr.) Cl., *Epithemia adnata* (Kütz.) Breb. и *Gomphonema parvulum* Kütz. – типичные обитатели высокотрофных водоемов. В результате обмеления озера создались благоприятные условия для развития донных диатомей, о чем говорит их резко возросшая численность. Развитие прибрежноводной растительности на наиболее мелководных участках и продолжающаяся аккумуляция органического вещества обеспечили необходимый субстрат для роста мхов и развития обратателей рода *Eunotia*. Низкая численность планктонных диатомей также свидетельствует об уменьшении глубины озера. Кроме того, в условиях истощения запасов растворенного кремнезема в ходе эвтрофирования планктонные диатомеи с тонкими створками, такие как *Fragilaria capucina* et var. и *F. nanana* Lange-B., по-видимому, оказываются более «конкурентоспособными», чем и объясняется рост их процентного содержания.

Одной из наиболее вероятных причин указанных изменений представляется антропогенная перестройка гидрографической сети Карельского перешейка, «пик» которой пришелся на 19 век. Установлено, в частности, что в результате подобных преобразований площадь озера Макаровского сократилась на 38% (Севастьянов и др., 2001), что не могло не отразиться на процессах, протекающих в экосистеме озера.

Оз. Нижнее Суздальское. Первым сигналом повышения трофности озера на позднейшем этапе его развития, по-видимому, стало резкое снижение численности мезотрофной *Aulacoseira subarctica* (O. Müll.) Haworth и увеличение содержания эвтрофных *A. ambigua* (Grun.) Sim. и *Cyclostephanos dubius* (LNS-D4, рис. 5). Расчет средней скорости осадконакопления, показал, что отмечаемые изменения в составе диатомовых комплексов имели место примерно в конце первого тысячелетия нашей эры. Это не противоречит имеющимся сведениям о широком распространении в этот период пашенного

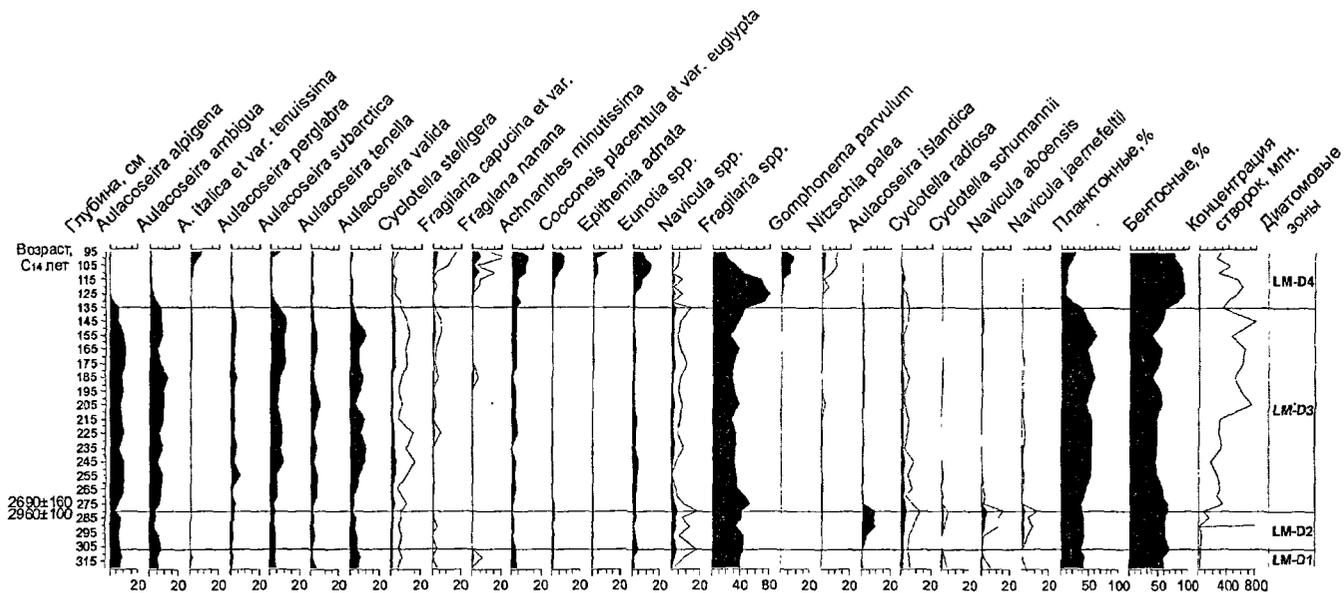


Рис. 4. Диатомовая диаграмма оз. Макаровского. Относительная численность основных видов диатомей (в %), соотношение основных экологических групп, концентрация створок в 1 г сухого осадка и диатомовые зоны.

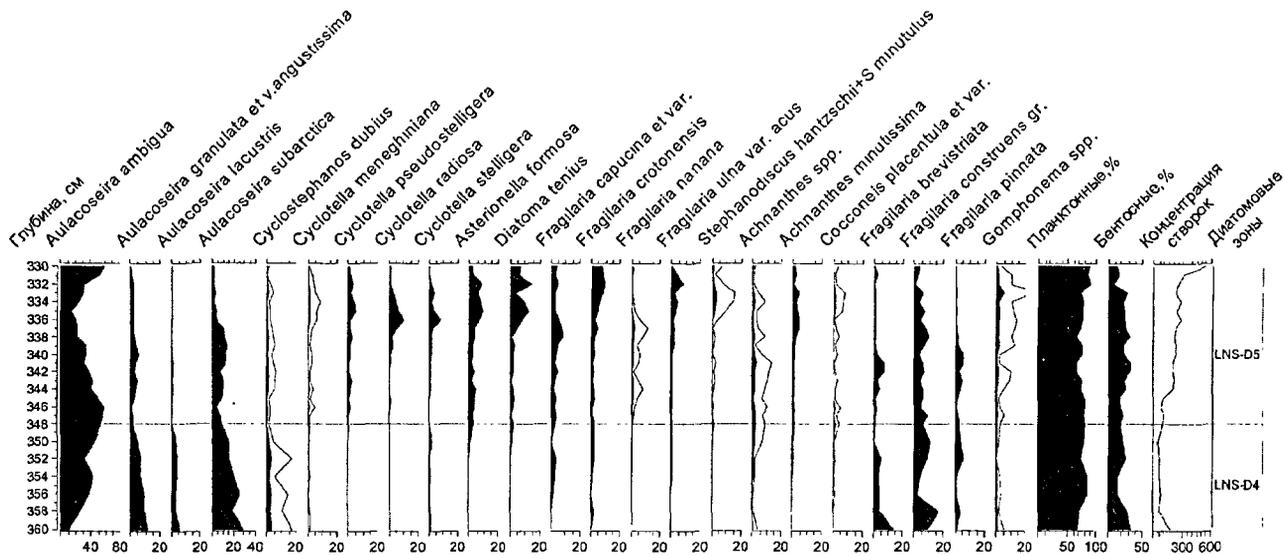


Рис. 5. Диатомовая диаграмма оз. Н. Суздальского (верхние 30 см). Относительная численность основных видов диатомей (в %), соотношение основных экологических групп, концентрация створок в 1 г сухого осадка и диатомовые зоны.

земледелия (Исаченко, 1998), повлекшего за собой значительные преобразования природной среды. Однако какие-либо достоверные свидетельства человеческой деятельности на водосборе озера в это время не были выявлены (Корявцев, 1992). Резкая перестройка состава диатомовых комплексов, связанная с появлением и расцветом видов, ранее не встречавшихся или встречавшихся лишь единично, происходит в диатомовой зоне LNS-D5. К ним относятся характерные для начальных этапов антропогенного эвтрофирования *Asterionella formosa* Hass. и *Fragilaria crotonensis* Kitt. (Давыдова, 1985; Lotter, 1998 и др.), а также типичные обитатели высокотрофных водоемов *Cyclotella meneghiniana* Kütz., *C. pseudostelligera* Hust., *F. capucina* et var.; продолжает увеличиваться численность эвтрофной *Aulacoseira ambigua*. Особенно существенные изменения наблюдаются в самой верхней части интервала, где наряду с вышеперечисленными таксонами, отмечается рост численности эвтрофных *Diatoma tenuis* Ag., *F. ulna* var. *acus* (Kütz.) Lange-B., *Stephanodiscus hantzschii* Grun. и *S. minutulus* (Kütz.) Cl. et Möll. Расчет скорости осадконакопления показал, что эти изменения имели место около 250 л.н., что сопоставимо с имеющимися данными о существовании в это время поселений по берегам озера (Глезеров, 2004) и дает основание говорить о непосредственном воздействии на его экосистему.

Защищаемое положение № 3. Современное состояние изученных озер Карельского перешейка определяется особенностями их водосбора и наличием источников антропогенного воздействия.

Сопоставление состава диатомовых комплексов поверхностного слоя донных отложений исследованных озер методом соответствий с удаленным трендом позволило выявить основные факторы, определяющие их современное состояние (рис. 6).

1-й значимый фактор (ось 1), определяющий особенности условий среды исследованных водоемов, включает специфику водосбора озера. Расположение оз. Св. Сергия (=Putsaari) в ординационном пространстве предполагает наиболее тесную зависимость от этого фактора. В отличие от остальных объектов исследования, расположенных в зоне развития рыхлых четвертичных наносов, котловина и водосбор оз. Св. Сергия сложены древними кристаллическими породами фундамента преимущественно кислого состава. Со спецификой геолого-геоморфологических условий, небольшой площадью водосбора, слабым развитием почвенного покрова

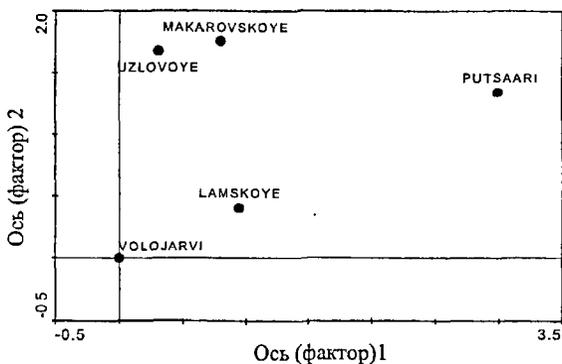


Рис. 6. Ординационная диаграмма анализа соответствий с удаленным трендом для современных диатомовых комплексов водоемов Карельского перешейка.

и распространением процессов заболачивания по берегам и на водосборе озера связаны такие его особенности, установленные по данным диатомового анализа, как низкая обеспеченность биогенными элементами и пониженный рН. Озера Ламское и Макаровское расположены в непосредственной близости друг от друга, в пределах одного ландшафта, характеризующегося общностью геологического строения, рельефа, состава четвертичных отложений, климатических и гидрологических условий, почвенно-растительного покрова, что, в свою очередь, определяет основные закономерности процессов, протекающих в их экосистемах

Второй фактор отражает степень антропогенной нагрузки на озерные экосистемы. Озера Узловое и Макаровское, подвергшиеся на позднейшем этапе развития интенсивному воздействию со стороны человека, обнаруживают высокую корреляцию со 2-м фактором (ось 2). В диатомовых комплексах озер Ламского и Воляярви не было отмечено столь очевидных признаков антропогенных изменений, что также показывает их меньшая зависимость от 2-го фактора. Оз. Св. Сергия, расположенное на небольшом острове в северной части Ладоги, удалено от прямых источников антропогенного воздействия, что подтверждается результатами диатомового анализа.

Защищаемое положение № 4. Особенности современного состояния водоемов г. Санкт-Петербурга обусловлены степенью антропогенного воздействия, установленной по данным диатомового анализа.

Канонический анализ соответствий позволил оценить комплексное влияние группы параметров водной среды на состав современных диатомовых комплексов 54 городских водоемов. Наибольшая изменчивость видового состава обусловлена, с одной стороны, концентрациями общего фосфора ($P_{общ}$) и значениями удельной электропроводности (УЭП), с другой – глубиной водоемов. Результатом канонического анализа соответствий стало выделение групп водоемов с учетом сходства параметров среды и состава диатомовых комплексов (рис. 7):

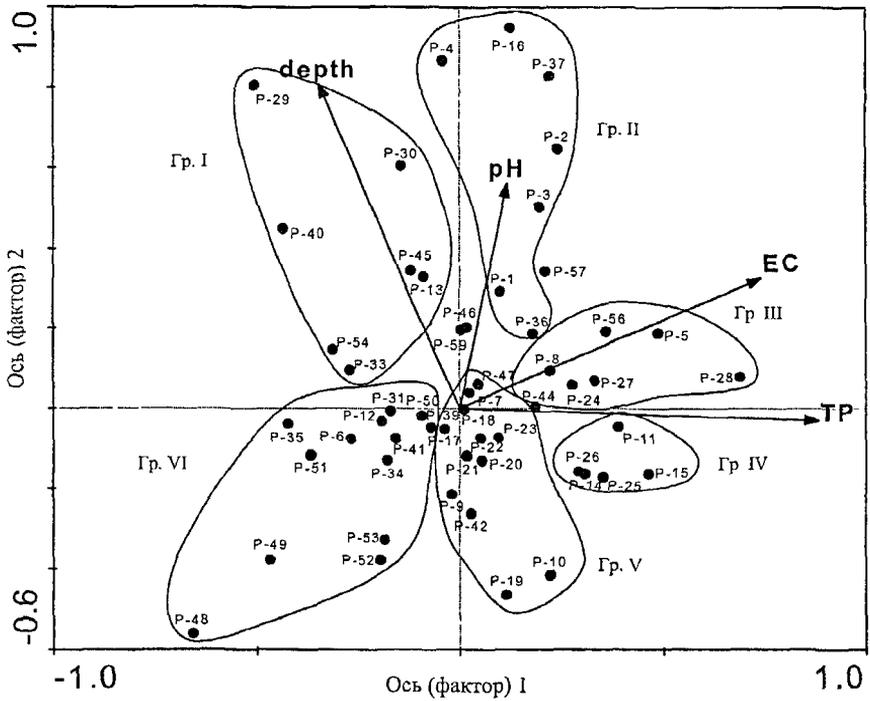


Рис. 7. Ординационная диаграмма канонического анализа соответствий объектов исследования и параметров водной среды (depth – глубина, ЕС – удельная электропроводность, ТР – общий фосфор).

Группа I: Преобладают диатомеи планктона. Доминирующий комплекс: *Cyclotella pseudostelligera* – *Asterionella formosa* – *Fragilaria crotonensis*.

Относительно глубокие водоемы (средняя глубина для группы 5,5 м) с наиболее низким $P_{\text{общ}}$ (среднее значение для группы – 74 мкг/л) и УЭП.

Группа II: Преобладают планктонные диатомеи. Доминирующий комплекс: *Diatoma tenuis* – *Stephanodiscus minutulus* – *S. hantzschii*. Наиболее «глубоководная» группа (ср. глубина 6,4 м), с более высокими по сравнению с предыдущей концентрациями $P_{\text{общ}}$ (ср. значение 111 мкг/л) и наиболее высокой УЭП (ср. 1395 $\mu\text{S}/\text{см}$).

Группа III: Преобладают планктонные диатомеи. Доминирующий комплекс: *Stephanodiscus minutulus* – *S. hantzschii* – *Fragilaria capucina* var. *mesolepta* (Rabenh.) Rabenh. Менее глубокие водоемы по сравнению с группами I и II (ср. глубина 2,5 м) с крайне высокими концентрациями $P_{\text{общ}}$ (ср. 976 мкг/л, макс. 1278) и высокой УЭП (ср. 760 $\mu\text{S}/\text{см}$).

Группа IV: В целом преобладают бентосные диатомеи. Доминирующий комплекс: *Achnanthes hungarica* (Grun.) Grun. – *Navicula minima* Grun. – *Cyclotella pseudostelligera*. Водоемы с наименьшей глубиной (средняя 1,5 м), высокими значениями $P_{\text{общ}}$ (ср. 862 мкг/л) и УЭП (ср. 556 $\mu\text{S}/\text{см}$).

Группа V: Доминирующий комплекс: *Stephanodiscus minutulus* – *Achnanthes minutissima* Kütz. Также «мелководная» группа (ср. глубина 1,6 м) с менее высокими концентрациями $P_{\text{общ}}$ (ср. 182 мкг/л) и УЭП (ср. 439 $\mu\text{S}/\text{см}$).

Группа VI: Преобладают бентосные диатомеи. Доминирующий комплекс: *Achnanthes minutissima* – обрастатели рода *Fragilaria*. Средняя для группы глубина – 2,1 м, сравнительно низкие содержания $P_{\text{общ}}$ (96 мкг/л) и наиболее низкое среднее значение УЭП (300 $\mu\text{S}/\text{см}$).

Сопоставление состава диатомовых комплексов водоемов Санкт-Петербурга с таковым водоемов Карельского перешейка с помощью анализа соответствий с удаленным трендом, выявило основной фактор (градиент) изменчивости видового состава, определяющийся степенью антропогенной нагрузки. Оценка современного состояния водных объектов, показала, что экосистемы исследованных озер Карельского перешейка в целом в наименьшей степени затронуты антропогенным воздействием (рис. 8). Из городских водоемов сравнительно благополучная ситуация характерна для 19 водоемов, в основном, вошедших в группы I и VI, то есть характеризующиеся сравнительно низкими концентрациями $P_{\text{общ}}$ и УЭП, а также отсутствием критических нагрузок на их экосистемы. Это водоемы естественного происхождения, находящиеся в черте города, а также пруды, расположенные на территории городских парков и скверов и некоторые водоемы пригородов

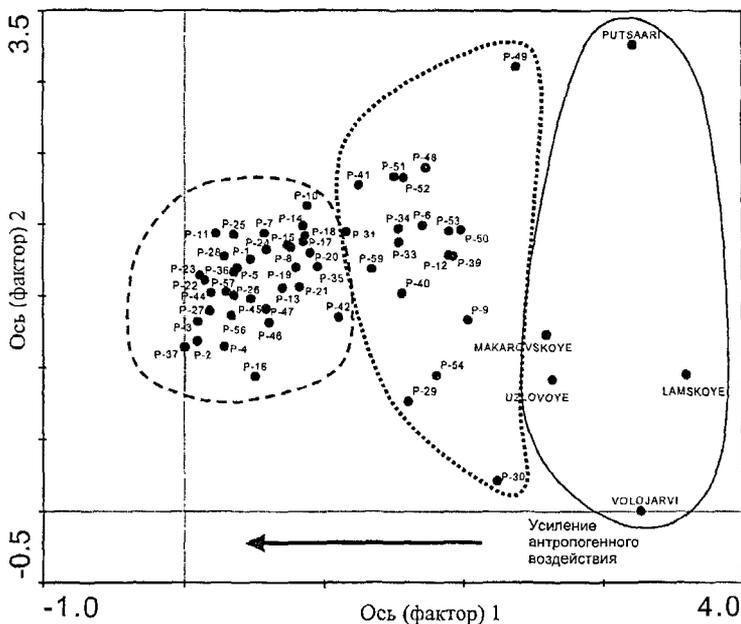


Рис. 8. Ординационная диаграмма соответствий с удаленным трендом. Ранжирование объектов исследования по степени антропогенного воздействия на экосистемы.

Санкт-Петербурга. Такая оценка в целом хорошо согласуется с результатами комплексного анализа параметров водной среды и различных характеристик водоемов (Научно-технический..., 2003, 2004), согласно которым состояние 12-ти из 19-ти выделенных водоемов, классифицировано как «относительно удовлетворительное». Состояние подавляющего большинства объектов, вошедших в группы II, III, IV и V по результатам ординации было оценено как неблагоприятное. Комплексный анализ показателей водной среды также определил ситуацию этих объектов как «напряженную», а для некоторых – как «критическую» (Научно-технический..., 2003, 2004). Тем самым было продемонстрировано, что диатомовый анализ поверхностного слоя донных отложений может являться эффективным методом изучения и оценки современного состояния городских водоемов.

ВЫВОДЫ

1. Ранняя стадия развития озер Макаровского, Ламского, Узлового и Св. Сергия связана с проникновением в их котловины вод Ладожского озера на этапе его среднеголоценовой трансгрессии, о чем неоспоримо свидетельствует присутствие в составе диатомовых комплексов индикаторных «ладожских» видов.

2. Обнаружение «ладожских» видов в составе диатомовых комплексов озер Ламского и Макаровского свидетельствует о соединении озер, тем самым подтверждая представление о существовании стока из Ладоги в Балтику, осуществлявшегося через озerno-речную систему в северной части Карельского перешейка до образования р. Невы.

3. Отсутствие «ладожских» диатомей в оз. Волеяври свидетельствует о том, что воды ладожской трансгрессии не проникали в его котловину. Можно предположить лишь косвенное влияние трансгрессии на протекавшие в нем процессы.

4. Прекращение поступления ладожских вод в котловины озер Узлового, Св. Сергия, Ламского и Макаровского в связи с завершением трансгрессии ознаменовало начало их развития как самостоятельных водоемов. По данным диатомового анализа процессы, происходившие в озерах Узловом и Макаровском на позднейшем этапе развития, можно обоснованно считать результатом человеческой деятельности.

5. Повышение трофности оз. Н. Суздальского на наиболее позднем этапе его истории, зафиксированное по результатам диатомового анализа, является следствием деятельности человека, что подкрепляется сведениями о времени заселения берегов водоема.

6. Основными факторами, определяющими современное состояние изученных озер Карельского перешейка, являются специфика условий водосбора (геолого-геоморфологические характеристики, площадь, характер почвенно-растительного покрова и др.), а также наличие источников антропогенного воздействия.

7. Особенности видового состава диатомовых комплексов городских водоемов определяются содержанием $P_{\text{общ}}$ и величиной УЭП с одной стороны, и глубиной водоемов – с другой. Выявленная зависимость между численностью отдельных видов и параметрами среды городских водоемов позволила выделить доминирующие комплексы, характеризующие определенные условия.

8. Оценка состояния городских водоемов по данным диатомового анализа в целом хорошо согласуется с выводами, полученными на основе комплексного анализа параметров водной среды (Научно-технический... 2003, 2004).

Список опубликованных работ по теме диссертации:

1. **Ludikova A.V.**, Subetto D. A., Davydova N. N., Sapelko T. V., Kuznetsov D. D., Arslanov Kh. A. & J.O. Miettinen. Long-term fossil diatom records from small boreal lakes as a key tool in reconstructing Lake Ladoga level fluctuations (North-Western Russia) // Abstracts of the 18th International Diatom Symposium, Miedzyzdroje, Poland, 2-7 September, 2004. P. 84.

2. **Лудикова А.В.**, Кузнецов Д.Д. Палеолимнология озера Воляярви по данным диатомового анализа донных отложений // Тезисы докладов Международной конференции «Экологическое состояние континентальных водоемов арктической зоны в связи с промышленным освоением северных территорий», Архангельск, 21-25 июня, 2005 г. С. 62.

3. Субетто Д.А., Долуханов П.М., Сапелко Т.В., **Лудикова А.В.**, Кузнецов Д.Д., Зайцева Г.И., Арсланов Х.А. Реконструкция древнего Ладожско-Балтийского соединения в голоцене по палеолимнологическим и археологическим данным // Тезисы докладов Международной конференции «Экологическое состояние континентальных водоемов арктической зоны в связи с промышленным освоением северных территорий», Архангельск, 21-25 июня, 2005 г. С. 104.

4. **Лудикова А.В.**, Сусарева О.М., Игнатьева Н.В., Кузнецов Д.Д. Диатомовая флора водоемов Санкт-Петербурга // Тезисы IX школы диатомологов России и стран СНГ «Морфология, систематика, онтогенез, экология и биогеография диатомовых водорослей», Борок, 13-16 сентября 2005 г. С. 44.

5. **Лудикова А.В.** История Балтийско-Ладожского соединения в голоцене по данным диатомового анализа донных отложений озер Карельского перешейка // Материалы XI палинологической конференции «Палинология: теория и практика», Москва, 27 сентября – 1 октября 2005 г. С. 144

6. **Лудикова А.В.**, Субетто Д.А., Давыдова Н.Н., Сапелко Т.В., Арсланов Х.А. Колебания уровня Ладожского озера в голоцене (на основе палеолимнологических исследований оз. Святого Сергия на о. Путсаари) // Известия РГО, 2005, Т.137. Вып. 6. С. 34-41.

7. Субетто Д.А., Арсланов Х.А., Долуханов П.М., Зайцева Г.И., Кузнецов Д.Д., **Лудикова А.В.**, Сапелко Т.В. Формирование стока Ладожского озера в голоцене и расселение человека // Труды международной конференции «Экологическое состояние континентальных водоемов северных территорий». СПб: «Наука», 2005. С. 207-214.

8. Subetto D.A., Kuznetsov D.D., **Ludikova A.V.**, Sapelko T.V., Zaitseva G.I. Environmental changes and the Ladoga-Baltic connection on the Karelian Isthmus during the Holocene // International Conference "Man and Environment in Pleistocene and Holocene: Evolution of Waterways and Early Settlement of Northern Europe" (Abstracts), St. Petersburg, April 14-16, 2006. P.31-32.

9. Сапелко Т.В., **Лудикова А.В.**, Давыдова Н.Н., Кузнецов Д.Д. Биоиндикация в изучении эвтрофирования озерных экосистем по материалам исследования донных отложений. // Материалы международной конференции «Биоиндикация в мониторинге пресноводных экосистем», Санкт-Петербург, 23-27 октября 2006 г. С. 132-133.

10. **Ludikova A.V.**, Bigler C., Ignatieva N.V., Susareva O.M., Kuznetsov D.D. Surface-sediment diatom assemblages in Saint Petersburg ponds. // Abstracts of the 19th International Diatom Symposium, Irkutsk, Russia, 28 August - 3 September, 2006. P. 94.

11. **Ludikova A.V.**, Subetto D.A., Davydova N.N., Sapelko T.V., Kuznetsov D.D., Arslanov Kh.A., Miettinen J.O. The use of diatom records from small lakes in reconstructing the lake level fluctuations of Lake Ladoga. // Eighteenth International Diatom Symposium 2004. Miedzyzdroje, Poland / Ed. by A. Witkowski. Bristol: Biopress Limited, 2006. P. 249-263.

12. Subetto D.A., Davydova N.N., Kuznetsov D.D., **Ludikova A.V.**, Sapelko T.V. Climate and Environment reconstructions of the Lake Ladoga area during the Late Holocene // European Large Lakes Symposium 2006. Ecosystem changes and their ecological and socioeconomic impacts (Abstracts), Tartu, Estonia, 11-15 September, 2006. P. 26.

13. Subetto D.A., Dolukhanov P.M., Arslanov Kh.A., Kuznetsov D.D., **Ludikova A.V.**, Sapelko T.V., Zaitseva G.I. Evolution of the Ladoga-Baltic connection and Early human migration in the Holocene // European Large Lakes

Symposium 2006. Ecosystem changes and their ecological and socioeconomic impacts (Abstracts), Tartu, Estonia, 11-15 September, 2006. P. 27.

14. Субетто Д.А., Сапелко Т.В., Кузнецов Д.Д., **Лудикова А.В.**, Долуханов П.М., Зайцева Г.И. История формирования стока из Ладожского озера: новые палеолимнологические данные // Материалы международной конференции «Радиоуглерод в археологических и палеоэкологических исследованиях», Санкт-Петербург, 9-12 апреля 2007 г. Санкт-Петербург: «Теза», 2007. С. 381-403.

15. Субетто Д.А., Герасимов Д.В., Сапелко Т.В., Аверичкин О.Б., Кузнецов Д.Д., **Лудикова А.В.** Палеосток Ладожского озера в голоцене и расселение человека. // Материалы V Международной конференции “Геология в школе и вузе: геология и цивилизация”, Санкт-Петербург, 2007. С. 84-89.

16. **Лудикова А.В.**, Кузнецов Д.Д., Игнатьева Н.В., Сусарева О.М. Особенности современного состояния водоемов урбанизированных территорий (на примере г. Санкт-Петербурга) по данным диатомового анализа донных отложений // Молодежная международная научная конференция «Экология-2007», Архангельск, 18-21 июня 2007 г. С. 62-63.

17. **Лудикова А.В.**, Кузнецов Д.Д., Игнатьева Н.В., Сусарева О.М. Особенности состава диатомовых комплексов водоемов Санкт-Петербурга // Материалы X Международной научной конференции диатомологов стран СНГ «Морфология, клеточная биология, экология, флористика и история развития диатомовых водорослей», Минск, Белоруссия, 9-14 сентября 2007 г. С. 97-99.

18. **Лудикова А.В.** Реконструкции палеогеографических обстановок Карельского перешейка по материалам диатомового анализа // Материалы X Международной научной конференции диатомологов стран СНГ «Морфология, клеточная биология, экология, флористика и история развития диатомовых водорослей», Минск, Белоруссия, 9-14 сентября 2007 г. С. 201-203.

19. Subetto D.A., Dolukhanov P.M., Sapelko T.V., **Ludikova A.V.**, Kuznetsov D.D., Arslanov Kh.A., Zaitseva G.I. History of the Ladoga-Baltic Water Connection and Early Human Migrations in the Holocene // Annual Conference of the Association for Environmental Archaeology (AEA), Poznań, Poland, September 12-15, 2007. P. 136-138.

20. Dolukhanov P.M., Shukurov A. M., Arslanov Kh. A., Subetto D. A., Zaitseva G. I., Djinnoridze E. N., Kuznetsov D. D., **Ludikova A. V.**, Sapelko T. V.,

Savelieva L. A. Evolution of waterways and early human settlements in the Eastern Baltic area: radiocarbon-based chronology // Radiocarbon, 2007, Vol. 49, N 2. P. 527–542.

21. Кузнецов Д.Д., Субетто Д.А., Сапелко Т.В., Лудикова А.В. Новые данные по Балтийско-Ладожскому соединению в позднем голоцене по палсолимнологическим данным. // Материалы XVII международной научной конференции по морской геологии "Геология морей и океанов", Москва, 2007 г. Т. I. С. 230-232.

22. Ludikova A., Subetto D., Sapelko T., Kuznetsov D. Lake Ladoga level fluctuations and resulting palaeoenvironmental changes in the Karelian Isthmus (NW Russia) inferred from diatom records // 2nd Central European Diatom Meeting (Abstracts), Trento, Italy, June 12-15, 2008. P. 54.

23. Sapelko T., Subetto D., Gerasimov D., Ludikova A., Kuznetsov D., Dolukhanov P. Paleolimnology and paleoenvironments of Lake Uzlovoye (Lake Ladoga Region, NW Russia) // Proceedings of the International Conference "Man and environment in boreal forest zone: past, present and future", Central Forest State Natural Biosphere Reserve, Russia, July 24-29, 2008. P. 84-86.

24. Лудикова А.В. Природные и антропогенные факторы в развитии водоема, расположенного в городской черте (по материалам диатомового анализа) // Материалы III Региональной школы-конференции молодых ученых «Водная среда и природно-территориальные комплексы: исследование, использование, охрана», Петрозаводск, 26-29 августа 2008 г. С. 105-111.

25. Субетто Д.А., Кулькова М.А., Аверичкин О.Б., Герасимов Д.В., Бельский С.В., Кузнецов Д.Д., Лудикова А.В., Сапелко Т.В., Лисицин С.Н., Юшкова М.А. Развитие Балтийско-Ладожского водного соединения и его влияние на расселение человека // Сборник научных трудов XII Всероссийской Палинологической конференции «Палинология: стратиграфия и геоэкология», Санкт-Петербург, 29 сентября – 4 октября, 2008 г., Т. II. С. 252-257.

26. Dolukhanov P.M., Subetto D.A., Arslanov Kh.A., Davydova N.N., Zaitseva G.I., Djinoridze 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 International, 2009 (в печати).

Подписано в печать 14.11.2008г.
Формат 60x84 1/16. Бумага офсетная. Печать офсетная.
Усл. печ. л. 1,5. Тираж 100 экз.
Заказ № 957.

Отпечатано в ООО «Издательство "ЛЕМА"»
199004, Россия, Санкт-Петербург,
В.О., Средний пр., д.24, тел./факс: 323-67-74
e-mail: izd_lemma@mail.ru
<http://www.lemaprint.ru>