

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Российский государственный педагогический
университет им. А. И. Герцена»

На правах рукописи

Шаталова Ангелина Евгеньевна
РЕКОНСТРУКЦИЯ УРОВНЯ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ НА ОСНОВЕ
ДИАТОМОВОГО АНАЛИЗА ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ОЗЕР
КАРЕЛЬСКОГО ПЕРЕШЕЙКА

Специальность:

1.6.14 – геоморфология и палегеография

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата географических наук

Научный руководитель:
доктор географических наук,
Субетто Д.А.

Санкт-Петербург, 2024

Содержание

ВВЕДЕНИЕ	3
ГЛАВА 1. К ВОПРОСУ ДИНАМИКИ УРОВНЯ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ В ГОЛОЦЕНЕ	9
1.1 Физико-географическая характеристика Карельского перешейка	9
1.2 Изменение уровня Балтийского моря в голоцене.....	14
1.3 Изученность колебаний уровня Балтийского моря в восточной части Финского залива.....	23
ГЛАВА 2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ	31
2.1. Полевые методы.....	31
2.2. Методы обработки фактического материала	35
ГЛАВА 3. СТРОЕНИЕ И СОСТАВ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ОЗЕР	45
3.1. Озеро Голубое	45
3.2. Озеро Большое Молочное	54
3.3. Озеро Зайчихинское.....	66
ГЛАВА 4. РЕКОНСТРУКЦИЯ ИЗМЕНЕНИЯ УРОВНЯ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ В ГОЛОЦЕНЕ	80
4.1. Основные этапы развития озерных экосистем	80
4.2. Реконструкция колебаний уровня Анцилового озера и Литоринового моря в северо-западной части Карельского перешейка.....	89
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	107
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	109
ПРИЛОЖЕНИЕ	123
Приложение 1	123
Приложение 2	130

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность.

Со времени последней дегляциации котловины Балтийского моря (17–15 тысяч калиброванных лет назад) уровень Балтийского моря существенно изменялся. Природа колебаний определялась рядом факторов: изменениями климата, таянием ледникового щита, дифференцированным гляциоизостатическим поднятием суши и эвстатическими колебаниями уровня Мирового океана, изменением высоты порогов стока Балтийского моря в Атлантический океан и рядом других региональных и локальных природных факторов.

К настоящему времени довольно детально изучены параметры и характеристики динамики относительного уровня Балтийского моря в голоцене для ряда его прибрежных участков (Rosentau et al., 2021). В меньшей степени изучена восточная часть Финского залива Балтийского моря (Sandgren et al., 2001; Miettien et al., 2004 и др). Ключевым районом палеогеографических реконструкций динамики уровня Балтийского моря и его соединения с Ладожским озером является Карельский перешеек. Это соединение в прошлом активно осваивалось первобытным человеком и было частью водного пути «из варяг в греки» (Dolukhanov et al., 2009, 2010; Arslanov et al., 2009). Периодически обсуждаются проекты по строительству водно-канальной системы в северной части Карельского перешейка для транспортной связи Ладожского озера с Балтийским морем (Журнал Речной транспорт №4 2009 г. [Электронный ресурс]).

Наиболее дискуссионной является проблема изменения уровня Балтийского моря во время его литориновой стадии (Sandgren et al., 2004; Rosentau et al., 2013). Изменение положения береговой линии в различных районах происходило неравномерно и асинхронно. Поэтому нет единого мнения о количестве литориновых трансгрессий, их временных рамках и амплитуде. Максимальный уровень Балтики на стадии Литоринового моря по ряду данных превышал современный в районе г. Санкт-Петербурга на 5–6 м,

в районе Зеленогорска – на 10 м, в районе Выборга – на 18–20 м (Saarnisto, 2001). Разновысотное положение береговой линии Литоринового моря связано с неравномерным изостатическим поднятием земной коры. Поэтому вопросы о динамике уровня Балтийского моря в голоцене и ее хронологии являются актуальными.

В целях палеорекоконструкций уровневого режима морских бассейнов применяется метод изоляционных бассейнов, который дает возможность более точно реконструировать характер трансгрессивно-регрессивных циклов. Изменение в строении донных отложений разновысотных озер вместе с результатами диатомового анализа и привязкой к геохронологической шкале позволяют фиксировать изоляцию озер от морских бассейнов (напр., Кузнецов и др., 2022; Ludikova et al., 2023).

Цель исследования – реконструировать изменения уровня Балтийского моря в голоцене по данным изучения диатомовых комплексов в донных отложениях озер северо-запада Карельского перешейка.

Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

- систематизировать существующие представления о динамике уровня Балтийского моря в восточной части Финского залива;
- проанализировать состав и строение донных отложений озер Карельского перешейка;
- выявить основные этапы развития озерных экосистем на основе диатомовых комплексов.

Объект исследования – донные отложения озер Карельского перешейка (озера Голубое, Большое Молочное и Зайчихинское) и ископаемые диатомовые комплексы.

Предмет исследования – эволюция озерных экосистем северо-запада Карельского перешейка и их взаимосвязь с трансгрессивно-регрессивными циклами Балтийского моря в голоцене

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Строение донных отложений и состав диатомовых комплексов в донных отложениях озер, расположенных на разных гипсометрических уровнях в северо-западной части Карельского перешейка, отражают колебания уровня Балтийского моря в стадии анциловой и литориновой трансгрессии;

2. Состав диатомовых комплексов в донных отложениях озер отражает колебания уровня солености водоемов во время трансгрессивной стадии Литоринового моря;

3. Максимальный уровень Балтийского моря в стадию анциловой трансгрессии превышал 13 м над у. м. в северо-западной части Карельского перешейка (10700–10500 кал. л. н.). Снижение уровня Балтики на 2 м происходило в интервале времени 10400–8500 кал. л. н. со средней скоростью 1 м за 800 лет;

4. Максимальный уровень Балтийского моря в стадию литориновой трансгрессии достигал отметки 11 м в северо-западной части Карельского перешейка (около 7500 кал. л. н.).

Научная новизна полученных результатов:

Впервые:

– получены данные о строении и составе донных отложений озер Карельского перешейка – Голубое, Большое Молочное и Зайчихинское;

– проанализированы ископаемые диатомовые комплексы в донных отложениях озер Голубое, Большое Молочное и Зайчихинское;

– установлено положение и возраст уровней Анцилового озера и Литоринового моря – стадий Балтийского моря в голоцене, на северо-западе Карельского перешейка.

Личный вклад автора состоит в формулировании цели и задач исследования, в участии в научных экспедициях, в сборе и аналитической обработке фактического материала и данных. Фактический материал был отобран автором во время полевых исследований в 2019–2023 гг. на Карельском перешейке (озера Голубое, Б. Молочное, Зайчихинское) и

проанализирован в лаборатории Рационального природопользования факультета географии РГПУ им. А. И. Герцена, а также во время научной стажировки соискателя в отделе Исследований полярных наземных экосистем Института полярных и морских исследований им. Альфреда Вегенера, Потсдам, Германия (2018). В полевых условиях проведены исследования порогов стока озер, батиметрические и геоакустические исследования. Образцы донных отложений исследованы автором палеолимнологическими методами: литологический, потери массы при прокаливании, геохимический и диатомовый анализы. Изучены ископаемые диатомеи в 150 образцах (выполнено 75000 видоопределений). Полученные данные позволили выполнить реконструкцию изменений уровня Балтийского моря в голоцене.

Теоретическая и практическая значимость диссертационного исследования заключается в уточнении абсолютных значений уровней анциловой и литориновой трансгрессий Балтийского моря в восточной части Финского залива, установленных по результатам анализа диатомовых комплексов донных отложений озер. Полученные научные результаты вошли в созданную автором базу данных «Изменения уровня крупных водных объектов периферии Фенноскандинавского щита в позднем плейстоцене и голоцене "Paleobasins"» и могут быть востребованы специалистами в области четвертичной палеогеографии, преподавателями ВУЗов и студентами. Результаты исследования могут быть использованы при долгосрочном планировании хозяйственной деятельности на Карельском перешейке, а также при прогнозировании развития озерных экосистем для мониторинга изменения окружающей среды.

Степень достоверности и апробация исследования.

Достоверность полученных научных результатов обеспечена применением метода изолированных водоемов с изучением диатомовых комплексов донных отложений озер северо-запада Карельского перешейка. Основные положения диссертационного исследования докладывались и обсуждались на конференциях: XIX международная научная конференция

студентов и аспирантов «Проблемы Арктического региона» (Мурманск, 2018), III Международная конференция «Палеолимнология Северной Евразии и Школа молодых ученых» (Казань, 2018), Международная научная и практическая конференция «Природное и культурное наследие: междисциплинарные исследования, сохранение и развитие» (Санкт-Петербург, 2019), International Field Symposium of the INQUA PeriBaltic Working Group (Greifswald, 2019), VII ежегодная Международная конференция «Рельеф и четвертичные образования Арктики, субарктики и северо-запада России» (Санкт-Петербург, 2020), Международная научно-практическая конференция LXXIV Герценовские чтения «География: развитие науки и образования» (Санкт-Петербург, 2021), Международная научная конференция «Диатомовые водоросли: морфология, биология, систематика, флористика, экология, палеогеография, биостратиграфия» (Звенигород, 2021), V Международная конференция "Палеолимнология Северной Евразии и Школа молодых ученых" (Иркутск, 2022).

Исследование проводилось при поддержке гранта Президента РФ № МК 5595.2018.5, при поддержке гранта РФФИ_Аспиранты №20-35-90089 и за счет средств Гос.задания №073-03-2022-040/2

Публикации: по материалам диссертации опубликовано 19 статей. Из них в рецензируемых научных журналах, рекомендованных ВАК при Министерстве науки и высшего образования РФ – 4; в изданиях, которые входят в международные реферативные базы данных – 1; в научных изданиях – 9; в сборниках материалов конференций – 10. Зарегистрирована база палеолимнологических данных «Изменения уровня крупных водных объектов периферии Фенноскандинавского щита в позднем плейстоцене и голоцене "Paleobasins"» (Свидетельство о государственной регистрации № 2022623647 от 23.12.22).

Благодарности.

Автор выражает глубокую благодарность научному руководителю, доктору географических наук Субетто Д.А. за помощь на всех этапах

проведения исследований и написания диссертации, кандидату географических наук Лудиковой А.В., старшему научному сотруднику СПб ФИЦ РАН, за помощь, предоставленные материалы и консультации в области диатмического анализа и по теме исследования, кандидату географических наук Кублицкому Ю.А., доценту кафедры физической географии и природопользования факультета географии РГПУ им. А. И. Герцена за неоценимую помощь в работе и организации экспедиций на Карельский перешеек, кандидату географических наук Фирсенковой В.М., доценту кафедры физической географии и природопользования факультета географии РГПУ им. А. И. Герцена за консультации по теме исследования. Выражаю искреннюю благодарность Демидионову М.Ю. и Орлову А.В. за помощь с иллюстративным материалом и консультацию в работе и Леонтьеву П.А. за консультацию по съемке высот с помощью ГНСС-приемника.

Структура и объем работы.

Диссертация состоит из введения, 4-х глав и заключения. Основной текст диссертации изложен на 130 страницах, включает 63 рисунка, 6 таблиц и 2 приложения. Библиографический список включает 112 наименований, в том числе 69 на иностранном языке.

ГЛАВА 1. К ВОПРОСУ ДИНАМИКИ УРОВНЯ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ В ГОЛОЦЕНЕ

Карельский перешеек расположен между двумя крупными водными объектами: Финским заливом Балтийского моря и крупнейшим в Европе пресноводным Ладожским озером. На юге перешеек ограничивается рекой Невой, а на севере – условной линией Выборг – Каменногорск – Кузнечное (рис. 1).

1.1 Физико-географическая характеристика Карельского перешейка

Изученные озера – Голубое, Большое Молочное и Зайчихинское, расположены в северо-западной части Карельского перешейка. Озеро Голубое ($60^{\circ}67'75''$ с.ш., $28^{\circ}88'58''$ в.д.; 11 м над уровнем моря) находится в непосредственной близости от г. Выборга и в 7 км к востоку от берега Финского залива (рис. 1). Озеро Б. Молочное ($60^{\circ}84'5''$ с.ш., $28^{\circ}94'27''$ в.д.; 9 м над уровнем моря) расположено на 20 км севернее оз. Голубое и в 15 км к востоку от берега Финского залива, рядом с пос. Возрождение. Озеро Зайчихинское ($60^{\circ}44'03''$ с.ш., $28^{\circ}82'47''$ в.д.; 13 м над уровнем моря) и Финский залив разделяют 5 км, и находится недалеко от г. Приморск.

Геологическое строение. Карельский перешеек расположен на стыке двух крупных геологических образований – Балтийского кристаллического щита и Русской плиты, структурной границей которых считается условная линия Приморск – Приозерк. Это обуславливает неоднородность геологического строения исследуемой территории (рис. 2).

На участке Балтийского кристаллического щита распространены архейские и протерозойские кристаллические горные породы (граниты, слюдяные гнейсы, кристаллические сланцы) с интрузиями кислых и основных пород. В западной части Карельского перешейка преобладают граниты раппакиви (Геология СССР, 1971).



Рис. 1. Местоположение объектов исследования.

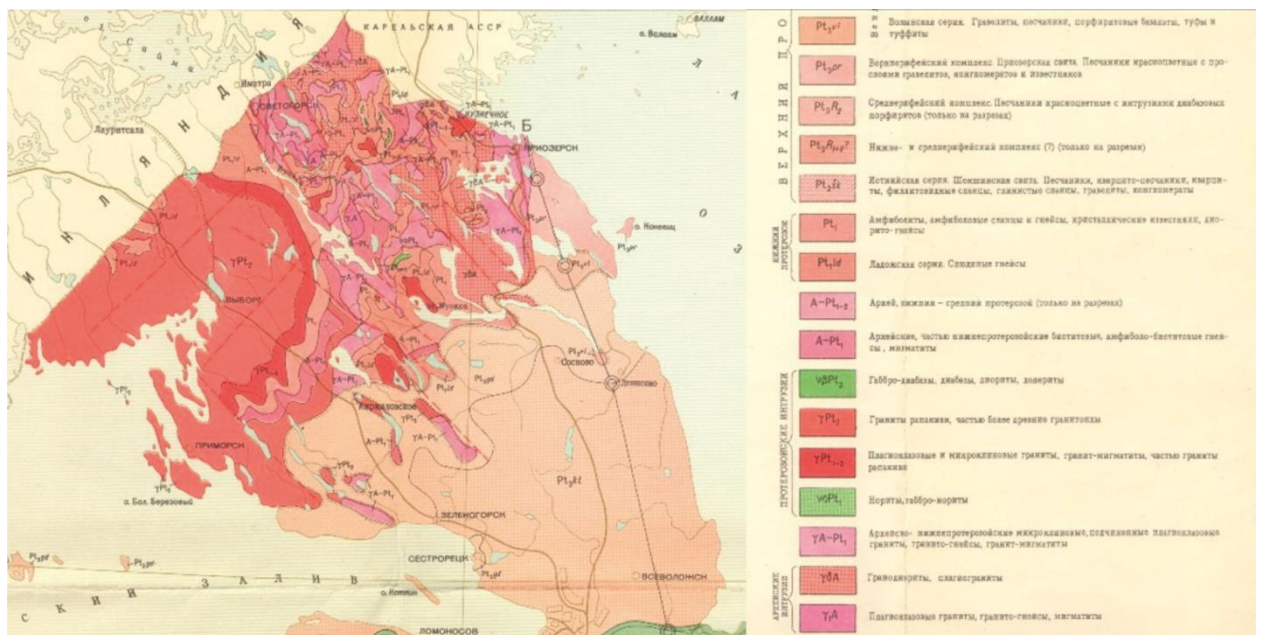


Рис. 2. Геологическая карта Карельского перешейка (Геология СССР, 1971).

Рельеф. Современный рельеф исследуемой территории сформирован преимущественно процессами денудации и аккумуляции после ее дегляциации в конце позднего неоплейстоцена. Основную роль играли процессы экзарации вследствие выпаживающей деятельности ледника последнего оледенения и эрозии водно-ледниковыми потоками. Вследствие чего преобладающими формами рельефа являются ориентированные в

направлении движения льдов системы гряд, сложенные кристаллическими породами (сельги, бараньи лбы), и глубокие (до 40 – 50 м) долинно-русловые ложбины, вытянутые с северо-запада на юго-восток. Ложбины отличаются плоским дном и крутыми, местами террасированными склонами. Наиболее глубокие их участки заняты озерами, а также к ним приурочены долины рек. Четвертичные отложения в северной части Карельского перешейка имеют прерывистое распространение и отличаются небольшой мощностью. Южная, краевая часть массива, покрыта маломощным сплошным покровом четвертичных отложений. Многочисленные озера, ориентированные с северо-северо-запада на юго-юго-восток, наследуют древние тектонические линии и ложбины стока ледниковых вод (Березкина и др., 1965).

В южной части изучаемого региона преобладали процессы аккумуляции четвертичных отложений, средняя мощность которых составляет около 50 м. Преобладающими морфоскульптурными элементами являются озы, камы и террасированные равнины, образовавшие холмисто-моренный рельеф. Моренные холмы и гряды становились позднее естественными плотинами, вызвавшими подпруживание стока и образование многочисленных озер. Озерные котловины, как правило, имеют террасированные склоны, сложенные хорошо сортированными озерно-ледниковыми отложениями. На низких террасах развиты тяжелые суглинки и глины, на более высоких – супеси и пески (Березкина и др., 1965).

В целом северная часть Карельского перешейка отличается довольно расчлененным рельефом, имеющим юго-восточную ориентировку. Абсолютные высоты на большей части территории перешейка не превышают 50 – 60 м. Наивысшая точка перешейка с абсолютной отметкой 203 м расположена на Центральной возвышенности Карельского перешейка (рис. 1). Побережья Финского залива Балтийского моря и Ладожского озера представлены узкими фьордообразными заливами, вблизи которых распространены острова шхерового типа.

Климат и внутренние воды. Ведущим климатообразующим фактором Карельского перешейка является его географическое положение в зоне циклонального переноса влажных воздушных масс с Атлантического океана. Финский залив Балтийского моря и Ладожское озеро смягчают климат и придают ему черты морского. Карельский перешеек относится к умеренному климатическому поясу и морскому типу климата с мягкой зимой и прохладным летом. Однако не редко вторжение арктических антициклонов, которые несут ясную, но холодную летом и морозную зимой погоду. Средняя годовая относительная влажность воздуха варьируется от 69% до 79%. Годовое количество осадков составляет 700 мм, большая часть которых приходится на лето, но наибольшее количество дней с осадками – осенью и зимой вследствие преимущественно циклональной погоды. Высота снежного покрова, как правило, достигает 50–60 см. Суммарная солнечная радиация за год составляет около 3200 мДж/м². Среднегодовая температура воздуха – от 4 до 6°С (Атлас Ленинградской области, 2022).

Избыточная увлажненность территории, наличие глубоких котловин, близость кристаллических пород и холмистый рельеф способствовали образованию и сохранению «озерного края» на Карельском перешейке. В целом, территория северо-запада России, куда включен Карельский перешеек, имеет показатель озерности более 10% (рис. 3).

По происхождению озера Карельского перешейка делятся на 4 основные группы: 1) ложбинного типа, образованные в результате ледникового выпахивания и эрозионной деятельности водно-ледниковых потоков; 2) межморенные, образовавшиеся в понижениях моренного холмистого рельефа; 3) камовые – вследствие таяния глыб погребенного льда, имеющие округлую, либо овальную форму, высокие берега и значительные глубины; 4) отшнуровавшиеся от Финского залива (Березкина и др., 1965). По истории последующего развития озера можно разделить на 3 группы: 1) расположенные на высоких абсолютных отметках, развивались автономно (озера Центральной, Парголовской, Колтушской возвышенностей) 2)

расположенные в глубоких дочетвертичных депрессиях (Лажоское озеро) 3) находившиеся в зависимости от трансгрессивно-регрессивной деятельности крупных водных объектов (озера Северной, Приморской и Приладожской низменностей) (Кузнецов, Субетто, 2019).

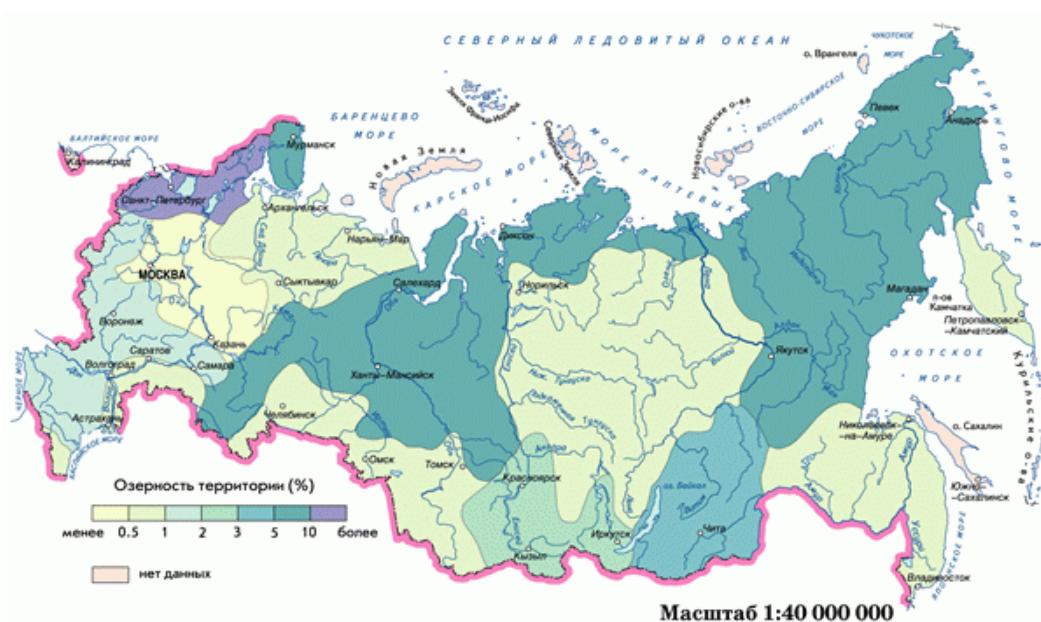


Рис. 3. Озерность России (%) ([Электронный ресурс]: ИГЭ РАН и МНЦ Гидрогеоэкологии).

Гидрографическая сеть перешейка хорошо развита, однако достаточно молода, о чем говорит слабо выработанный продольный профиль с не более двумя надпойменными террасами или их отсутствием. Река Нева является самой многоводной, остальные реки принадлежат к группе средних и мелких водотоков.

Почвенно-растительный покров. Особенности климата и рельефа обусловили активное распространение процессов заболачивания. Преобладают болота верховые, расположенные на водоразделах и питающиеся атмосферными осадками. Средняя заболоченность территории достигает 30%, а на отдельных участках превышает 50%. Максимальная мощность торфа (главным образом сфагнового) достигает 9 м и более (Кириллова, Распопов, 1971). Вследствие широкого распространения болот, особенностью вод Карельского перешейка является высокое содержание

катионов железа, поэтому в почвах и озерных отложениях достаточно развит процесс рудообразования. Почвы на Карельском перешейке в основном среднеподзолистые иллювиально-железистые-гумусовые. Хорошо расчлененный рельеф и положительный коэффициент увлажнения обуславливают преобладание промывного типа водного режима и бедные по питательным элементам почвы с низким уровнем естественного плодородия. Из элементарных процессов почвообразования активны: торфообразование, гумусообразование, орудинение, оглеение, оподзоливание и др.

Ландшафтные зоны. На перешейке выделяют 4 типа ландшафтов: камовые, водно-ледниковые, озерно-ледниковые, равнинно-моренные. Ледниковые ландшафты характеризуются наличием многочисленных отрицательных форм рельефа, обусловленных экзарацией (Исаченко, 1991). К ним относятся узкие борозды сложной конфигурации и котловины неправильной формы, разных размеров, ориентированы в направлении движения ледника. Борозды и котловины приурочены к зонам повышенной трещиноватости доледникового рельефа, то есть их расположение тесно связано с геологической структурой. Обычно они заняты озерами.

1.2 Изменение уровня Балтийского моря в голоцене

Проблема эволюции Балтийского моря начала изучаться с конца XIX в. такими исследователями как К. Берендт (1869), К. Йентч (1879), Х. Штеффен (1931) и др. В это раннее становление палеогеографии осуществлялись экспедиции на побережье Балтийского моря для изучения торфяников и изменения растительного покрова. В то же время была сформирована схема эпохи голоцена по датским торфяникам исследователями А. Блиттем и Р. Сернандером (Буданцева, 2022). В середине XX в. большое внимание уделялось процессам деградации ледникового покрова на территории Балтики и обобщению изученного материала. Это отражается в работах К. К. Маркова «Четвертичный период» (1967), А. А. Величко и И. П. Герасимова «Палеогеография Европы за последние 100 тыс. лет» (1982), Д. Д. Квасова

«Позднечетвертичная история крупных озер и внутренних морей Восточной Европы» (1975) и многих других. В XXI в. наиболее актуальным вопросом является проблема глобального потепления, поэтому одной из задач современных палеогеографических исследований является реконструкция изменений береговых линий и эволюции ландшафтных компонентов (Böse, 2012; Jentsch, 1879; Rinterknecht, 2008; Saarnisto, 2001; Rosentau et al., 2013).

Балтийский регион за эпоху голоцена претерпел существенные изменения. Изостатическое поднятие суши, т.е. поднятие территории после давления ледника, привело к сокращению площади моря и увеличению площади суши. По мере того, как давление вышележащего льда ослабевало, территория начала быстро подниматься. До настоящего времени подъем оценивается в 600 – 700 м на северном побережье Ботнического залива, 400 – 500 м в средней части Финляндии и в центральной Лапландии, и примерно в 300 м на побережье Финского залива и в северной Лапландии (Mörner et al., 1980). Тем не менее, большая часть этого подъема произошла во время таяния льда, до того, как обнажилась поверхность земли. Помимо изостатического поднятия вторым фактором изменения уровня Балтийского моря является открытие и закрытие каналов стока у Датских проливов, которые соединяют Балтийское море с мировым океаном. На данный момент нет единого мнения о количестве стадий развития Балтийского моря, в основном авторами выделяются 5 этапов (рис. 4).



Рис. 4. Объединенная шкала климатических периодов и стадий развития Балтийского моря (Gelumbauskaite, 2005; Сергеев, 2015)

Первая стадия - **Балтийское ледниковое озеро (ок. 14000 – 11700 лет назад)** (рис. 5). На первом этапе развития Балтики поверхность озера

находилась на уровне моря, непрерывно получая большой поток пресной воды с тающего ледника. Скорость изостатического поднятия земной коры у Датских проливов опережала эвстатический подъём воды в мировом океане, что привело к увеличению уровня воды в Балтийском ледниковом озере (БЛО). Это сопровождалось трансгрессиями на южных территориях бассейна и регрессиями на северных. После чего деградация ледника вследствие быстрого потепления в позднем дриасе вызвала открытие канала стока в Среднешведской низменности, возвышенность Биллингген, что привело к снижению уровня воды в бассейне (Björck, 2008).

В Балтийском ледниковом озере практически полностью отсутствовала фауна и флора и его отложения критически бедны органикой. Отложения Балтийского ледникового озера представлены ленточными глинами, которые зачастую перекрыты песчаным прослоем вследствие сильных процессов денудации дна и перерыва в осадконакоплении во время спуска БЛО около 11560 л.н. (Блажчишин, 1998). Выше по разрезам озерных отложений Карельского перешейка прослой песков перекрываются органоминеральными отложениями изолированных озер и болотными торфами (Субетто, 2007).

В комплексе диатомей Порецкий В.С. (1933) выделил для стадии БЛО следующие виды: *Melosira islandica subsp. helvetica*, *Diploneis domblittensis*, *D. ovalis*, *D. elliptica*, *C. pediculus*, *Gyrosigma attenuatum*, *Navicula scutelloides*, *N. pseudoscutiformis* и др. (Диатомовые водоросли СССР, 1974).

Иольдиевое море (ок. 11700 – 10700 лет назад) — слабосоленый водоём, вторая стадия развития Балтийского моря (рис. 6), названная в честь моллюска *Yoldia arctica* (новое название *Portlandia arctica*). Осолонение могло произойти по двум причинам: с одной стороны, — это ослабление интенсивности таяния ледника (или сокращение его площади); с другой — эвстатический подъём уровня океана и проникновение соленых вод мирового океана через проливы в Средней Швеции после спуска БЛО (Björck, 1995; Rosentau et al., 2021).



Рис. 5. Балтийское ледниковое озеро (Andren et al., 2011).

Однако иольдиевая морская фаза Балтики со слабосоленой водой, которая распространилась, преимущественно, в западной части Балтийского моря, была непродолжительной, около 100 – 200 лет в интервале времени 11300-11100 лет назад (Rosentau et al., 2021). Позже, в результате дальнейшего гляциоизостатического подъёма Скандинавского полуострова произошло обмеление канала стока в Средней Швеции и, как следствие, прекратилось поступление солёных вод из океана. Во время стадии Иольдиевого моря в районе Карельского перешейка происходило осушение берегов в следствие регрессии моря (Amantov, Amantova, 2020).

Стадия Иольдиевого моря соотносится с пребореальным климатическим периодом. После спуска БЛЮ отмечается нарастание влаго- и теплообеспеченности, в результате чего происходит активное внедрение березы и других древесных пород в тундровые палеосообщества; значительно увеличивается сомкнутость растительного покрова; средние температуры

июля были меньше современных примерно на 2 °С, января – на 6° С, количество осадков – на 150 мм (Savelieva et al., 2019).

Донные отложения иольдиевой стадии Балтийского моря представлены глинами и песками с низким содержанием органики. Стадия Иольдиевого моря характеризовалась преимущественно пресноводными условиями на значительной акватории Балтики, в том числе и из-за больших объемов талой воды (Tikkanen and Oksanen, 2002). Однако в составе диатомовых водорослей этого периода из отложений в ряде мест Карельского перешейка были выявлены виды, способные переносить повышение солености (напр., Arslanov et al., 1996).

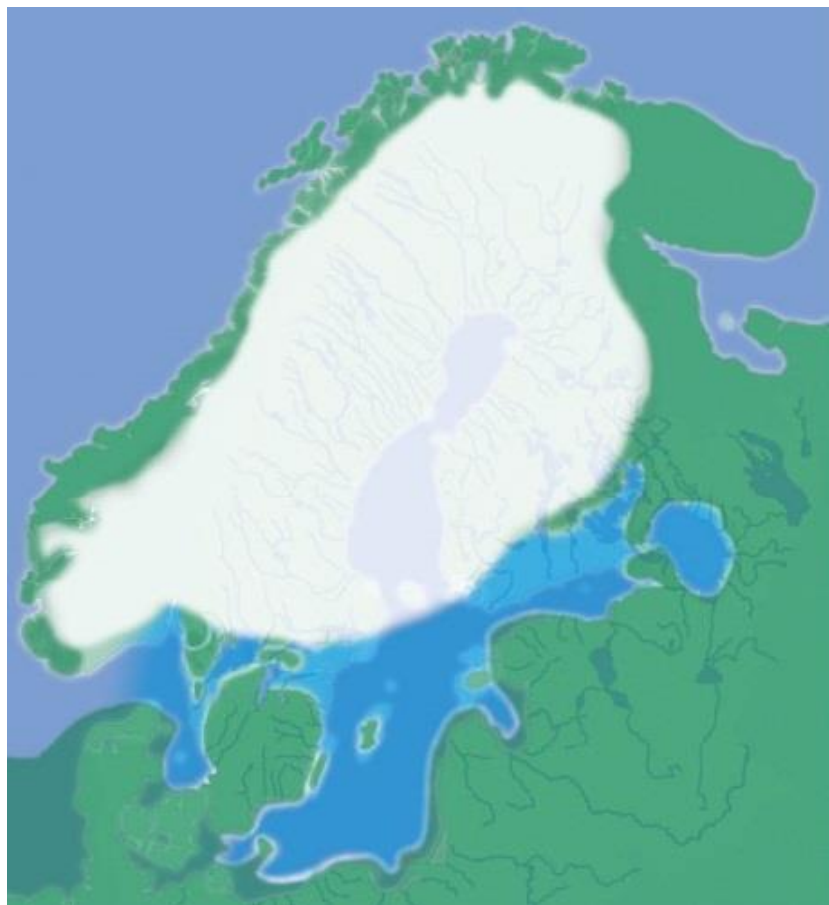


Рис. 6. Иольдиевое море (Andren et al., 2011).

В комплексе диатомовых водорослей из отложений, формировавшихся в условиях Иольдиевого моря, присутствуют как морские, так и солоноватоводные и пресноводные виды (Джиноридзе, Клейменова, 1965; Усикова и др., 1967; Вишневская и др., 1968): *Thalassiosira gravida*,

Grammatophora oceanica, *Campylodiscus echeneis*, *Rhabdonema arcuatum*, *Grammatophora arcuata*, *Thalassiosira gravida*, *T. nordenskioldii* (Диатомовые водоросли СССР, 1974).

Анциловое озеро (ок. 10700 – 9800 лет назад). Эта стадия названа по имени моллюска *Ancylus fluviatis*. Вследствие гляциоизостатического подъема суши произошло закрытие канала стока в Средней Швеции и последующее опреснение Балтики и подъём уровня воды в южной его части (Rosentau et al., 2021). За это время повышение уровня воды привело к повторному затоплению обширных территорий, особенно на южном побережье Балтийского моря, где практически не происходило поднятия суши (Tikkanen and Oksanen, 2002). Уровни Анцилового озера с мировым океаном и Ладожским озером выравниваются, образуя соединение в виде Хейниокского пролива на Карельском перешейке (рис. 7). Амантов А.В. и Амантова М.Г. в своей статье (Amantov, Amantova, 2020) выделяют 2 пика анциловой трансгрессии, фиксируемых на территории Карельского перешейка. Величина подъема воды во время анциловой трансгрессии по разным оценкам составила порядка 15 – 25 м (Eronen, 1990; Vjörck, 1995, 2008). Завершением анциловой трансгрессии можно считать превышение порога стока около 10200 лет назад на месте современного пролива Большой Бельт вследствие поднимающегося уровня воды и около 9800 лет назад уровни Балтийского водного бассейна и Мирового океана сравниваются (Rosentau et al., 2021).

Берега времени трансгрессии Анцилового озера хорошо прослеживаются на Карельском перешейке в виде высоких, почти отвесных уступов по берегу Финского залива (Сакса, 2006; Saarnisto, 2001). Потепление климата способствует распространению сосново-березовых сообществ, а также, с началом Бореального периода - теплолюбивых видов растений:

лещины и вяза. Постепенно растет рН и минерализация воды, уровни водоемов падают, происходит активное образование болот.



Рис. 7. Анциловое озеро (Andren et al., 2011).

В составе диатомовых водрослей характерными видами являлись пресноводные галофильные и солоноватоводные виды: *Rhoicosphenia curvata*, *Gyrosigma attenuatum*, *Navicula menisculus*, *N. tuscula*, *Diploneis smithii*, *N. cuspidata*, *Mastogloia smithi* var. *lacustris* и др. (Диатомовые водоросли СССР, 1974).

Мастоглое море (или инициальная часть литориновой стадии, 9800 – 8500 лет назад) — это переходная стадия между Анциловым озером и Литориновым морем, поэтому большинство авторов не выделяют этот период в отдельный этап развития Балтийского моря (Rosentau et al., 2021). Название мастоглоя происходит от диатомовой водоросли (*Mastogloia*) с аналогичным названием, которая предпочитает слегка солоноватую воду (Eronen, 1974;

1983). Подъем уровня мирового океана привел к тому, что соленая вода начала поступать в Балтийский бассейн.

Увеличивается соленость, связанная с открытием пролива и увеличением объемов соленых вод, поступающих в Балтику. По сравнению с предыдущей стадией Анцилового озера увеличивается количество органического вещества в донных отложениях морского бассейна. На южном побережье Мастоглоевого моря расплодился дуб, а также липа, образующая лиственные леса в ассоциации с вязом, лещиной, и берёзой.

Литориновое море (ок. 8500 – 4500 лет назад). Все больше соленой воды поступало в бассейн по мере того, как пролив становился шире, и примерно к 8 000 кал. л. н. можно считать, что Литориновое море (названное в честь моллюска *Littorina littorea*) достигло южного побережья Финляндии (Eronen, 1974; Björck & Svensson, 1994). Максимальный относительный уровень моря достигается 7500 – 6000 лет назад, а максимальная соленость поверхностных вод достигается 7100 – 5400 лет назад (Rosentau et al., 2021). Единого мнения о количестве литориновых трансгрессий и их временных границах не существует, т.к. подъем уровня моря в различных районах происходил неравномерно и асинхронно. Поэтому установить соответствия между трансгрессивными этапами представляет трудность. Максимальный уровень моря на этапе Литоринового моря по некоторым данным превышал современный в районе Санкт-Петербурга на 5 – 6 м, на Карельском перешейке, в районе Зеленогорска – на 10 м, Выборга – на 18 – 20 м (Сакса, 2006; Saarnisto, 2001) (рис. 8).



Рис. 8. Литориновое море (Andren et al., 2011)

Береговая линия моря переместилась на многие километры, затопляя территории современных Прибалтийских стран. Солёность моря выросла с 9 ‰ в начале Литориновой стадии до 17 ‰ в период максимальной солёности (Berglund, 1964; Vitinas, 2004). В этот период сформировалось большинство современных прибрежных форм ландшафта, таких как лагуны, косы и дюны. На территории Карельского перешейка возросла площадь озёр, а после регрессии моря образовалась река Вуокса около 5500 лет назад (Saarnisto, 1970; Subetto et al., 2018)

Этот период выделяется значительным ростом биопродуктивности Балтийского моря и соответствует климатическому оптимуму голоцена – атлантическому периоду. Температура и влажность увеличиваются, возрастает уровень водоемов, продолжают образовываться болота, распространяются ольхово-широколиственные леса. Среднегодовые температуры и количество осадков в тот период было чуть больше, чем сейчас

(на 1 – 2 °С и на 100 – 200 мм/год). В водном балансе озер ведущим фактором становится поверхностный сток, с которым осуществляется перенос с суши остатков растений и гумуса (Сапелко и др., 2008).

Анализ флоры диатомовых водорослей литоринового этапа Балтики говорит о ее теплолюбивости. Некоторые диатомовые водоросли, которые были характерны для литориновой стадии, не встречаются в условиях современного Балтийского моря (*Terpsinoe americana*, *Nitzschia circumscuta* и др.) (Диатомовые водоросли СССР, 1974). После регрессии литоринового моря среди диатомей в донных осадках озер развивались виды родов *Melosira*, *Cyclotella*, *Stephanodiscus*, *Fragilaria*, *Cocconeis*, *Achnanthes*, *Gomphonema*, *Navicula*, *Nitzschia*, предпочитающие повышенное содержание кальция (Диатомовые водоросли СССР, 1974). В болотах и торфяниках появились ацидофильные группы диатомей из родов *Tabellaria*, *Eunotia*, *Anomoeoneis*, *Frustulia*, *Neidium*, *Pinnularia* и многие виды *Cymbella* (Диатомовые водоросли СССР, 1974).

После литориновой стадии продолжается по наши дни стадия современного Балтийского моря.

1.3 Изученность колебаний уровня Балтийского моря в восточной части Финского залива

Изучение Карельского перешейка палеолимнологическими методами началось в конце XIX в. – начале XX вв. Сперва был проанализирован литологический состав отложений, территория вокруг объектов исследовалась геоморфологическими методами. Далее, к середине XX в., началось активное накопление спорово-пыльцевых и диатомовых материалов. В 1950ые годы появляется возможность датировать органический материал радиоуглеродным методом. Благодаря дальнейшему появлению таких анализов как геохимический, хирономидный, кладоцерный и пр. стало возможно реконструировать практически все ландшафтные компоненты. Так,

наиболее активно изучались Привуоксинская низменность, Центральная возвышенность, а также часть северо-западного Приладожья (озера Вуокса, Лопата, Вишневское, Макаровское, Щукинское, Ставок, Медведевское, Мичуринское и т.д.). Всего на территории перешейка изучено более 35 объектов. Установлением динамики озерного седиментогенеза, изучением степени проточности и эвтрофикации, гидрологического режима озера, изменения характера растительности на его водосборе, определение возраста органических остатков занимались Д.А. Субетто (Субетто и др., 1991), Е.М. Вишневская (Вишневская, Давыдова, 1967), Р.Н. Джиноридзе (Вишневская, Джиноридзе, 1977), Д.В. Севастьянов (Севастьянов и др., 1996), Т.В. Сапелко (Сапелко и др., 2008), А.В. Лудикова (Лудикова, 2007), Д.Д. Кузнецов (Кузнецов и др., 2022) и другие. Работ, связанных непосредственно с определением трансгрессивно-регрессивных циклов существенно (Miettinen et al., 2007; Sandgren et al., 2004; Rosentau et al., 2013; и др.) К настоящему времени их количество увеличивается в связи с актуальностью данной темы.

Береговая линия восточной части Финского залива изучалась уже с конца 19-го века (De Geer 1894, Berghell 1896, Ailio 1915). Ramsay (1920) скоррелировал результаты первых работ и пришел к выводу, что как Анциловое озеро, так и максимумы Литоринового моря достигали высоты в южной части Финского залива примерно в 10 м, а по словам Маркова (1931) литориновые трансгрессии достигали еще больших высот, чем во время анциловой стадии. Kessel и Raukas (1967), Lepland et al. (1996), Miettinen et al. (2004), Sandgren et al. (2004), Нуурпää (1966) и другие продолжили исследовать этот вопрос. В целом авторами выводятся две основные волны литориновой трансгрессии. Литориновый период в данном регионе начался примерно 8450 кал. л. н. Максимум трансгрессии достигал около 7600 – 6500 кал. л. н. (Miettinen et al., 2007; Rosentau et al., 2013; Sandgren et al., 2004). Наивысший уровень Литоринового моря достиг 20 м вблизи г. Выборга и 17 м вблизи п. Попово. В Кондратьево (Запад Выборга) и Хайри (восточнее Выборга) Литориновые осадки обнаружены на уровне 17,9 – 18,6 м и 15,6 – 16,8 м

соответственно. В районе г. Хельсинки уровень моря поднялся до 30 м (Eronen, 1974; Hyvärinen, 2000; Hyvärinen, 2007), в районе Виролахти – 25 м (Miettinen, 2002).

В настоящий момент можно выделить результаты исследований голоценовых трансгрессий в восточной части Финского залива: озера и болота Приморской низменности Карельского перешейка и Нарвско-Лужской низменности (рис. 9).

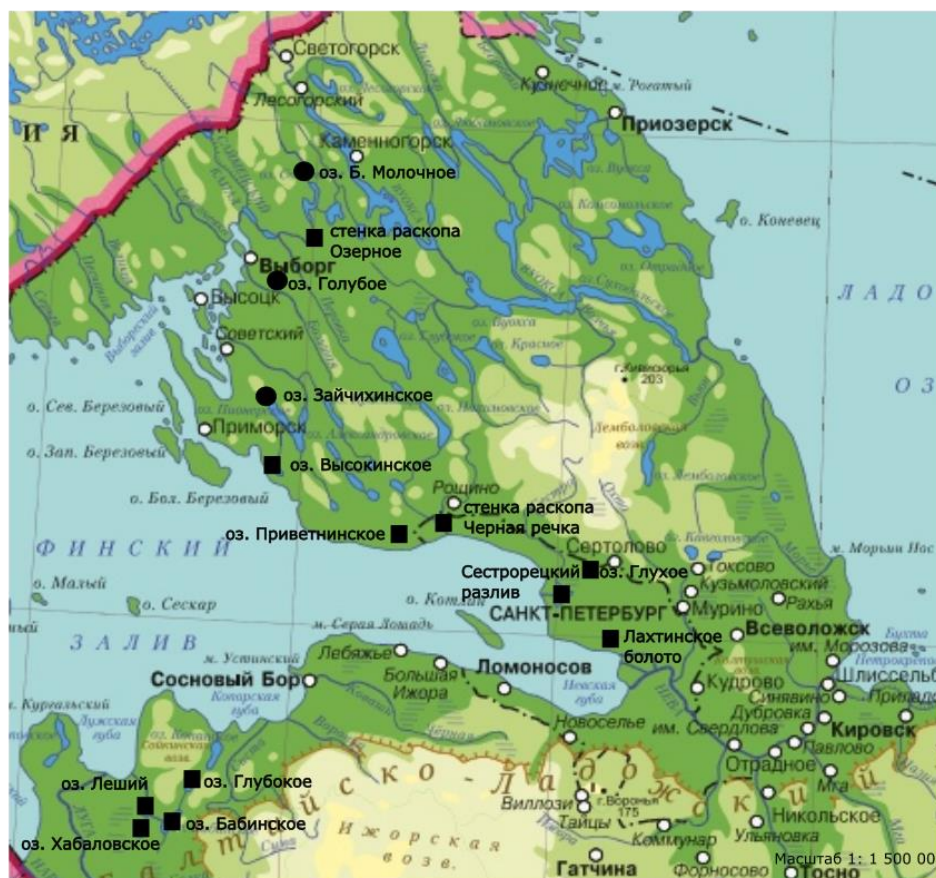


Рис. 9. Изученность динамики уровня Балтийского моря в восточной части Финского залива

Приморская низменность.

Озеро Высокинское. Диатомовый анализ указывает на изоляцию бассейна от Анцилового озера 9500 кал. л. н. По данным диатомового анализа определен короткий солоноватоводный период около 7800 – 7400 кал. л. н., мощность осадков этого периода времени составила 15 см. Скорее всего, отметка водораздела была очень близко к самому высокому уровню

Литоринового моря, так что самая высокая береговая линия моря фиксируется между 12 и 13 м над у.м. в этом регионе. По наличию пыльцы лиственных пород это время соотносится с климатическим оптимумом голоцена. Продолжался литориновый период несколько сотен лет (Miettinen et al., 2007). Виды диатомовых водорослей указывают на относительно низкую соленость в стадию Литоринового моря (Huvärinen et al., 1988; Westman et al., 1999).

Озеро Приветнинское изолировалось от Анцилового озера 9000 – 8550 кал. л.н. Литориновые воды проникли в бассейн озера примерно 8200 кал. л. н., одновременно начали появляться в древостое лиственные деревья. В это время широко распространение получили пелагические планктонные формы диатомовых водорослей, способных переносить повышение уровня солености. Максимум трансгрессии произошел 7400 – 7200 кал. л.н. Присутствие прибрежных таксонов диатомей в начале и в конце солоноватоводной фазы и появление планктонных таксонов в середине фазы указывают на постепенное повышение уровня моря до максимального значения, после которой уровень воды снова начал снижаться. Окончательная изоляция бассейна оз. Приветнинского произошла примерно 5200 кал. л. н. (Miettinen et al., 2007).

Глухое озеро. Диатомовый анализ и литостратиграфия донных отложений указывают на то, что водоем существовал как часть Анцилового озера около 10200 кал. л.н., после чего стал изолированным до сегодняшнего дня. Во время литориновой стадии уровень моря, вероятно, был очень близким к отметке 9 м над у.м., но не превышал ее. Этот вывод сделан на основе результатов диатомового анализа, который не выявил солоноватоводных видов. Соответственно береговая линия Литоринового моря в этом регионе расположена ниже 9 м (Miettinen et al., 2007).

Памятник Озерное находится в районе бывшего Хейниокского пролива на песчаной террасе правого берега протоки из оз. Кунье в оз. Смирновское. Палинологический, диатомовый, геохимический и гранулометрический анализы образцов из стенки раскопа памятника установили, что нижняя часть отложений сформировалась после максимального подъема Анцилового озера,

т.е. после 10500 – 10300 кал. л. н. Отсутствие солоноватоводной флоры диатомовых водорослей говорит лишь о косвенном влиянии литориновой трансгрессии, выразившимся в подпруживании стока из озер Кунье и Смирновское (Сапелко и др., 2008).

Лахтинское болото. Диатомовый анализ отложений показал две стадии литориновой трансгрессии, вторая из которых была более продолжительная и имела более высокую соленость. В атлантических отложениях Лахтинского болота установлен погребенный торфяной горизонт, радиоуглеродное датирование которого показало возраст 7490 ± 90 л. н. (8546 – 8017 кал. л. н.), который был соотнесен со второй трансгрессией Литоринового моря. В ландшафтах в этот период господствовали ольхово-березовые леса, в которых наивысшего расцвета достигли: вяз липа, клен, дуб, граб (Клейменова и др., 2013).

Нарвско-Лужская низменность.

Сандгрэн П. с соавторами (Sandgren et al., 2004) исследуя озера Бабинское, Леший, Хабаловское, Глубокое пришли к выводу, что анциловая трансгрессия началась 10900 кал. л. н. с затоплением котловины озера Бабинское (7 м над у.м.). Максимальный уровень Анцилового озера зафиксирован между 10900 и 9500 кал. л. н. на высоте 17 м над у.м. в северной части и 8 м над у.м. в южной части района исследования. Во время трансгрессии уровень Анцилового озера поднялся на 9 м со средней скоростью около 13 мм в год (Rosentau et al., 2013; Sandgren et al., 2004).

Литориновые воды проникали на территорию Нарвско-Лужской низменности относительно медленно между 8500 и 7800 кал. л.н. и сравнительно быстро между 7800 и 7600 кал. л.н. При этом уровень моря поднялся в северной части Нарво-Лужской низменности до 14 м, в южной части изучаемой территории – до 6 м (рис. 10, 11) (Rosentau et al., 2013; Sandgren et al., 2004).

По результатам диатомового анализа и радиоуглеродного датирования оз. Глубокое кульминация литориновой трансгрессии произошла между 7700 и 6900 кал. л. н. Максимальный уровень литориновой трансгрессии определен на уровне 8 м, подъем уровня моря происходил со средней скоростью около 7 мм в год. После 7300 кал. л. н. относительный подъем уровня моря сменился его падением. В оз. Леший возникновение перерыва в осадконакоплении и песчаных прослоев в Литориновую стадию, а также увеличение процента бентических диатомовых водорослей выявили падение уровня моря и последующую вторую волну трансгрессии в северной части исследуемого района. Это же определено изменениями магнитных параметров в оз. Бабинском (Rosentau et al., 2013; Sandgren et al., 2004).

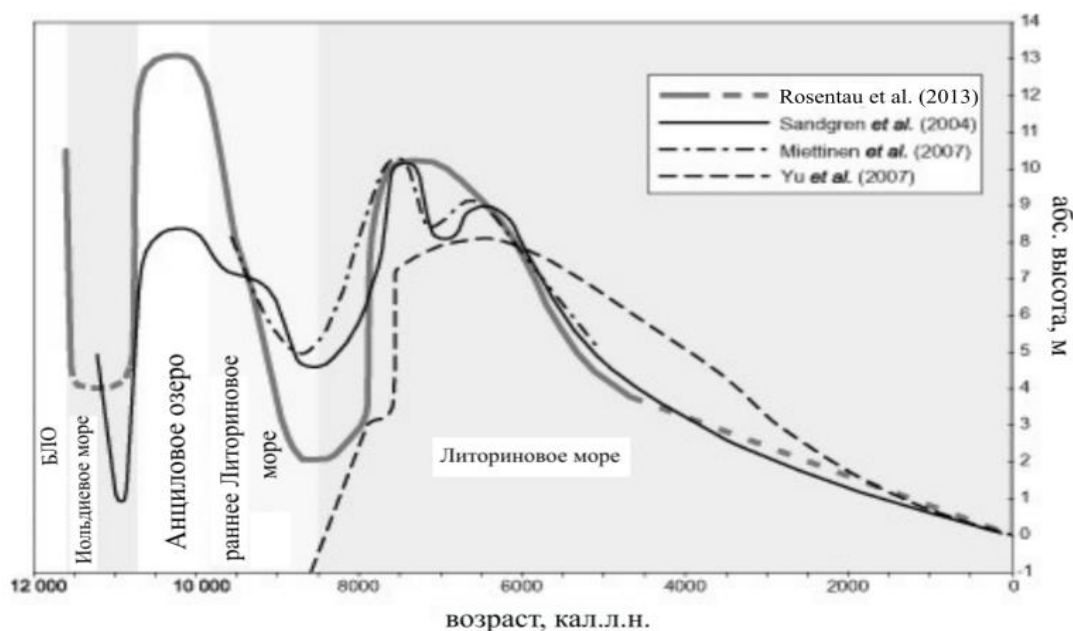


Рис. 10. Сравнение кривых динамики уровня Балтийского моря (Rosentau et al., 2013).

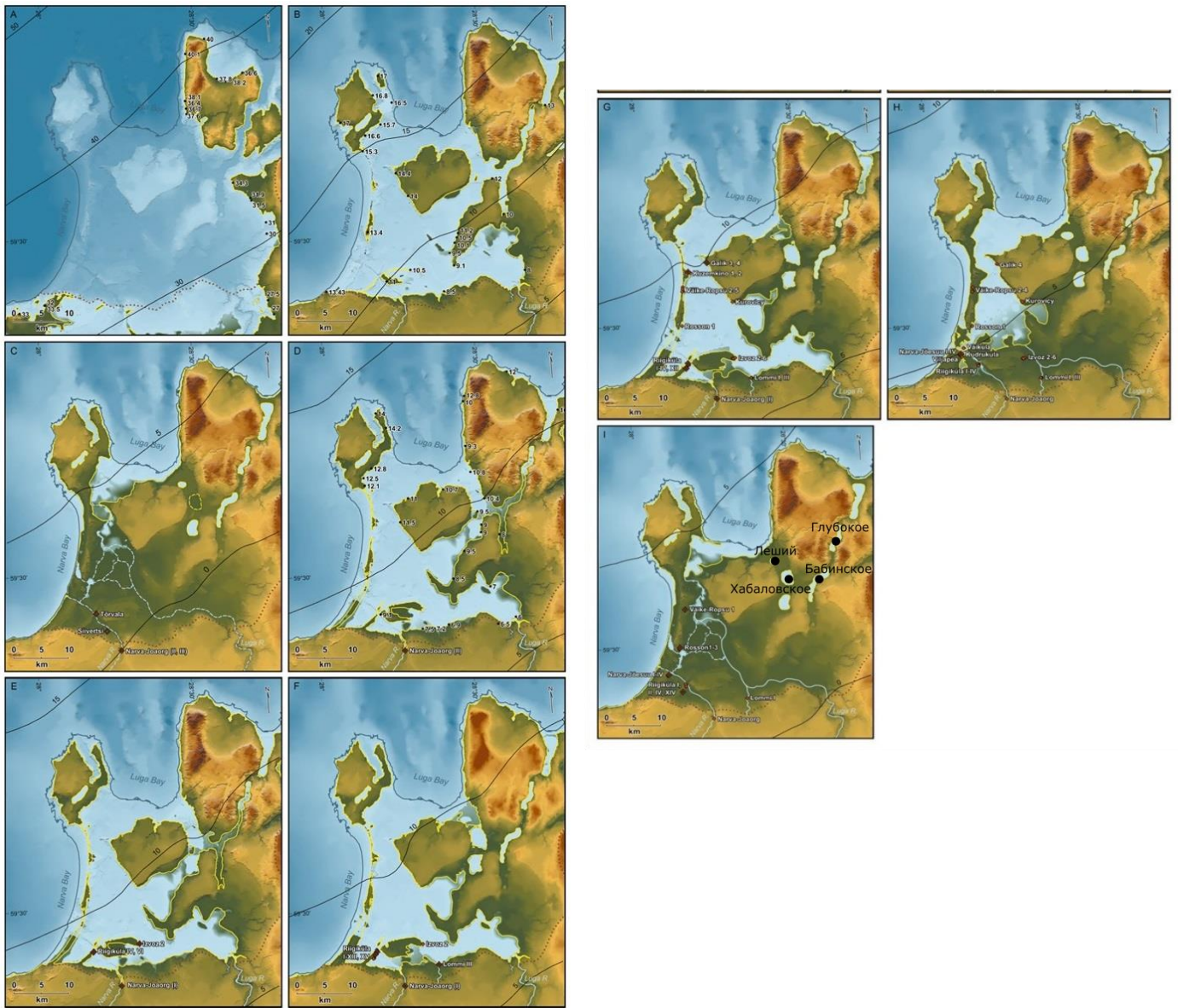


Рис. 11. Палеогеографическая реконструкция береговой линии Нарвско-Лужского междуречья на разных этапах его существования. А – Балтийское ледниковое озеро 11700 кал. л. н. В – Анциловое озеро во время его максимума 10400 кал. л. н. С – Литориновое море в начале трансгрессии 8000 кал. л. н. D – Литориновое море в период его максимума 7300 кал. л. н. Е – Регрессия Литоринового моря 7000 кал. л. н. F. Регрессия Литоринового моря 6500 кал. л. н. G – Литориновое море 6000 кал. л. н. H – Литориновое море 5500 кал. л. н. I – Литориновое море 4500 кал. л. н. (Rosentau et al., 2013; Sandgren et al., 2004).

Таким образом, особенность геологического строения, эрозионно-аккумулятивные процессы в эпоху голоцена и избыточное увлажнение территории являются основными факторами формирования почвенно-растительного покрова и озерно-ледниковых и холмисто-моренных ландшафтов Карельского перешейка. Котловины озер Голубое, Б. Молочное и Зайчихинское приурочены к тектоническим понижениям доледникового рельефа, обработанным ледником. Озера Голубое и Зайчихинское находятся в западной приподнятой части Карельского перешейка с менее развитой озерно-речной системой в отличие от оз. Большое Молочное, расположенного в северной низменной части, с хорошо развитой озерно-речной системой, по которой осуществлялся сток Ладожских и Балтийских вод в эпоху голоцена.

Ведущими факторами колебания уровня Балтийского моря являлись изостатическое поднятие и эвстатические изменения уровня Мирового океана, на основании которых выделены трансгрессивно-регрессивные стадии. На стадии Литоринового моря трансгрессии происходили неравномерно и асинхронно, поэтому установлены различные уровни и количество литориновых трансгрессий. Выбранные объекты исследования представляют наименее изученную часть Финского залива, для которой по различным данным установлен максимальный уровень литориновой трансгрессии на отметке 18 м над у.м.

ГЛАВА 2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Изученные озера находятся на разных гипсометрических отметках: оз. Голубое – 11 м над у.м., оз. Б. Молочное – 9 м над у.м. и оз. Зайчихинское – 13 м над у.м.. Применение в исследовании метода изоляционных бассейнов дает возможность более точно реконструировать динамику трансгрессивно-регрессивных циклов Балтийского моря, поскольку изменения в строении донных отложений разновысотных озер вместе с результатами диатомового анализа и привязкой к геохронологической шкале позволяют фиксировать их изоляцию от морского бассейна (Кузнецов и др., 2022; Ludikova et al., 2023).

2.1. Полевые методы

В октябре 2017 г. состоялись полевые работы по отбору кернов донных отложений на оз. Голубое (рис. 15), в 2020 г. на оз. Б. Молочное (рис. 14) и Зайчихинское (рис. 12). В 2023 г. проводились полевые исследования на оз. Голубое (рис. 13) и на оз. Зайчихинское с применением метода георадарного сканирования.

Полевая работа на объектах исследования состояла из нескольких этапов:

- изучения территории вокруг озера, включая описание характера береговой линии и степени заболоченности, определения высоты и крутизны берегов, местоположения речного стока и ряд других параметров;
- батиметрическая и геоакустическая съемка, выбор места пробоотбора;
- отбор кернов донных осадков с помощью тофяного бура (диаметр желонки 5 и 7 см, длина 1 м);
- их предварительное литостратиграфическое описание, фотографирование и упаковка.

Батиметрическая съемка эхолотом необходима для выявления глубины озера, а геоакустическое зондирование позволило определить максимальную мощность отложений и провести выбор места пробоотбора. Геоакустическая съемка выполнялась георадарным комплексом, состоящим из георадара ОКО-

3 (НПЦ ГЕОТЕХ) с антенным блоком АБДЛ-Тритон. Эхолотирование производилось при помощи картплоттера Lowrance. В результате полученные данные были экспортированы в формате .sl2, и представляли собой составленный из точек «маршрут» движения лодки, с которой производилось съёмка. Каждая из точек, содержит в себе пару координат в проекции WGS-84 (EPSG:4326), а также значения глубины. Данные импортированные в Reef Master, впоследствии экспортированы в формате .csv, для дальнейшей обработки их в Excel. Для создания 2D и 3D моделей использовалась программа Surfer (Силкин, 2008).



Рис. 12. Подготовка к бурению донных отложений оз. Зайчихинское (2020 г.) (фото автора).

Съемка высот с использованием системы дифференциальной коррекции ГНСС. Глобальная навигационная спутниковая система или GNSS, является системой для позиционирования и навигации с помощью приема сигналов от навигационных спутников. Работа GNSS основана на том, что скорость прохождения сигналов от нескольких спутников к приемнику во времени разная ([Электронный ресурс]: геодезическое оборудование).



Рис. 13. Георадарная съемка оз. Голубое (2023 г.) (фото автора).

ГНСС-приемник PrinCe i50, с помощью которого была измерена высота озера Голубое, принимает и обрабатывает сигналы спутниковых систем глобальной навигации. СДК (система дифференциальной коррекции) с помощью PrinCe i50 основана на работе двух приёмников – стационарного (базового) и переносного. Устройство управления подключается к стационарному приемнику, затем к переносному приемнику, с которым удаляется от стационарного. Базовый приемник рассчитывает поправки от спутников для определения точной высоты. Поправки от базы успешно переданы на ровер (переносной приемник), связь между приемниками (антеннами) установлена и сохраняется, это позволяет точно определить плановые координаты и значения высоты точки. Таким образом, ровер определяет точно уже свою высоту. В случае с измерением высоты оз. Голубое связь не сохранялась на большом удалении (лес, рельеф), поэтому было необходимо сделать несколько съемок и объединить точки между собой. ([Электронный ресурс] геодезическое оборудование).

Для вычисления абсолютной высоты озера необходимы данные тригопункта (топознака), уреза воды озера и промежуточных точек (точек сбивки), по которым соединяются проекты между собой. Необходимо посчитать перепад высот между топознаком и точками сбивки каждого проекта. Получится перепад высот между топознаком и урезом воды. Его

нужно отнять от абсолютной высоты топонима на карте, чтобы получилась абсолютная отметка уреза воды. Для озера Голубое: отметка тригопункта 34,5 м, по расчетам разница между точками сбивки равна 23,59 м. Итого: $34,5 \text{ м} - 23,59 \text{ м} = 10,91 \text{ м}$, что является высотой уреза воды оз. Голубое.

Отбор донных отложений на озере Голубое осуществлялся со сплавины, а на озерах Б. Молочное и Зайчихинское – с плота. Отбор кернов донных отложений осуществлялся с помощью торфяного бура (диаметр 5 и 7 см, длина 1 м) (рис. 14, 15) (ГОСТ 17.1.5.01-80). После открытия керна производилось первичное литологическое описание в соответствии со стандартными методиками (Субетто и др., 2002). После литологического описания керны фотографировались и упаковывались в прозрачную пленку и пластиковые трубы для транспортировки в лабораторию Рационального природопользования РГПУ им. А. И. Герцена, где они хранились при температуре +4 С.



Рис. 14. Бурение донных отложений озера Б. Молочное (2020) (фото автора).



Рис. 15. Бурение донных отложений озера Голубое (2017) (фото автора).

2.2. Методы обработки фактического материала

Литостратиграфический анализ. Основная цель анализа в камеральных условиях – это описать донные осадки по их цвету, механическому составу, структуре и включениям. Поскольку во время полевых работ степень освещения, подвижность платформы и другие внешние факторы не дают точности в литологическом анализе. Основой литостратиграфического анализа является выявление литостратиграфических единиц, т. е. диапазонов толщи осадка, общих по набору литологических признаков (вещественный состав, текстурные особенности, цвет и др.). Такие литостратиграфические единицы позволяют проследить характер изменений условий седиментации и зафиксировать перерывы в осадконакоплении, которые, как правило, связаны со сменой гидродинамического режима, глубиной, колебаниями уровня воды (Субетто, 2009). Литостратиграфический анализ позволил скоррелировать керны между собой по глубине и литологическим границам.

Потери при прокаливании. Определение содержания органического вещества в образцах донных отложений проводилось в научно-

исследовательской лаборатории рационального природопользования факультета географии РГПУ им. А. И. Герцена по стандартной методике методом потерей при прокаливании (550 °С в течении 4 часов) (ГОСТ 17.4.4.02-84). Всего было исследовано 348 образцов. Содержание органики в отложениях отражает биопродуктивность водоема (Субетто, 2009), которая косвенно указывает на характер природно-климатических условий. Поэтому на основе этого анализа можно предположить, насколько благоприятными были условия в тот или иной период времени, соотнесенного со временем накопления отложений.

Диатомовый анализ. Одним из наиболее информативных анализов в палеогеографии и в палеолимнологии, который позволяет реконструировать большинство параметров озерной экосистемы в прошлом является диатомовый анализ донных отложений (Давыдова, 1985; Meister et al., 2024).

Диатомовые водоросли – это важный компонент альгофлоры пресноводных водоемов и значительная часть общей биомассы водорослей в озерах (рис. 16). Диатомеи являются индикаторами изменений окружающей среды, быстро реагируют на воздействия природного и антропогенного характера, что выражается в различном составе диатомовых сообществ и соотношений массовых видов. Диатомовые комплексы, аккумулирующиеся в донных отложениях, представляют интегрированную информацию об экологических условиях в водоеме (Давыдова, 1985; Давыдова и др., 2005).

По экологическим предпочтениям существуют классификации по местообитанию, кислотности, сапробности, устойчивости к другим экосистемам. Оптимальный температурный диапазон существования диатомей – примерно от +10° до +20° С, однако организмы могут обитать и при 0° С и при +50° С. Главным фактором, влияющим на видовой состав диатомей, является соленость воды. Поэтому выделяются морские, солоноватоводные и пресноводные диатомовые водоросли.



Рис. 16. Диатомовые водоросли планктона (фото автора).

В палеогеографических исследованиях присутствие в составе диатомовых комплексов видов-индикаторов трансгрессии морских бассейнов позволяет уточнить происхождение соответствующих отложений, охарактеризовать условия их формирования, выявить сигналы начала/завершения трансгрессии (Лудикова, 2015). Полученные результаты имеют большое значение для реконструкции пределов распространения и максимального уровня трансгрессии, который в разных районах различен вследствие неравномерного изостатического поднятия земной коры. Перспективным представляется изучение диатомовых водорослей в отложениях озер, расположенных на разных высотных отметках в пределах территории с одинаковыми значениями гляциоизостатического поднятия (Лудикова, 2015).

Пробоподготовка к диатомовому анализу проводилась автором в Институте Альфреда Вегенера (АВИ), г. Потсдам, Германия, в Институте озероведения РАН и в лаборатории Рационального природопользования

факультета географии РГПУ им. А. И. Герцена (рис. 18), г. Санкт-Петербург, по стандартной методике (Давыдова, 1985).

Этапы пробоподготовки (АВИ, Потсдам):

– В стакан объемом 1 л с содержанием 0,1 г осадка было залито 100-150 мл 30% - перекиси водорода. Далее образцы ставились на плиту на 60⁰ С.

– Спустя час температуру увеличивали до 95⁰ С, добавив еще перекиси водорода 200 мл объемом, оставив пробы на 4 часа на плитке.

– После чего в стаканы была введена соляная кислота (не более 10% конц.) для прекращения реакции и удаления карбонатов.

– Далее верхняя часть жидкости была вылита до 150 мл в остатке, пробы наполнены дистиллированной водой до краев и оставлены на ночь. На следующий день вода откачивалась до уровня осадка.

– На специальные емкости были помещены покровные стекла и добавлен в них осадок, 2 раза по 10 мл. Спустя час подложены бумажные полотенца по краям, чтобы впиталась оставшаяся вода.

– На следующий день были аккуратно склеены покровные стекла с предметными. Плитка поставлена на 120 °С на 15 мин, далее пробы остывали и через некоторое время протестированы под микроскопом на предмет видимости диатомей (рис. 17).

Далее стекла с диатомовыми осадками просматривались в Институте озероведения и в РГПУ им. А. И. Герцена с использованием микроскопов МБИ-15 и МИКМЕД-6. В каждой пробе было подсчитано не менее 500 створок, где это было невозможно – до 10 трансектов. Установление родов и видов производилось с помощью определителей (Krammer, Lange-Bertalot, 1986–1991; Krammer, 2000). Рассчитывалось процентное содержание видов в составе диатомовых комплексов. Для выявления роли отдельного вида в разрезе применялось деление диатомовых створок на доминанты (более 10% от общего количества) и субдоминанты (5 – 10%).



Рис. 17. Тестирование подготовленных проб по донным отложениям оз. Голубое (фото автора).

Был рассчитан ИФР (индекс флористического разнообразия) как отношение числа таксонов, идентифицированных в образце, к числу створок диатомовых, подсчитанных в этом образце (Bennion, 1995). Для реконструкции палеоэкологических условий водоема были выделены виды по экологическим предпочтениям на основании книг «Диатомовые водоросли – индикаторы природных условий водоемов в голоцене» (Давыдова, 1985) и «Диатомовые водоросли СССР (ископаемые и современные)» (Прошкина-Лавренко, 1986).

Для достижения цели в работе применялось деление диатомовых по их отношению к солености:

- галофилы (способны переносить повышение уровня солености)
- галофобы (нетерпимы к содержанию соли в воде)
- индифференты (могут существовать как в пресных, так и в слабосоленых водах)



Рис. 18. Склеивание покровного и предметного стекла на плитке (фото автора).

Отбор проб донных отложений (ДО) для диатомового анализа производился с интервалом 2 см по разрезам из оз. Зайчихинское и оз. Б. Молочное. Анализ диатомовых водорослей из образцов ДО оз. Голубое проводился в интервале 10,20 – 4,00 м с шагом от 6 до 20 см, в зависимости от литологии. Всего было обработано и просмотрено 135 образцов. Диатомовые диаграммы построены с использованием программного обеспечения для визуализации палеоэкологических данных C2 версия 1.7 (Juggins, 2007) (Шаталова и др., 2022).

Геохимический анализ. Химический состав озерных отложений, как правило, гораздо более изменчив, чем состав морских отложений. Влияние площади источника водосбора велико и в большинстве случаев означает, что любые изменения на суше передаются и озерным отложениям (Croudace et al., 2015). Следовательно, требуется многосторонний подход, чтобы выявить различные факторы, влияющие на состав отложений и интерпретацию окружающей среды. Геохимический анализ исторически был важным

компонентом многопрофильных палеолимнологических реконструкции (Croudace et al., 2015).

Геохимический анализ ДО оз. Голубое проводился по стандартной методике определения измерений массовой доли металлов и оксидов металлов в порошковых пробах почв рентгенофлуоресцентным методом (методика ФР.1.31.2011.09286).

Геохимический анализ ДО оз. Б. Молочное и Зайчихинское выполнялся при помощи спектрофотометра Minolta CM-2002 JOIDES Resolution. Результаты представлены в единицах cps (отсчеты в секунду). Такой подход считается более надежным для расчета геохимических отношений (индикаторов). Измерения проводились с гелиевой ячейкой, размер щели прибора (пятна) составлял 10 нм по направлению вдоль секции и 15 нм – поперек (Croudace et al., 2015). Как это обозначение электронных оболочек из которых опускаются электроны на место собратьев, выбитых фотонами из спектрометра (Croudace et al., 2015).

Радиоуглеродное датирование. Радиоуглеродное датирование образцов донных отложений проводилось методом ускорительной масс-спектрометрии (AMS) в лаборатории Laboratorium Datowań Bezwzględnych, Kraków (Польша) для образцов ДО из озер Б. Молочное и Зайчихинское и в «Лаборатория радиоуглеродного датирования и электронной микроскопии» Института географии РАН и Центра изотопных исследований Университета Джорджии (США) для озера Голубое. Для калибровки радиоуглеродных дат использовалась программа OxCal version 4.4 (Ramsay, 2005).

Создание палеогеографических картосхем. На первом этапе моделирования данные, необходимые для последующего анализа, были классифицированы по временным промежуткам с шагом +/- 300 лет. В результате был получен набор точек в пространстве, имеющих географическую привязку (система WGS 84), характеризующихся положением моря относительно данной точки: море, лагуна, изоляция, прибрежное поселение.

На втором этапе была разработана модель современного рельефа исследуемого участка. Основой рельефа послужили съемки NASA в разрешении 1 пиксель/90 м – SRTM (Shuttle Radar Topography Mission). Батиметрические карты Ладожского озера и малых озер Карельского перешейка, были созданы на основе имеющихся эхолотационных и картографических данных и встроены в имеющуюся модель. Данные глубин Балтийского моря получены при помощи GEBCO (Global Bathymetric Chart of the Oceans). Современные границы государств и прибрежных линий созданы на основе сервиса Яндекс Карты.

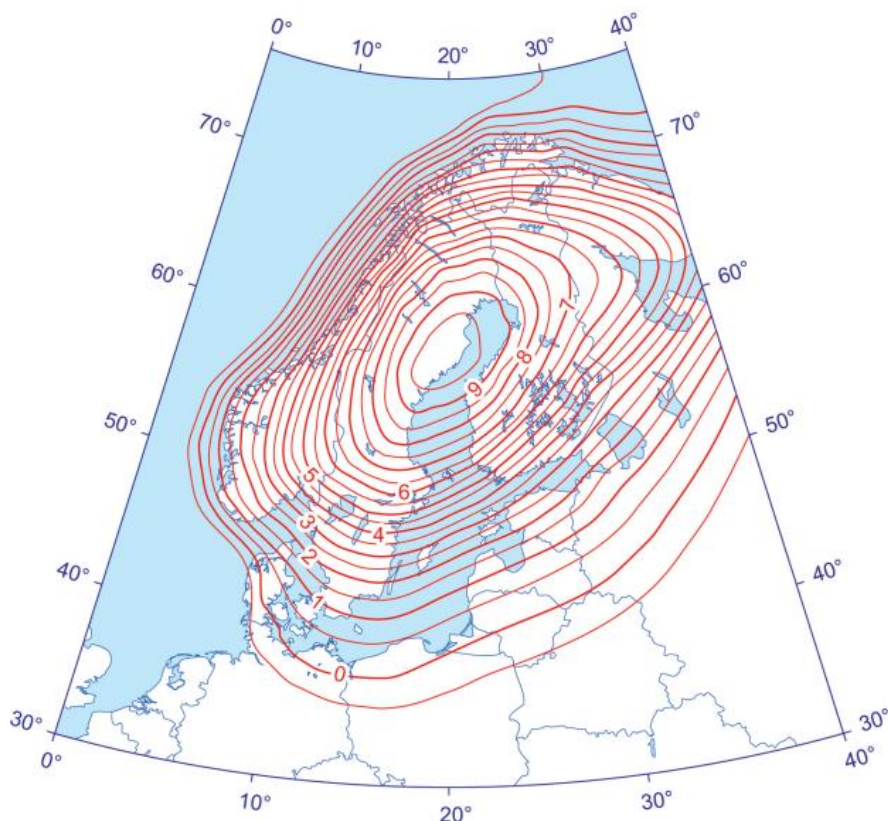


Рис. 19. Гляциоизостатическое поднятие скандинавского кристаллического щита (Vuorela, 2009; Poutanen, 2010).

На третьем этапе был смоделирован рельеф на исследуемые периоды времени с учетом гляциоизостатического поднятия (рис. 19). На основе этих данных была сформирована модель годового изменения рельефа (мм в год).

Изначальная картосхема была привязана посредством ПО ArcGIS Pro 3.1 и в последствие изолинии были преобразованы в векторный слой (тип геометрии – линия), которым были присвоены соответствующие значения изменения рельефа. В последствие линии были разбиты на точки с шагом в 1 км, которым были присвоены координаты (WGS 84). Затем была создана модель гляциоизостатического поднятия (рис. 20).

Далее для получения разницы между современным рельефом и рельефом на необходимый период времени растр гляциоизостатического поднятия умножался на искомое количество лет и переводился в метры. Полученный растр вычитался из растра современного рельефа (ArcGIS Pro, raster calculator).

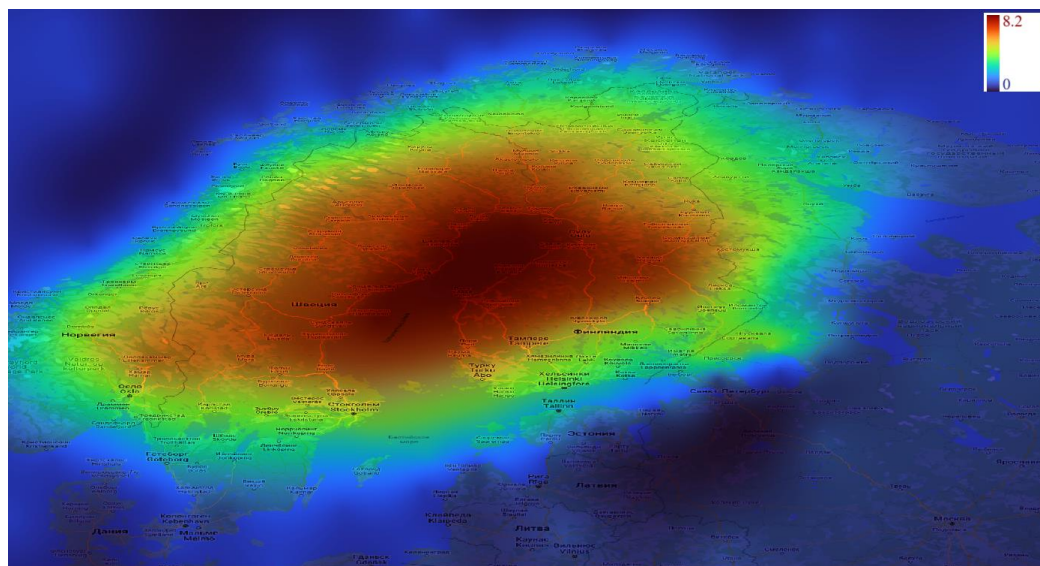


Рис. 20. Модель гляциоизостатического поднятия (Автор: Демидионов М.Ю.).

На полученный рельеф был добавлен слой точек, классифицированных согласно положению уровня моря на определенный момент времени. На основании данных точек моделировалась береговая линия (ArcGIS Pro – Python model builder; QGIS – Terra Antiqua paleo-reconstruction).

Выводы:

На этапе сбора фактического материала была осуществлена батиметрическая съемка, съемка высот с использованием системы

дифференциальной коррекции ГНСС и произведен отбор проб донных отложений озер. Было отобрано и изучено 23 м донных отложений озер Голубое, Б. Молочное и Зайчихинское.

Анализы литостратиграфический, потерь при прокаливании, диатомовый, геохимический, АМС-датирование выполнялись по стандартным методикам с использованием современного оборудования. Получено 12 радиоуглеродных датировок. По 135 образцам диатомовых водорослей были составлены и описаны 6 диатомовых диаграмм. Диатомовый анализ производился с высокой степенью детализации, следовательно, полученные результаты можно считать достоверными и точными. По качественным и количественным характеристикам диатомовых комплексов можно отследить изменения экологического состояния водоема, в том числе изменения уровня солености. Следовательно, состав диатомовых комплексов позволит реконструировать основные этапы развития озерных экосистем.

На этапе анализа полученных материалов была разработана модель современного рельефа исследуемого участка, которая в дальнейшем была использована для реконструкции динамики уровня Балтийского моря на разных этапах его развития в голоцене.

ГЛАВА 3. СТРОЕНИЕ И СОСТАВ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ОЗЕР

3.1. Озеро Голубое

Результаты батиметрической съемки. Максимальная глубина озера составляет 2,2 м в его центральной части, средняя глубина озера 1 м (рис. 21). Котловина озера Голубое имеет асимметричные склоны. Западный и южный склоны более крутые и короткие, северный и восточный – более удлиненные и пологие.

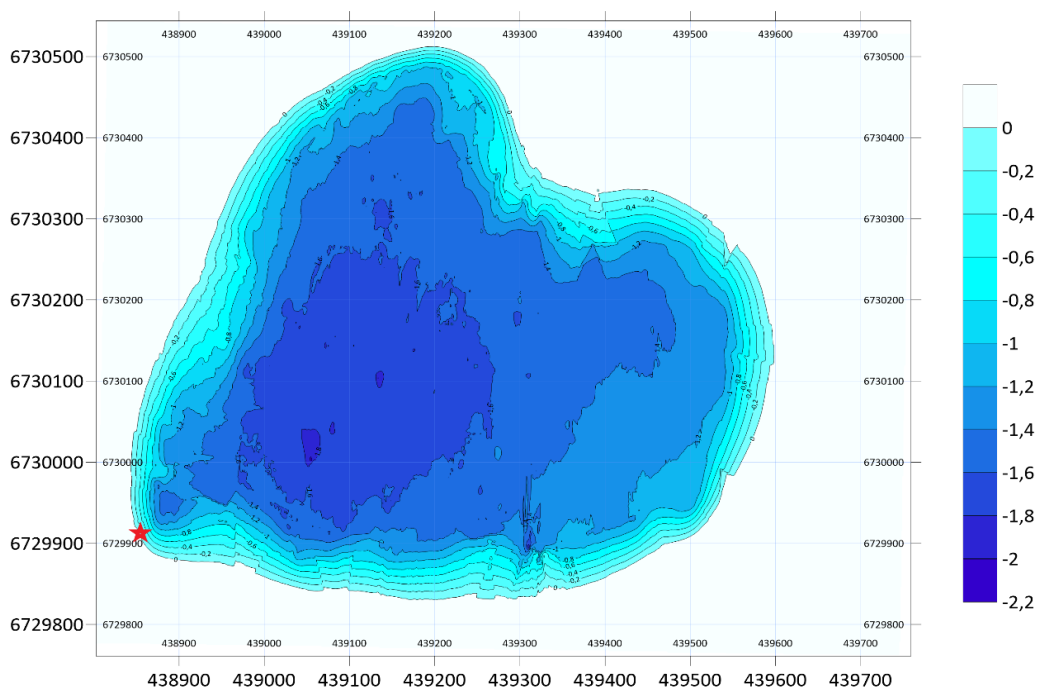


Рис. 21. Батиметрическая карта оз. Голубое ($60^{\circ}67'75''$ с.ш., $28^{\circ}88'58''$ в.д.; 11 м над уровнем моря). Точка пробоотбора отмечена звездой.

Результаты литологического анализа. Результат литологического анализа по кернам донных отложений озера Голубое (рис. 23) показан на рисунке 22. Мощность вскрытых при бурении отложений составляет 8 м. Нижние 9 см представляют собой серую опесчаненную глину, которая сменяется серой гиттиевой глиной зеленоватых и голубоватых оттенков (таблица 1). На уровне 8,12 м происходит смена с преимущественно

минеральных отложений на органические: гиттиевая глина сменяется глинистой гиттией, мощностью более трех метров. С 4,23 м начинается толща гиттии темно-коричневого цвета, с включением органических остатков и прослоем среднеразложившегося торфа. Верхняя часть отложений представлена плотным, хорошо разложившимся торфом.

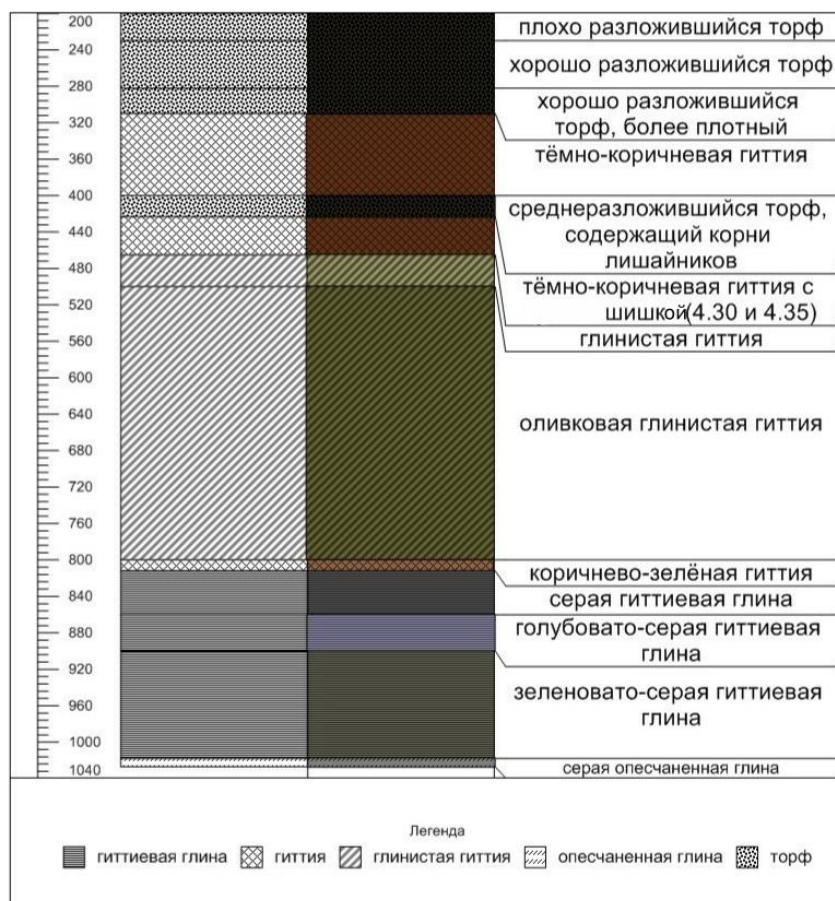


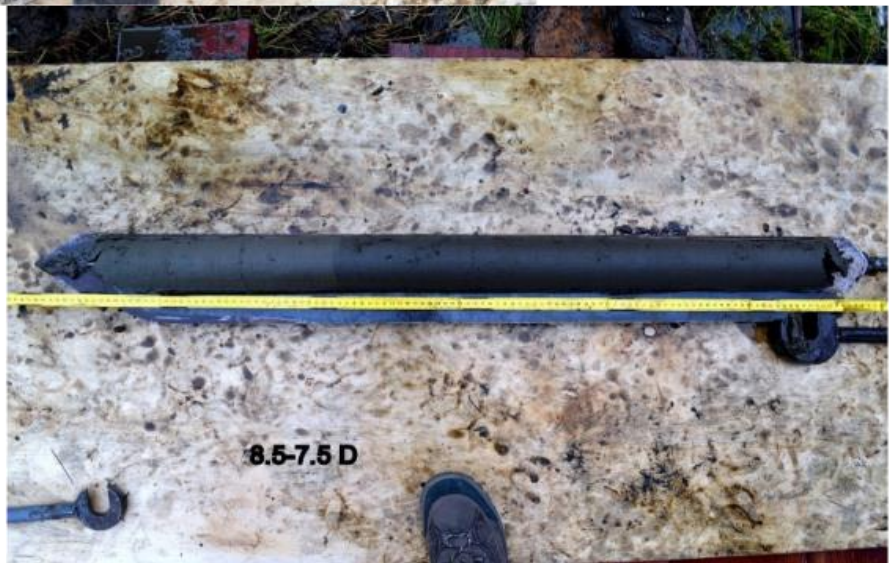
Рис. 22. Литологическое описание керна ДО оз. Голубое.

Стратиграфия донных отложений озера Голубое.

Глубина от поверхности воды		Литологическое описание
От (см)	До (см)	
200	230	слабо разложившийся торф
230	282	сильно разложившийся торф
282	310	сильно разложившийся торф, более плотный
310	400	тёмно-коричневая гиттия
400	423	среднеразложившийся торф, содержащий корни лишайников
423	465	тёмно-коричневая гиттия
465	500	глинистая гиттия
500	800	оливковая глинистая гиттия
800	812	коричнево-зелёная гиттия
812	860	серая гиттиевая глина
860	900	голубовато-серая гиттиевая глина
900	1018	зеленовато-серая гиттиевая глина
1018	1027	серая опесчаненная глина



A



Б



B

Рис. 23. Керны донных отложений оз. Голубое: А) 10 – 9 м; Б) 8,5 – 7,5 м; В) 5 – 4 м.

Результаты геохимического анализа. По результатам геохимического анализа ДО оз. Голубое был выделен пик солености на глубине 8 м, по отношению Br/Ti , где Ti является терригенным элементом. Br в свою очередь накапливается в основном в морских седиментационных условиях (Ксензенко, Стасиневич, 1995). Соответственно, чем больше отношение Br/Ti , тем меньше терригенной составляющей в донных осадках и больше морской (Croudace et al., 2015). На основе геохимического и литологического анализов была составлена схема (рис. 24).

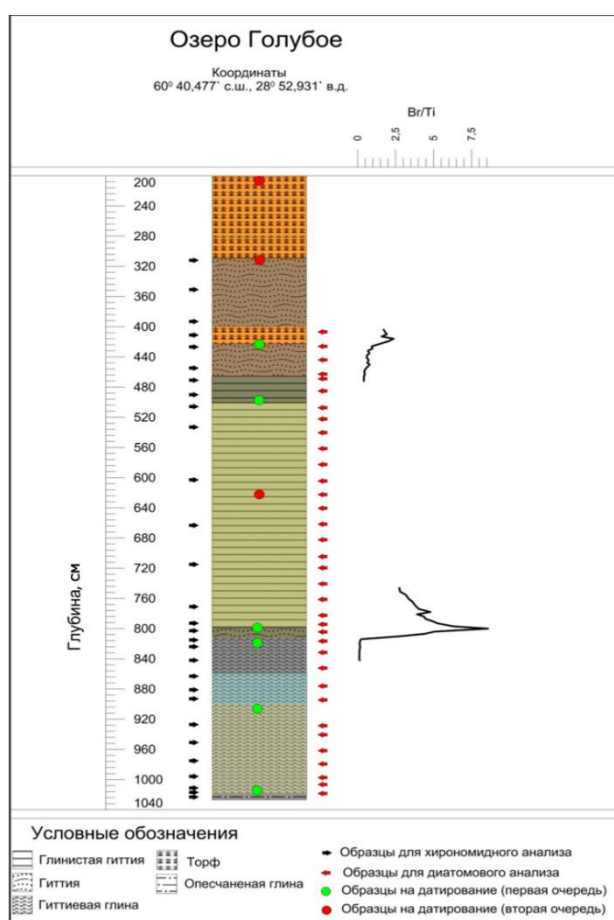


Рис. 24. Результат геохимического анализа ДО и соотношения Br/Ti в оз. Голубое.

Результаты диатомового анализа. В донных осадках оз. Голубое было определено 266 видов (включая внутривидовые таксоны, cf и sp) диатомовых водорослей. Процентное содержание наиболее важных родов и видов, соотношение основных экологических групп и значения ИФР показаны на диаграмме (рис. 25, 28) (Bennion, 1995). Состав диатомовых комплексов

позволяет выделить 5 зон (ДЗ), соответствующие основным этапам развития озера Голубое (Шаталова и др., 2021).

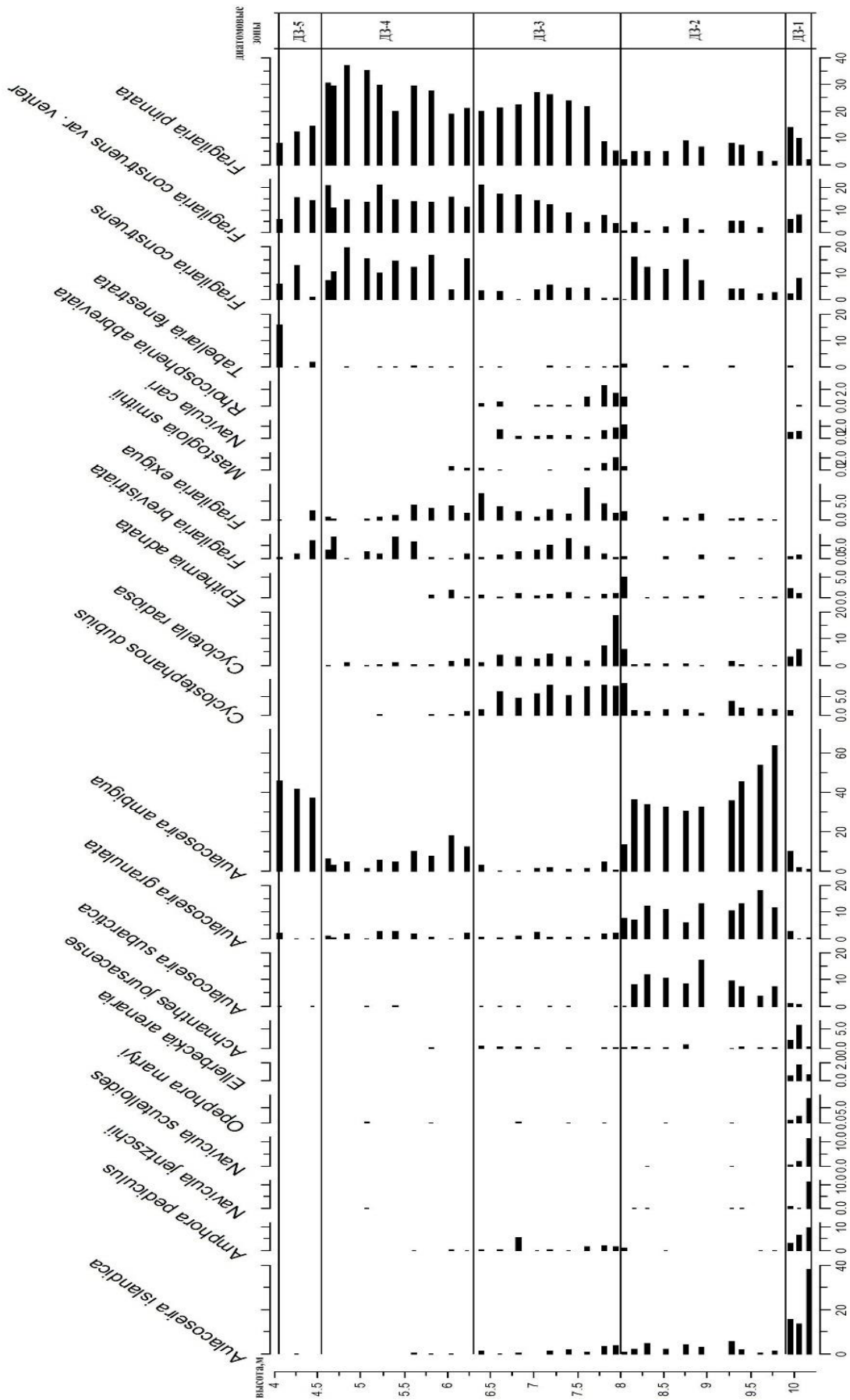


Рис. 25. Процентное содержание наиболее важных родов и видов диатомовых водорослей в донных отложениях оз. Голубое.

Зона ДЗ-1 (10,20 – 9,90 м) характеризуется разнообразной диатомовой флорой (ИФР = 0,12 – 0,14). Доминирующим видом является планктонная *Aulacoseira islandica*, массовый представитель ладожской диатомовой флоры, которая также характерна для Балтийского ледникового озера и Анцилового озера – пресноводных стадий Балтики (Давыдова, 1985). Преобладают диатомеи бентоса (59-76%), среди которых важно отметить присутствие видов, характерных для стадии Анцилового озера: *Orephora martyi*, *Navicula jentzschii*, *Ellerbeckia arenaria*, *Doploneis domblittensis*, *D. maulleri* (Шаталова и др., 2018) (Krammer, 1986 – 2000). Некоторые из них достигают численности доминантов и субдоминантов.

В зоне ДЗ-2 (9,90 – 8,0 м) практически полностью исчезают «анциловые» виды, доминирующим видом становится *Aulacoseira ambigua* (до 64%), содоминантами – *A. granulata* и *A. subarctica* (рис. 26). Для ДЗ-2 также характерна наиболее высокая суммарная численность планктонных диатомей (до 89%). В указанном интервале ИФР возрастает до 0,14, тогда как в целом в ДЗ-2 его значения невысоки (0,06-0,08).



Рис. 26. *Aulacoseira* spp. – доминирующий род (планктон) в ДЗ-2 в донных осадках озера Голубое (глубина образца 8 м).

Зона ДЗ-3 (8,0 – 6,30 м) характеризуется резким уменьшением содержания диатомей рода *Aulacoseira*. Численности доминантов достигают обрастатели *Fragilaria pinnata* и *F. construens* var. *venter*, индифферентные по отношению к солености. К числу субдоминантов относятся индифферентные *Fragilaria brevistriata* и *F. exigua* и галофилы *Cyclostephanos dubius* и *Cyclotella radiosa*. Суммарная численность эпифитов возрастает в направлении верхней границы зоны (с 40% до ~73%), в то время как доля планктонных видов снижается (с ~42% до 11%). Важно отметить высокое содержание диатомей-галофилов (до ~18%), в том числе *Navicula cari*, *N. cryptotenella*, *N. menisculus*, *N. digitoradiata*, *Cyclotella meneghiniana*, *Epithemia sorex*, *Mastogloia smithii* и др. (рис. 27), однако численность отдельных видов редко превышает 1%. В ДЗ-3 наблюдается наибольшее видовое разнообразие (ИФР = 0,14 – 0,20).



Рис. 27. *Mastogloia smithii*, один из видов-галофилов, отмеченных в донных осадках озера Голубое (глубина образца 7,9 м).

В составе диатомовых комплексов ДЗ-4 (6,30 – 4,55 м) доминируют обрастатели (63 – 93%), среди которых наиболее многочисленны представители рода *Fragilaria* (*F. construens* et var. *venter*, *F. pinnata*). Содержание планктонных диатомей изменяется в пределах от 3% до 23%,

возрастает численность эвтрофной *Aulacoseira ambigua*. Виды-галофилы практически полностью исчезают из состава диатомовых комплексов. Доминируют диатомеи, индифферентные по отношению к солености (84 – 97%). ИФР сокращается с 0,12-0,15 в нижней части зоны до 0,04-0,05 в верхней.

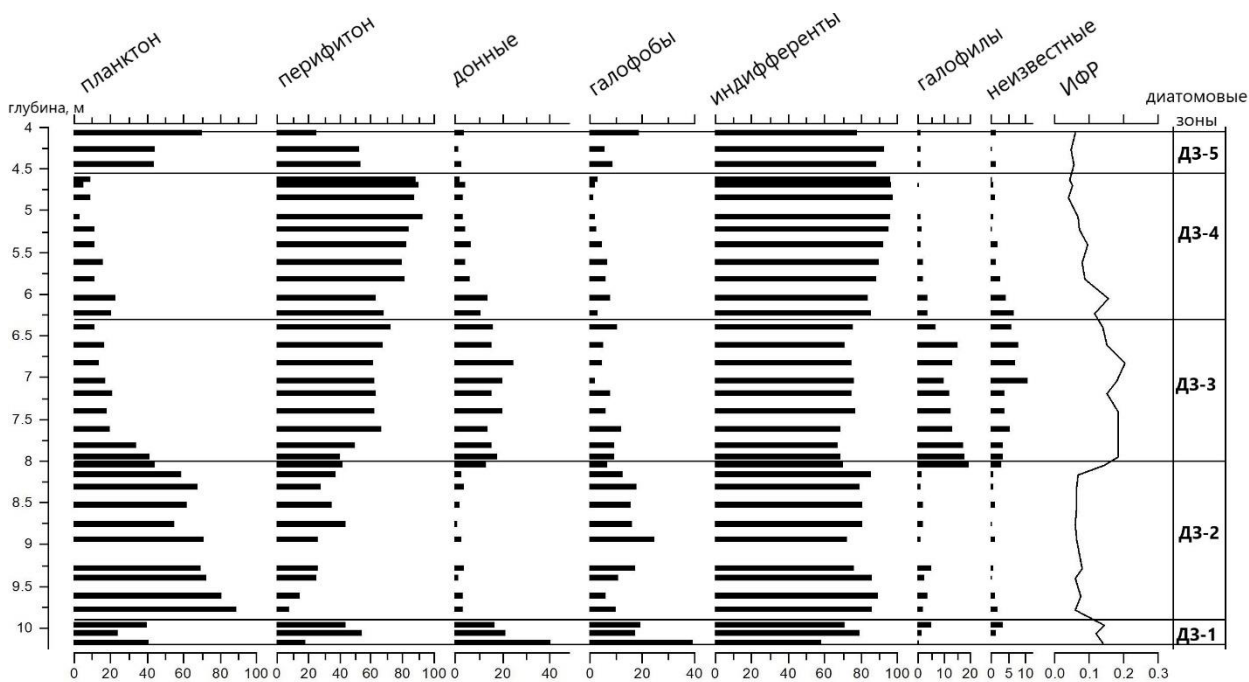


Рис. 28. Процентное содержание основных экологических групп в донных отложениях озера Голубое.

В ДЗ-5 (4,55 – 4,05 м) численности доминанта вновь достигает планктонная *A. ambigua* (>37%). Содержание эпифитов *Fragilaria spp* сокращается по сравнению с ДЗ-4, при этом они остаются в числе содоминантов и субдоминантов. Суммарная численность планктонных диатомей возрастает в направлении верхней границы зоны с 44% до 70%, тогда как численность обрастателей сокращается с 54% до 25%. Преобладают виды, индифферентные по отношению к солености, возрастает содержание галофобов. Значение ИФР низкое (0,05 – 0,06).

3.2. Озеро Большое Молочное

Результаты батиметрической съемки. Котловина озера Б. Молочное отличается вытянутой формой (рис. 29). В озере выделяется северная, наиболее глубокая часть с максимальной глубиной 8 м, с крутыми симметричными склонами на севере, западе и востоке. Южная часть озера менее глубокая, максимальная глубина около 3 м, склоны пологие, симметричные.

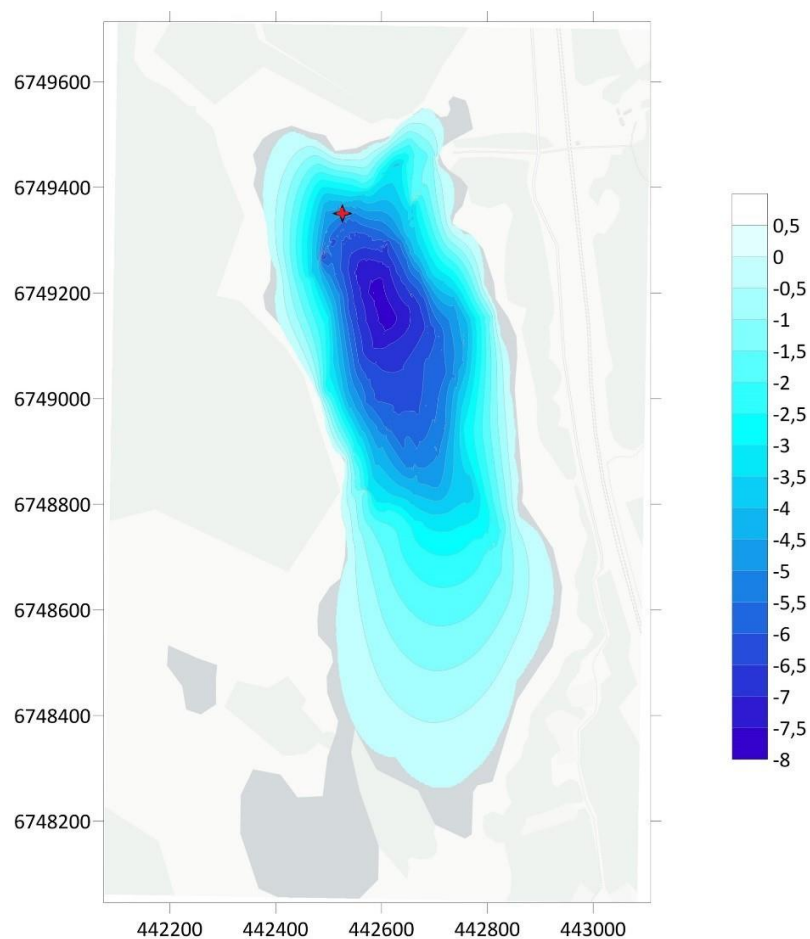


Рис. 29. Батиметрическая карта оз. Б. Молочное ($60^{\circ}84'5''$ с.ш., $28^{\circ}94'27''$ в.д.; 9 м над уровнем моря). Точка пробоотбора отмечена звездой.

Результаты литологического анализа. Результат литологического анализа по кернам донных отложений озера Б. Молочное (рис. 31) представлен на рисунке 30. Мощность осадков составляет 7 м. Нижние 2,5 м представляют собой однородную серо-голубую глину с песчаными прослоями (таблица 2).

Выше по разрезу глина сменяется гиттиевой глиной и глинистой гиттией. Примерно с глубины 9,2 м сероватая гиттиевая глина сменяется светло-коричневой гиттиевой глиной с макроостатками, в составе глинистой гиттии. Выше по разрезу глинистая гиттия сменяется гиттией оливкового, а затем бурого цвета. Отмечен горизонт 9,05 – 8,05 м, характеризующийся наибольшей пестротой литологического состава, а именно зеленовато-бурыми прослоями глинистой гиттии и гиттиевой глины – был обозначен в качестве вероятного горизонта, образовавшегося во время литориновой трансгрессии Балтийского моря.



Рис. 30. Литологическое описание керна ДО оз. Б. Молочное.

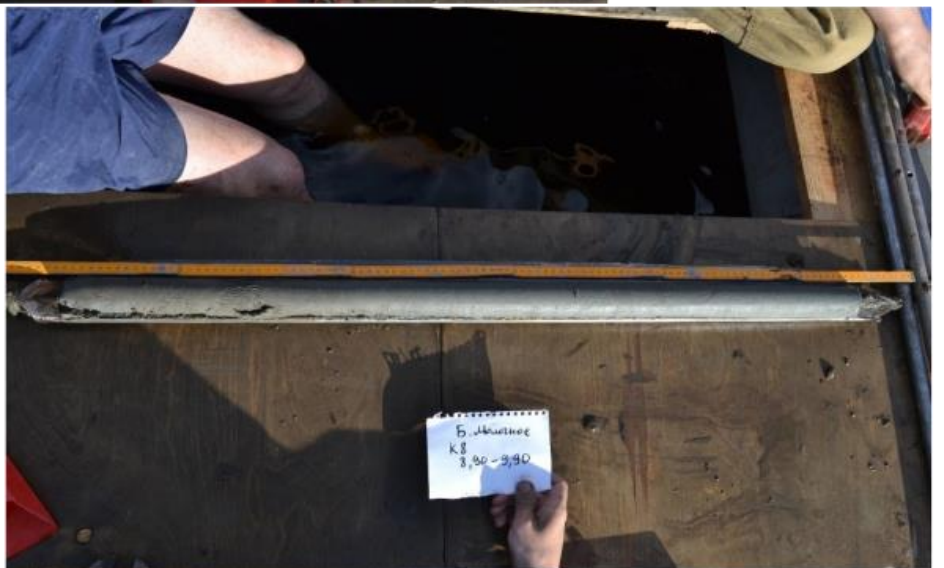
Таблица 2

Стратиграфия донных отложений озера Б. Молочное.

Глубина от поверхности воды		Литологическое описание
От (см)	До (см)	
550	730	однородная бурая гиттия, более обводненная и более темная кверху
730	820	глинистая гиттия; плавный переход от гиттии к глинистой гиттии цвет более оливковый
820	850	оливковая гиттия, к низу более светлая
850	864	полосчатый глинистой гиттии и гиттиевой глины
864	880	светло-коричневая глинистая гиттия с макроостатками
880	905	глинистая гиттия сменяется на гиттиевую глину от светло-коричневого до серо-коричневого к низу
905	917	глинистая гиттия с вкраплениями органики
917	990	гиттиевая глина сменяется глиной; серая с черными полосками
990	1260	серо-голубая глина однородная с мелкими песчаными полосками



A



Б



В

Рис. 31. Керны донных отложений оз. Б. Молочное: А) 10,75 – 9,75 м; Б) 9,90 – 8,90 м; В) 9,10 – 8,10 м.

Результаты анализа потери массы при прокаливании. По содержанию органического вещества можно выделить 5 зон в разрезе ДО оз. Б. Молочное (рис. 32), которые, в целом, соответствуют литостратиграфическим горизонтам. 1-ая зона (11,65 – 9,77 м), соответствующая горизонтам серо-голубой глины, характеризуется минимальным для разреза содержанием органического вещества, значения ППП составляют от 1,7 до 3,3%. Во 2-ой зоне (9,77 – 9,50 м) происходит небольшой рост значений ППП до 5%, выше содержание органического вещества меняется незначительно, наступает стабилизация. Для 3-й зоны (9,5 – 8,65 м) характерны колебания значений ППП в пределах от 3,6 до 8,5%. В 4-ой зоне (8,65 – 8,13 м) происходит резкий рост значений ППП с 8,5 до 25% с двумя пиками. 5-ая зона (8,13 – 5,54 м) – это современный этап осадконакопления, соответствующий горизонтам оливковой и однородной бурой гиттии, происходит плавный рост значений органики со значениями ППП от 17,9 до 25,6%.

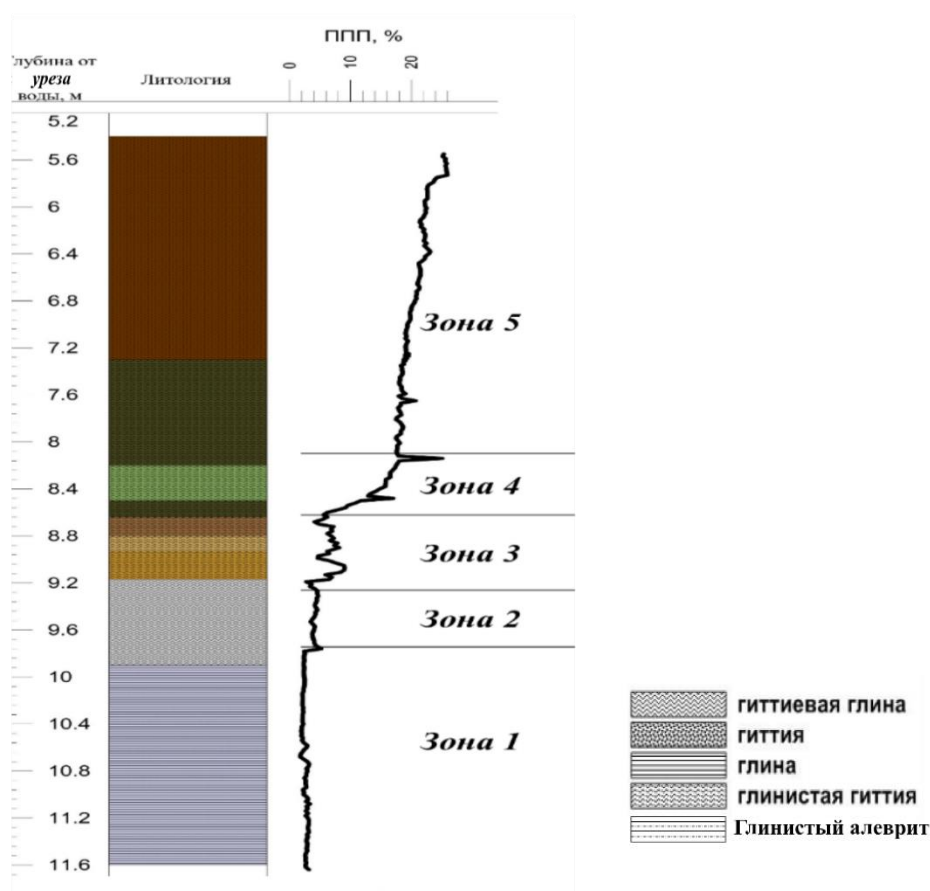


Рис. 32. Литостратиграфия и кривая органического вещества (ППП) в донных отложениях оз. Б. Молочное.

Результаты геохимического анализа. Для разрезов ДО озер Б. Молочное и Зайчихинское были получены данные о содержаниях ряда химических элементов.

На графиках изменения содержания геохимических элементов (рис. 33, 34, 35) были выявлены пики содержаний Ca, K, Si, Al, Ti, Fe на уровне 8,73 м. Ca является показателем роста биогенного материала. Высокое содержание Si и Ti говорит о притоке биогенного кремнезема и поступления терригенного материала. Хорошая корреляция Fe с Ti предполагает незначительное диагенетическое влияние. Положительная корреляция Fe с K также свидетельствует о том, что диагенетические процессы, т.е. процессы преобразования пород, минимальны (Croudace et al., 2015).

Al, Fe, как и Ti, широко использовались для документирования изменений в доставке терригенных отложений, информируя об изменениях континентальной влажности / засушливости и осадков /речного стока; или эоловом потоке пыли / силе ветра, всех условиях /процессах, обычно связанных с климатическими воздействиями (Croudace et al., 2015).

Следовательно, на глубине 8,73 м произошел резкий приток терригенного материала, что находит подтверждение в составе диатомовых сообществ: на той же глубине резко сокращается содержание планктонной *Aulacoseira islandica*, представитель пресноводных стадий Балтики – Балтийского ледникового озера и Анцилового озера (Шаталова и др., 2021). Таким образом, на основании результатов геохимического и диатомового анализов, можно утверждать, что регрессия Анцилового озера произошла резко и была выявлена на глубине 8,73 м в разрезе донных отложений оз. Б. Молочное.

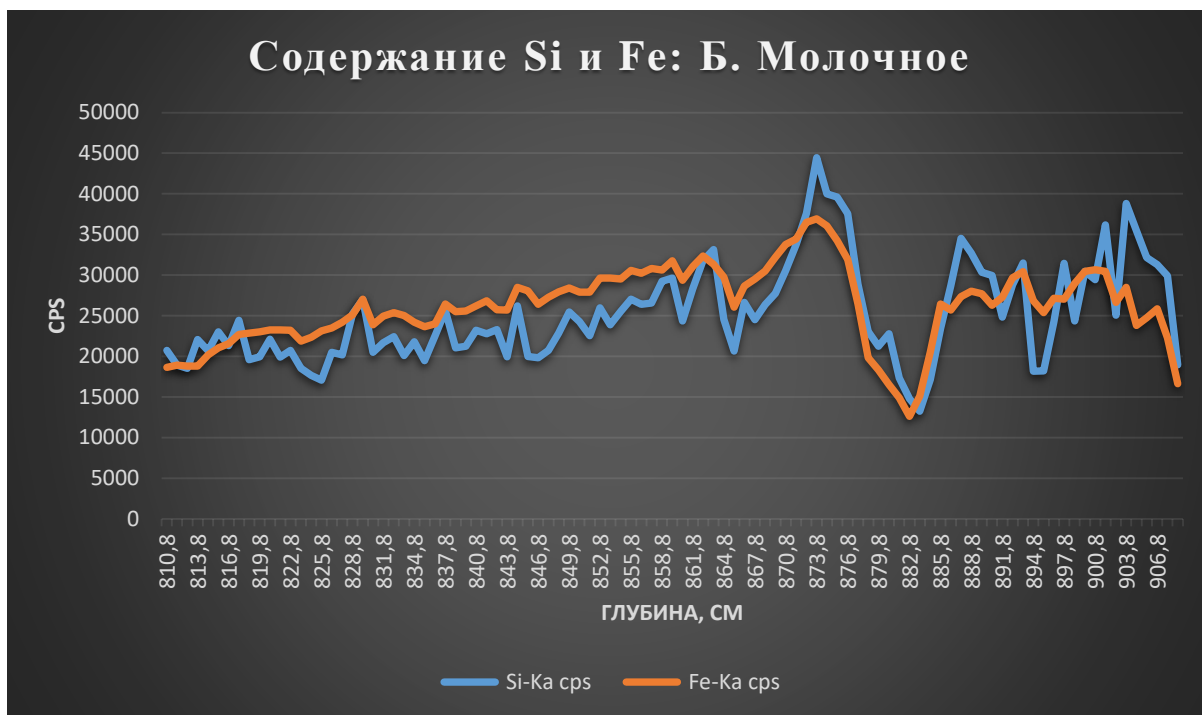


Рис. 33. Содержание Si и Fe в донных осадках оз. Б. Молочное.



Рис. 34. Содержание Al и Ti в донных осадках оз. Б. Молочное.

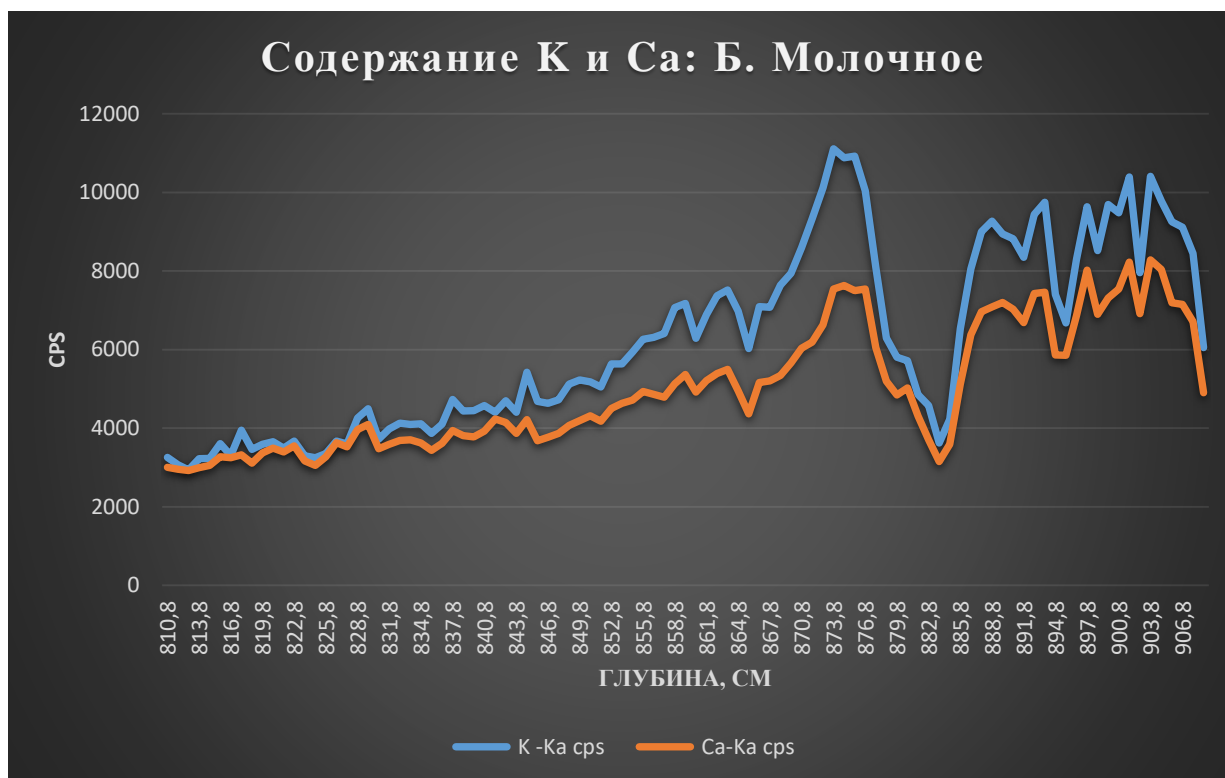


Рис. 35. Содержание К и Са в донных осадках оз. Б. Молочное.

Результаты диатомового анализа. По литостратиграфическому описанию разреза ДО оз. Б. Молочное был выделен интервал 9,05 – 8,05 м, который характеризуется наибольшей пестротой литологического состава (зеленовато-бурые прослой глинистой гитти и гиттиевой глины) (Шаталова и др., 2021). Для этого интервала был выполнен диатомовый анализ. В донных отложениях оз. Б. Молочное было выявлено 112 видов (включая внутривидовые таксоны, cf. и sp.) диатомовых водорослей. Составлены диаграммы процентного содержания наиболее важных родов и видов, значения ИФР и соотношения основных экологических групп (рис. 39, 40) (Шаталова и др., 2021).



Рис. 36. *Stauroneis smithii*, один из видов-галофилов, отмеченных в донных осадках оз. Б. Молочное (глубина образца 8,88 м).

В ДЗ-1 (9,05 – 8,73 м) преобладают планктонные диатомеи (55 – 80%), а именно *Aulacoseira islandica*, массовый представитель ладожской диатомовой флоры, характерная также для пресноводных стадий Балтики – Балтийского ледникового озера и Анцилового озера. Среди диатомей бентоса важно отметить присутствие таких видов как *Cocconeis disculus*, *Navicula jentzschii*, *N. scutelloides*, *Ellerbeckia arenaria*, *Diploneis mauleri*, *Didimosphenia geminata* (рис. 37), также характерных для стадии Анцилового озера. На глубине ок. 8,88 м наблюдается незначительное повышение содержания галофилов, в частности, *Epithemia sorex* и *Navicula cari*, *Stauroneis smithii* (рис. 36), составляющих в сумме 3 % от общего количества видов. Значения ИФР невысоки (0,04 – 0,05) (Шаталова и др., 2021).



Рис. 37. *Didimosphenia geminata*, характерная для стадии Анцилового озера, в донных осадках оз. Б. Молочное (глубина образца 8,94 м).

ДЗ-2 (8,73-8,58 м) характеризуется резким уменьшением содержания планктонной *Aulacoseira islandica* (<10% у верхней границы зоны) и ростом численности обрастателя *Fragilaria construens* (до 50%), изменением соотношения планктонных и бентосных диатомей, а также постепенным сокращением численности «анциловых» видов. В составе диатомовых комплексов появляются планктонные *Cyclotella schumannii* и *Cyclotella radiosa*, обитатели крупных и малых озер, способные переносить слабое повышение минерализации. При этом *C. radiosa* достигает численности субдоминанта (8%). Численность бентосных *Epithemia sorex* и *Navicula cari*, также способных переносить повышение солености составляет менее 1% общего числа видов. Возрастает доля галофобов (до 8%). ИФР незначительно возрастает с 0,05 до 0,08 и достигает наибольшего значения по разрезу (Шаталова и др., 2021).



Рис. 38. *Pinnularia major*, пресноводный вид малого изолированного озера Б. Молочное (глубина образца 8,38 м).

В ДЗ-3 (8,58 – 8,38 м) доминируют диатомеи бентоса (72 – 88%), из которых наибольшей численности достигают алкалифилы: мезо-эвтрофная *Fragilaria construens* (37 – 60%) и *Fragilaria pinnata* (до 20%), способная обитать в широком диапазоне трофических условий. Численность планктонной олиго-эвтрофной *Aulacoseira islandica* снижается до 0,3% у верхней границы ДЗ-3 при одновременном возрастании содержания планктонной *Aulacoseira ambigua* (до 25%), предпочитающей эвтрофные водоемы. Из состава диатомовых комплексов практически полностью исчезают «анциловые» виды (рис. 38). Происходит сокращение численности планктонной *Cyclotella radiosa* (1 – 4%). Преобладают виды, индифферентные по отношению к солености, среди которых наибольшей численности достигают обрастатели *Fragilaria* spp (Шаталова и др., 2021).

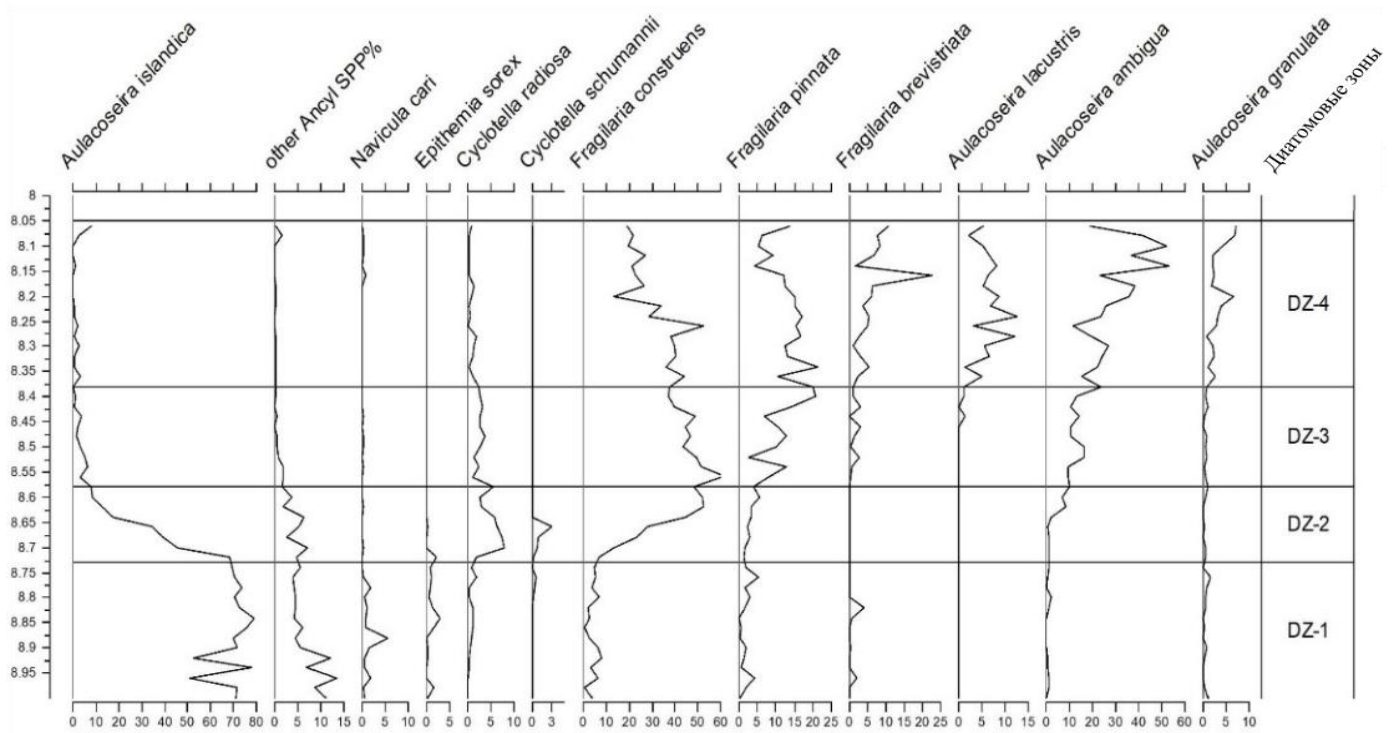


Рис. 39. Процентное содержание наиболее важных родов и видов диатомовых водорослей в донных отложениях оз. Б. Молочное.

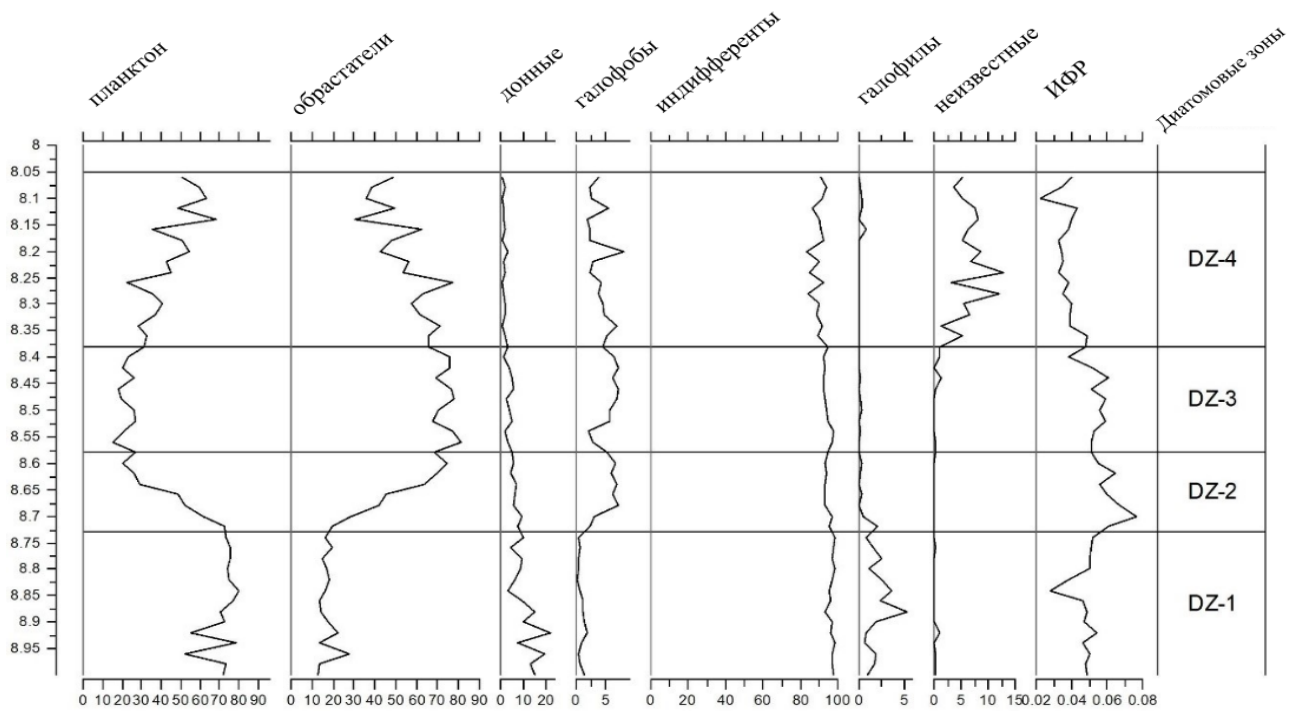


Рис. 40. Значения ИФР и соотношение основных экологических групп оз. Б. Молочное.

В составе диатомовых комплексов ДЗ-4 (8,38 – 8,05 м) доминирует планктонная *Aulacoseira ambigua* (до 50%). В целом для ДЗ-4 характерно высокое содержание диатомей рода *Aulacoseira*: помимо *A. ambigua*, достаточно высокой численности достигают здесь *A. granulata* и *A. lacustris*. Содержание обрастателей *Fragilaria* spp. сокращается по сравнению с ДЗ-3, однако их основные представители (*F. construens*, *F. pinnata* и *F. brevistriata*) по-прежнему входят в состав доминант-субдоминантных комплексов. Преобладают виды, индифферентные по отношению к солености, сравнительно высока доля галофобов. ИФР по сравнению с ДЗ-2 и ДЗ-3 сокращается (0,35 – 0,4) (Шаталова и др., 2021).

3.3. Озеро Зайчихинское

Результаты батиметрической съемки.

Озеро Зайчихинское округлой формы, сложной конфигурации, мелководное, с максимальной глубиной в центре около 1 м, с пологими короткими склонами (рис. 41).

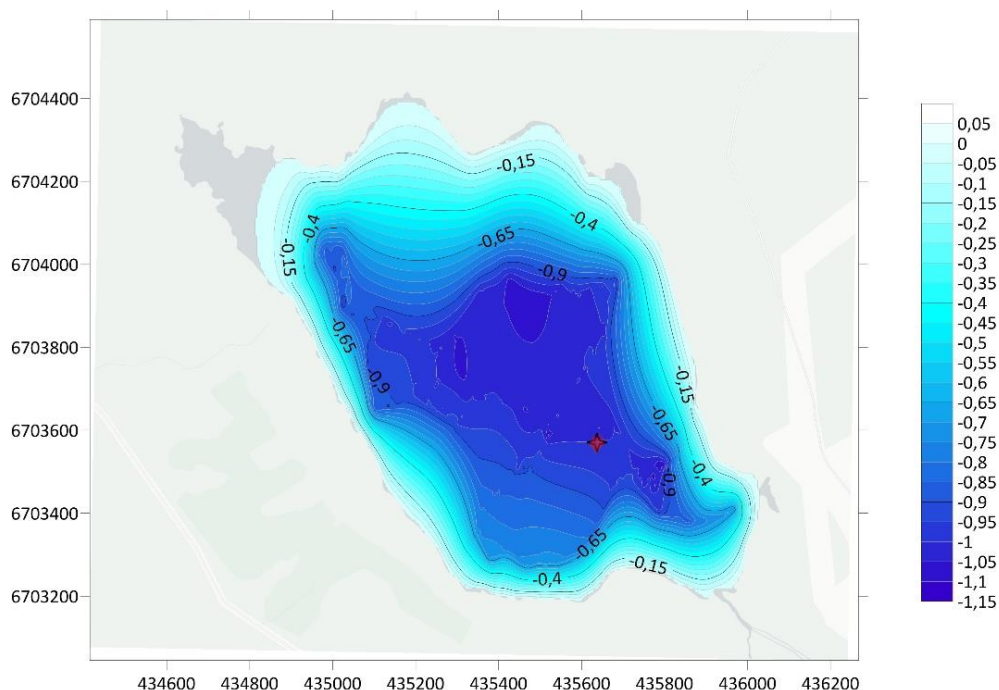


Рис. 41. Батиметрическая карта оз. Зайчихинское (60°44'03" с.ш., 28°82'47" в.д.; 13 м над уровнем моря). Точка пробоотбора отмечена звездой.

Результаты литологического анализа. Результат литологического анализа по кернам донных отложений озера Зайчихинское (рис. 43) представлен на рисунке 42. Мощность осадков составляет 8,4 м (таблица 3). В нижней части разреза до глубины 6,3 м в литологическом составе присутствует серо-голубая глина, которая сменяется глинистым алевритом. Выше по разрезу залегает зеленоватая гиттиевая глина, которая сменяется глинистой гиттией и с глубины 5,3 м однородной темно-оливковой и бурой гиттией.

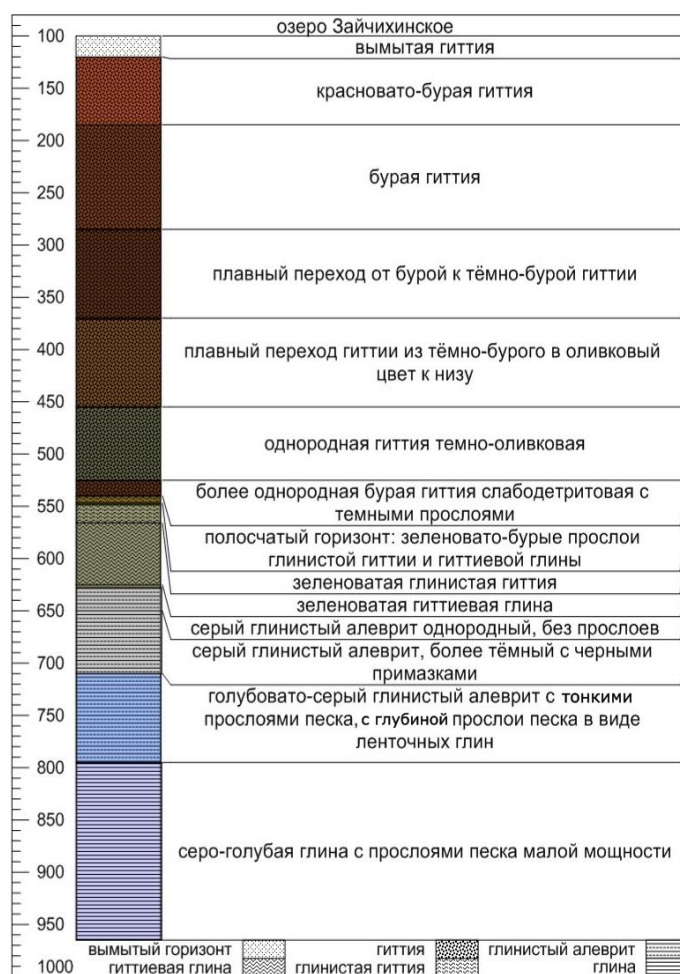


Рис. 42. Литологическое описание керна ДО оз. Зайчихинское.

Стратиграфия донных отложений озера Зайчихинское.

От (см)	До (см)	Литологическое описание
100	120	вымытая гиттия
120	185	красновато-бурая гиттия
185	285	красно-бурая к бурой, однородная гиттия
285	370	плавный переход от темно-бурой к светло- бурой гиттии
370	455	плавный переход однородной гиттии из бурого в оливковый цвет к низу
455	525	однородная гиттия темно-оливковая
525	540	более однородная бурая гиттия слабодетритовая с темными прослоями
540	547	полосчатый горизонт глинистой гиттии и гиттиевой глины зеленоватый и бурый + более темные оттенки
547	566	глинистая гиттия
566	625	зеленоватая гиттиевая глина
625	650	серый глинистый алеврит однородный, без прослоев
650	710	темно-серый глинистый алеврит, наличие черных примазок
710	795	голубовато-серый глинистый алеврит с тонкими прослоями песка, с глубиной прослой песка в виде ленточных глин
795	880	голубовато-серый глинистый алеврит более светлый с тонкими прослоями песка малой мощности, темные прослой на 8,20 м и 8,22 м
880	965	голубовато-серый глинистый алеврит с прослоями песка; 8,66 – 8,86 м и 9,61 – 9,65 м прослой песка мелкозернистый сортированный

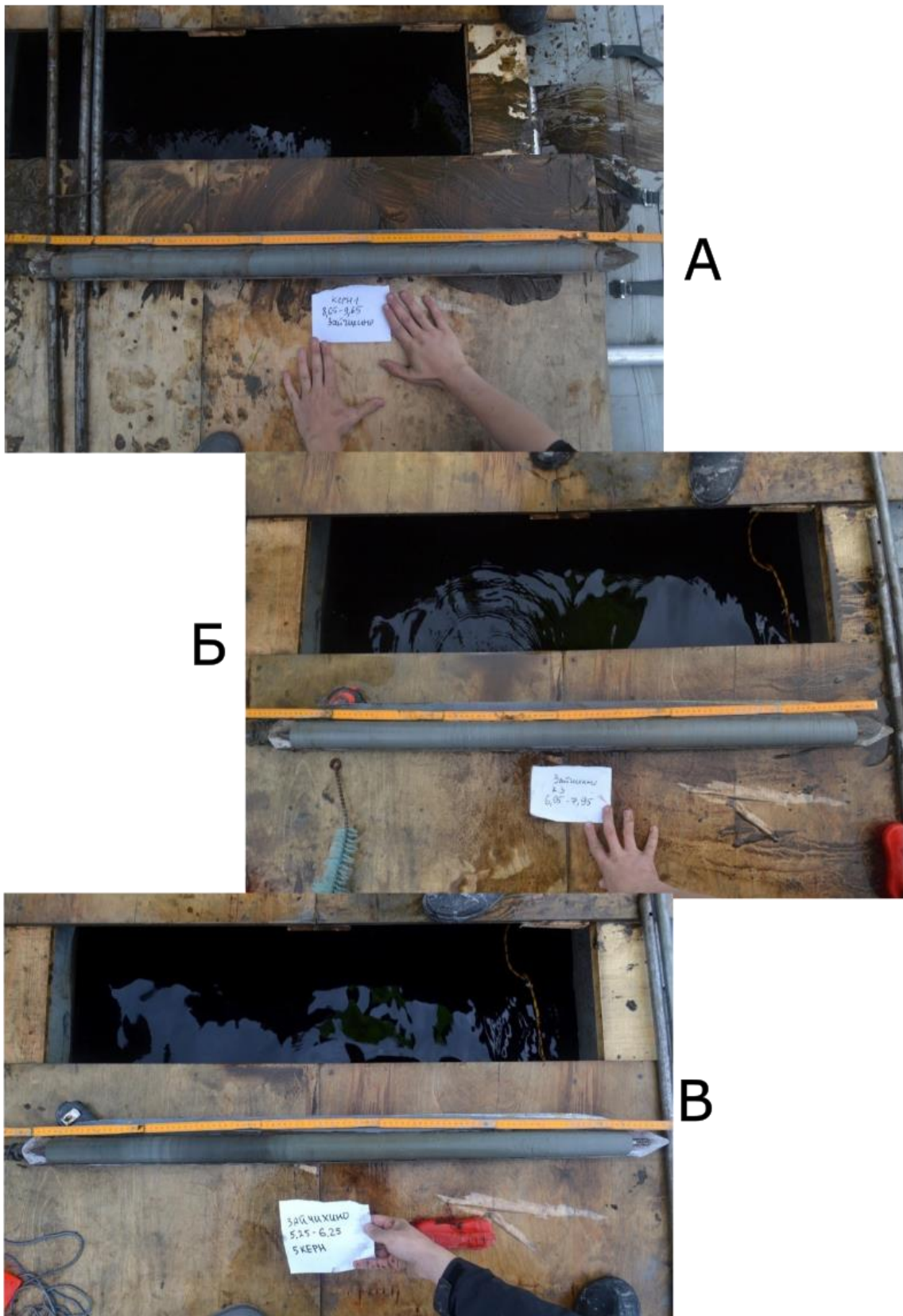


Рис. 43. Керны донных отложений оз. Зайчихинское: 9,65 – 8,65 м; 7,95 – 6,95 м; 6,25 – 5,25 м.

Результаты анализа потери массы при прокаливании. По содержанию органического вещества (рис. 44) в оз. Зайчихинское можно выделить 2 зоны, которые в целом соответствуют литостратиграфическим горизонтам. 1-ая зона (7,1 – 5,77 м), соответствующая горизонтам серого глинистого алевролита снизу и зеленоватой гиттиевой глине, характеризуется плавным увеличением содержания органического вещества от 0,8 к до 3,4%. 2-ая зона (5,77 – 4,40 м) характеризуется значительными флуктуациями в значениях ППП от 3,4 до 9%.

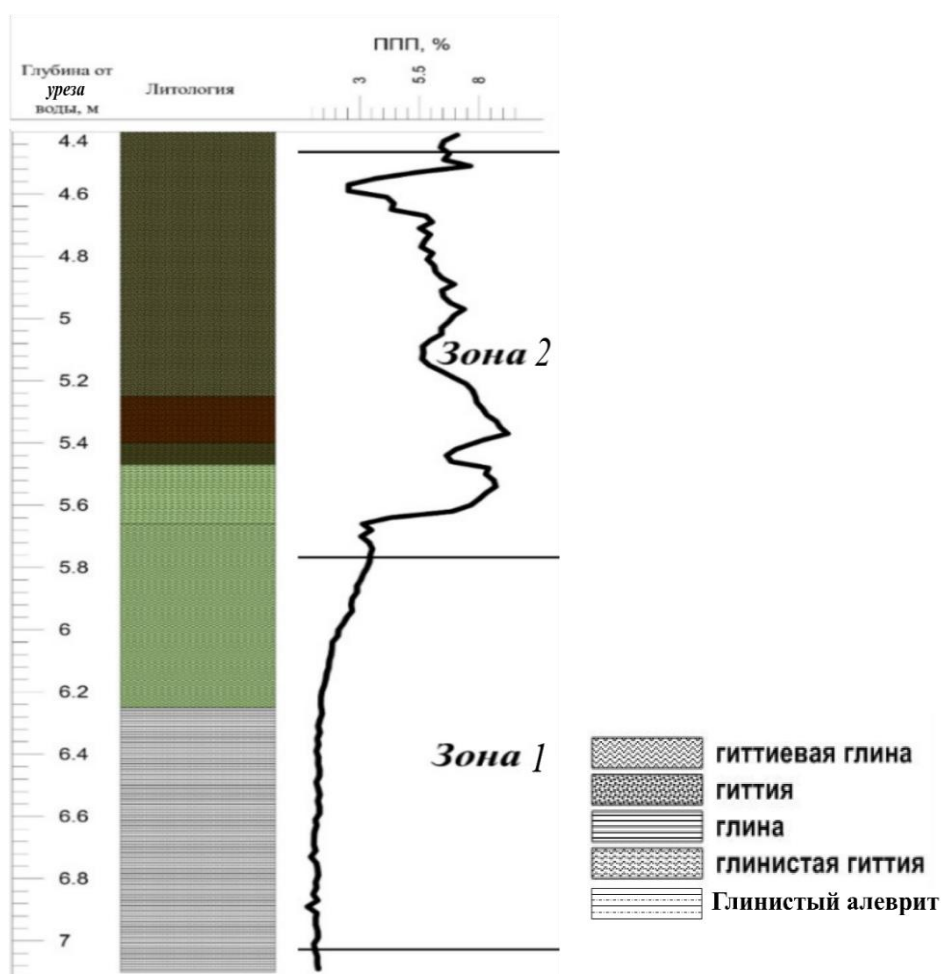


Рис. 44. Литостратиграфия и динамика органического вещества в донных отложениях оз. Зайчихинское.

Результаты геохимического анализа. По результатам геохимического анализа ДО оз. Зайчихинское (рис. 45, 46) не было выявлено зависимости пиков содержаний Ca, K, Si, Al, Ti, Fe от изменений природных обстановок по разрезу, как в оз. Б. Молочное. Наблюдается приток терригенного материала на 5,67 м, а также в диапазоне 5,49 – 5,40 м.

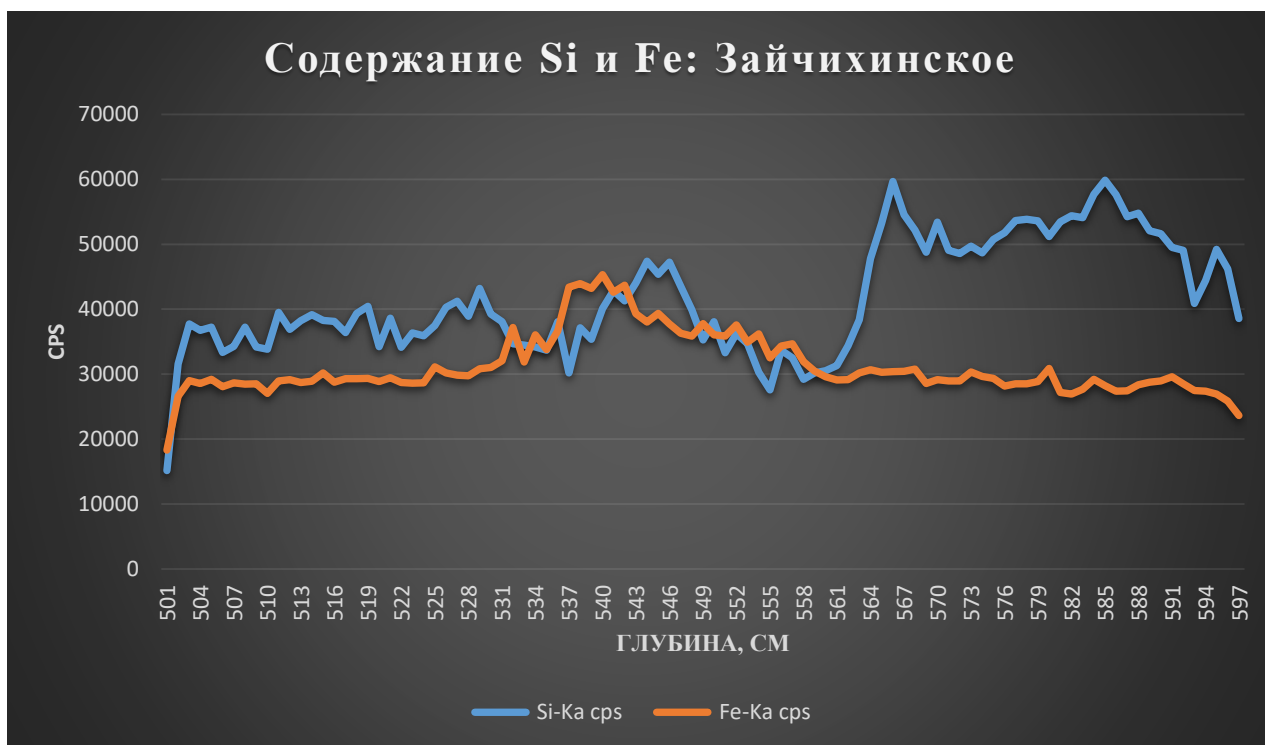


Рис. 45. Содержание Si и Fe в донных осадках оз. Зайчихинское.

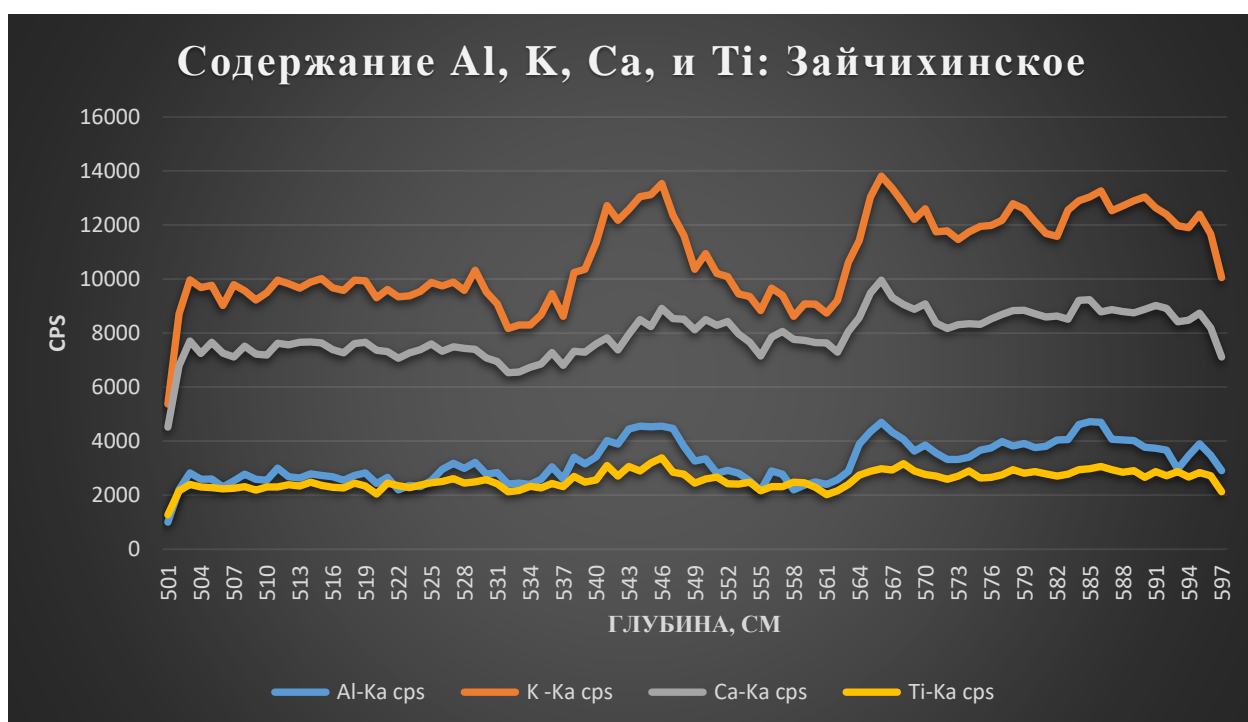


Рис. 46. Содержание Al, K, Ca, Ti в донных осадках оз. Зайчихинское.

Результаты диатомового анализа. В донных отложениях оз. Зайчихинское было отмечено 147 видов (включая внутривидовые таксоны, cf. и sp.) диатомовых водорослей. Составлены диаграммы процентного содержания наиболее важных родов и видов, значения ИФР и соотношения основных экологических групп (рис. 49, 50) (Шаталова и др., 2021).

Диатомовая зона ДЗ-1 (5,44 – 5,40 м) характеризуется крайне низким содержанием диатомовых водорослей (менее 200 створок на 10 рядов препарата). Отмечены створки планктонной *Aulacoseira islandica* (рис. 47), бентосных *Amphora libyca* и *Navicula scutelloides*, а также единичные створки *Cyclotella radiosa*, *Navicula jaernefeltii*, *Ellerbeckia arenaria*, *Cymbella sinuata*. Доля «анциловых видов» в этой зоне варьирует от 38% до 53% (Шаталова и др., 2022).

Для диатомовой зоны ДЗ-2 (5,40 – 5,25 м) характерно значительное увеличение содержания створок диатомей и ИФР (от 0,03 до 0,07), который достигает максимального значения по всей колонке. В нижней части зоны доминируют планктонные *Aulacoseira islandica* и *Aulacoseira ambigua* (рис. 45): численность первой достигает 25% на 5,38 м, после чего численность *A. islandica* сокращается, при этом увеличивается доля *A. ambigua* вверх по разрезу (до 68%). *A. islandica* остается в численности доминанта и субдоминанта (25 – 5%), наряду с *Fragilaria pinnata* и *Fragilaria construens*. Доля «анциловых видов» в этой зоне варьирует от 38% до 53%, которые состоят по большей части из таких видов как *Didymosphenia geminata*, *Ellerbeckia arenaria*, *Navicula scutelloides*, *N. jentzschii*. Наряду с увеличением содержания планктонной *Aulacoseira ambigua*, возрастает и доля обрастателей, в частности это *Fragilaria pinnata*, *F. construens* и *F. brevistriata*. Все три перечисленных вида достигают в зоне ДЗ-2 максимального от общего количества створок процентного содержания по всему разрезу (до 10 – 20%). Доля галофилов (пресноводных диатомей, способных переносить небольшое повышение минерализации) также возрастает до своего максимального

значения 16%. Снижается доля донных диатомей с 22% в нижней части ДЗ-2 до <3,5% в верхней (Шаталова и др., 2022).



Рис. 47. *Aulacoseira* spp. - доминирующий род (планктон) в донных осадках озера Зайчихинское (глубина образца 4,25 м).

В диатомовой зоне ДЗ-3 (5,25 – 5,03 м) практически полностью исчезают «анциловые виды» (рис. 48). Продолжает возрастать доля *Aulacoseira ambigua* и *Aulacoseira granulata*, достигающих численности доминанта и со-доминанта (77% и 42%, соответственно). Существенно сокращается доля *A. islandica* и обрастателей рода *Fragilaria* (<1%). ИФР достигает самых низких значений по всему разрезу (0,018). Для ДЗ-3 характерна максимальная численность диатомей планктона (90-98%), в отличие от предыдущей зоны (от 30% до 90% к верхней границе зоны) и минимальная суммарная численность галофилов (не более 1%) (Шаталова и др., 2022).



Рис. 48. *Cymbella elginensis*, пресноводный вид малого изолированного озера в донных осадках оз. Зайчихинское (глубина образца 5,05 м).

В зоне ДЗ-4 (5,03 – 4,44 м) сохраняется высокая доля планктонных диатомей (87 – 97%). В этой зоне господствует *Aulacoseira ambigua*, максимальная численность которой достигает 87% на глубине 4,63 м. Практически по всей зоне присутствуют створки *Cyclotella stelligera*, процентное содержание которой достигает 6% у верхней границы зоны. Встречаются единичные створки галофила *Navicula cari* (менее 1%). Среди диатомей планктона также можно отметить резкое увеличение численности *Aulacoseira islandica* (до 5% на 4,69 м) и *Aulacoseira subarctica* (до 6% на 4,55 м). Доля обрастателей по-прежнему мала, но незначительно увеличивается к верхней границе зоны до 9%. Суммарное содержание диатомей-галофилов не превышает 0,8%. ИФР в зоне ДЗ-4 варьирует от 0,018 до 0,044 (Шаталова и др., 2022)

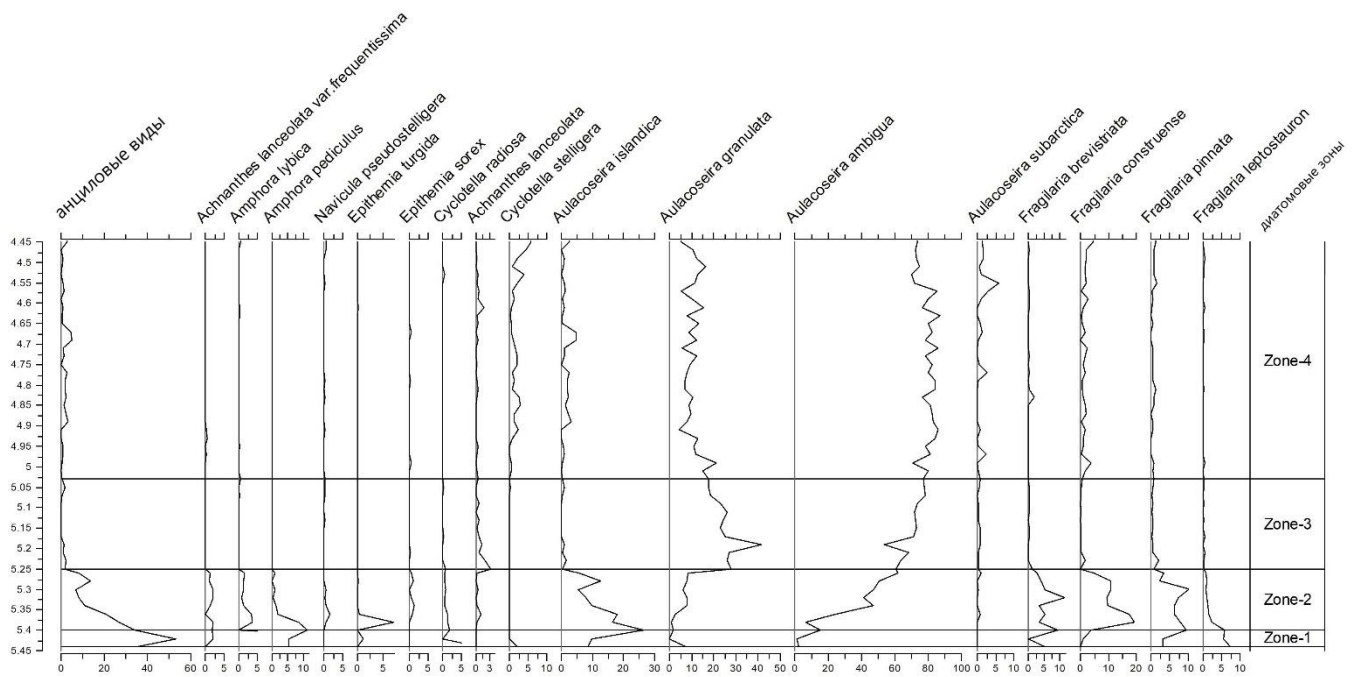


Рис. 49. Процентное содержание основных видов диатомовых водорослей в донных отложениях оз. Зайчихинское.

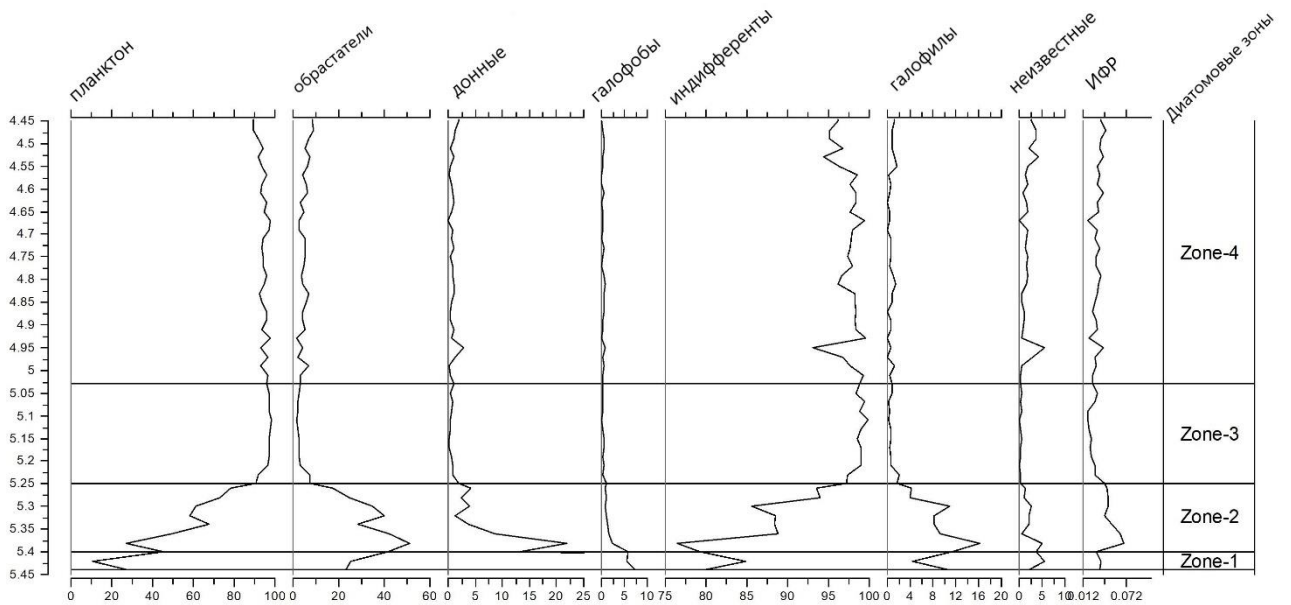


Рис. 50. Процентное содержание основных экологических групп в донных отложениях озера Зайчихинское.

Результаты радиоуглеродного датирования озер Голубое, Б. Молочное и Зайчихинское

Результаты радиоуглеродного датирования представлены в таблице 4.

Таблица 4

Результаты радиоуглеродного датирования оз. Голубое, Б. Молочное, Зайчихинское.

№	Название объекта	Высота уреза воды, м	Глубина озера, м	Глубина отбора образца от уреза воды, м	Абсолютная высота, м	Материал для датирования	Номер лабораторного образца	Радиоуглеродная дата	Калиброванная дата
1	озеро Голубое	11	2,2	4,98-4,95	6,02-6,05	раст. остатки	IGAN-6910	4260±25	4 822-4 864 cal BP
2		11	2,2	7,96-7,99	3,04-3,01	раст. остатки	IGAN-6911	6650±25	7 484-7 575 cal BP
3		11	2,2	8,22-8,18	2,78-2,82	раст. остатки	IGAN-6912	7830±30	8 673- 8 696 cal BP
4		11	2,2	10,14-10,17	0,86-0,83	глина	IGAN-6913	8800±30	9 688-10 115 cal BP
5	озеро Б. Молочное	9	8	8,39-8,41	0,61-0,59	питтия	MKL-A6231	3121±21	3 392-3 253 cal BP
6		9	8	8,59-8,61	0,41-0,39	питтия	MKL-A6230	4053±21	4 612-4 425 cal BP
7		9	8	8,69-8,71	0,31-0,29	питтия	MKL-A6229	4404±24	5 047-4 869 cal BP
8		9	8	8,75-8,77	0,25-0,23	питтия	MKL-A6228	6401±22	7 421-7 265 cal BP
9	озеро Зайчихинское	13	1,15	5,04-5,06	7,96-7,94	питтия	MKL-A6235	8927±27	10 194-9 909 cal BP
10		13	1,15	5,22-5,24	7,78-7,76	питтия	MKL-A6234	9251±25	10 553-10 290 cal BP
11		13	1,15	5,26-5,28	7,74-7,72	питтия	MKL-A6233	9319±39	10 657-10 310 cal BP
12		13	1,15	5,41-5,43	7,59-7,57	питтия	MKL-A6232	9416±26	10 729-10 571 cal BP

По результатам радиоуглеродного датирования были построены глубинно-возрастные модели озер Голубое, Б. Молочное и Зайчихинское (рис. 51; 52; 53). Вероятнее всего изоляция оз. Голубое от Анцилового озера по данным радиоуглеродного датирования произошла ок. 8700 кал. л. н. Следующий этап развития озера Голубое соответствует фазе литориновой трансгрессии, и его начало датируется примерно 7500 кал. л. н. Изоляцию оз. Б. Молочное от Анцилового озера радиоуглеродный анализ определил в период 7420 – 7260 кал. л. н., что, вероятно, является ошибочной датой, поскольку в это же время началась литориновая трансгрессия в оз. Голубое. В оз. Зайчихинское ослабление влияния Анцилового бассейна в связи с его дальнейшей регрессией и установлением органонакопления произошло ок. 10400 кал. л. н.

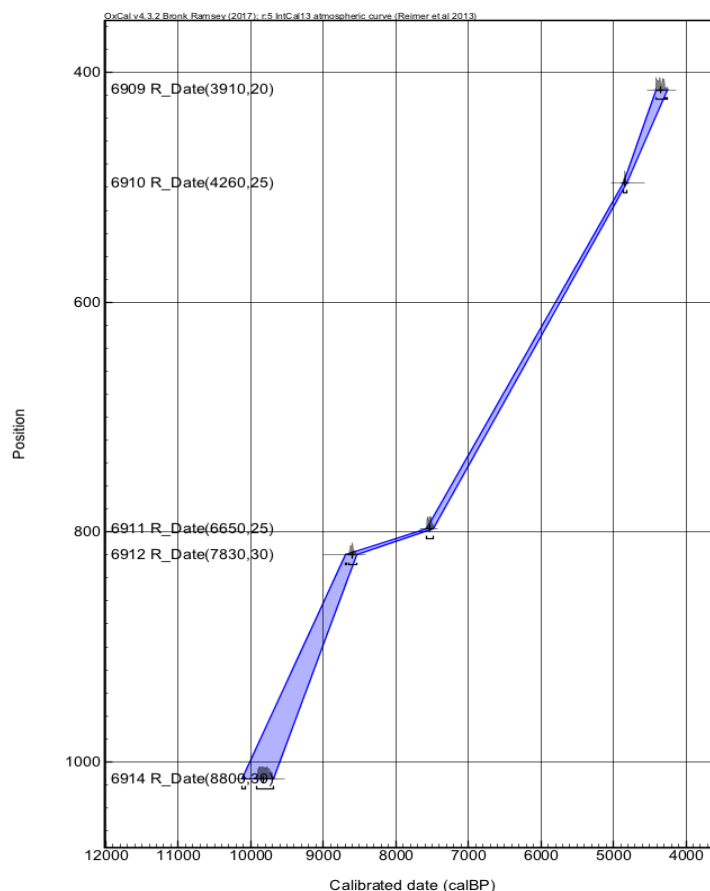


Рис. 51. Глубинно-возрастная модель, построенная по результатам радиоуглеродного датирования ДО оз. Голубое.

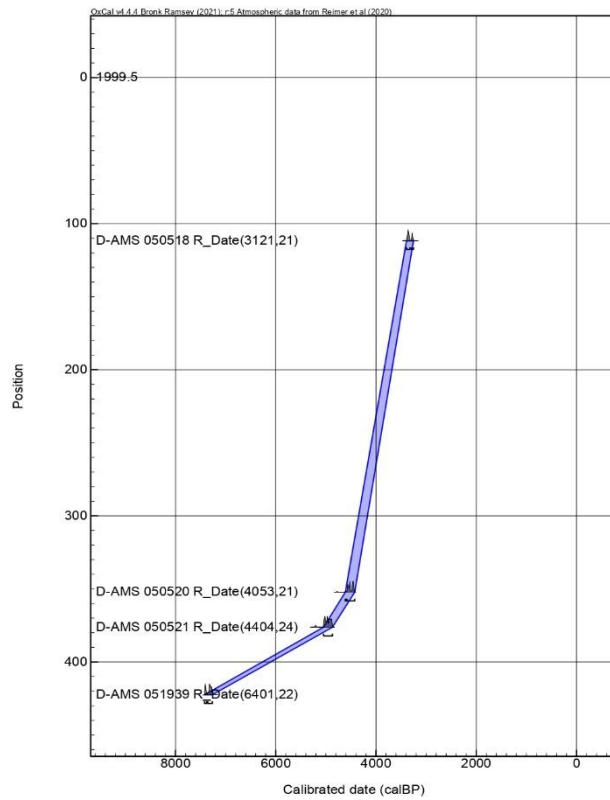


Рис. 52. Глубинно-возрастная модель, построенная по результатам радиоуглеродного датирования ДО оз. Б. Молочное.

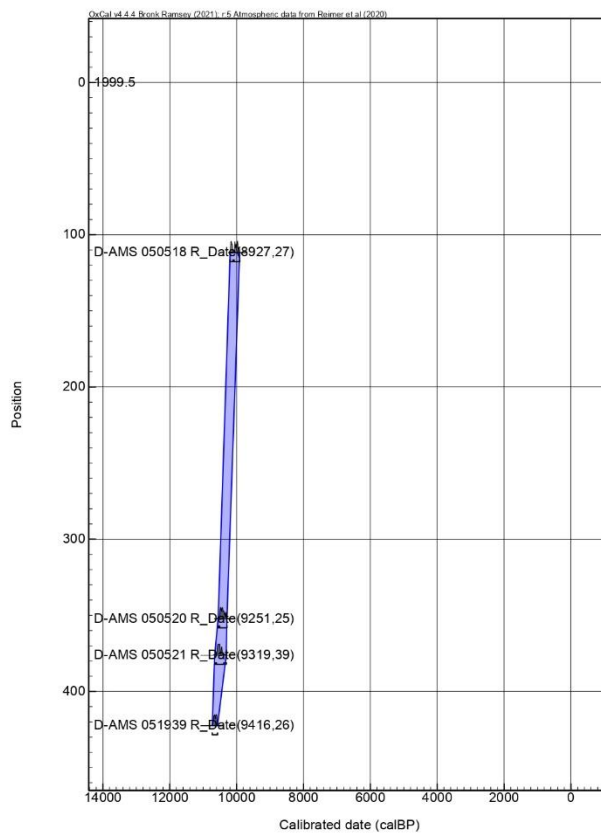


Рис. 53. Глубинно-возрастная модель, построенная по результатам радиоуглеродного датирования ДО оз. Зайчихинское.

Полученные результаты позволяют охарактеризовать смену природных обстановок в голоцене и выделить основные этапы развития озерных экосистем. По литостратиграфическому анализу и анализу ППП в озерах выявлена смена минерального осадконакопления органическим. С увеличением доли органического вещества в осадках происходит смена диатомовых комплексов. В донных осадках изученных озер отмечены виды диатомовых, характерные для стадии Анцилового озера: *Opephora martyi*, *Navicula jentzschii*, *Ellerbeckia arenaria*, *Doploneis domblittensis*, *D. maulleri*. Высокое содержание диатомей-галофилов в оз. Голубое, в том числе *Navicula cari*, *N. cryptotenella*, *N. menisculus*, *N. digitoradiata*, *Cyclotella meneghiniana*, *Epithemia sorex*, *Mastogloia smithii* позволило выделить в оз. Голубое стадию литориновой трансгрессии в ДЗ-3. По результатам геохимического анализа выявлены индикаторы изменения осадконакопления на тех же уровнях, что и по предыдущим анализам. Выделены зоны с содержанием «анциловых» диатомей, низким содержанием органического вещества, которые связаны с условиями глубокого олиготрофного Анцилового озера. В оз. Голубое выделена зона с содержанием диатомей, способных переносить слабое повышение минерализации, которая датируется ок. 7500 кал. л. н. В это время на северо-западе Карельского перешейка литориновая трансгрессия достигла отметки 11 м.

ГЛАВА 4. РЕКОНСТРУКЦИЯ ИЗМЕНЕНИЯ УРОВНЯ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ В ГОЛОЦЕНЕ

Потепление в течение голоцена проявилось на всех компонентах ландшафта и в конечном итоге произошло изменение осадконакопления в водоемах и начало формирования лесных ландшафты и произошло. Изменения площади, глубины, гидродинамики и химического состава Балтийского моря нашли отражение в ландшафтах Карельского перешейка.

В течение длительного периода, во время голоценового оптимума (8000-4000 кал. л. н.), в связи с интенсивным таянием ледникового покрова происходил эвстатический подъем уровня Мирового океана. Однако ввиду неоднородности поднятия земной поверхности (изостазии), в различных районах Балтики документируется разное количество трансгрессивных фаз Литоринового моря.

4.1. Основные этапы развития озерных экосистем

Основные этапы развития экосистемы озера Голубое. На первом этапе, соответствующему ДЗ-1, в котловине озера Голубое накапливались минеральные отложения (рис. 54), представленные гиттиевой глиной с малым содержанием органического вещества (ок. 10%), в которых присутствовали такие виды как *Aulacoseira islandica*, характерная для глубоких олиготрофных водоемов, а также *Operphora martyi*, *Navicula jentzschii*, *Ellerbeckia arenaria*, *Diploneis domblittensis*, *D. maulleri*, характерные для Анцилового озера (Krammer, 1986 – 2000) - раннеголоценовой пресноводной стадии Балтики. Сходный состав диатомовых видов был определен в отложениях Нижнеосиновского болота, расположенного восточнее озера Голубое на 16 км, на отметке 23 м. Возраст анциловых отложений в Нижнеосиновском болоте составил ок. 9200 лет назад, что соответствует Анциловой стадии развития Балтийского моря (Субетто и др., 1999). Таким образом, нижняя часть осадочной толщи в оз. Голубое формировалась в условиях пресноводного водоема – залива Анцилового озера, но при этом климатические условия по-

прежнему оставались относительно сухими и холодными (Шаталова и др., 2018).

Позднее произошла смена минерального осадконакопления органическим, нашедшая отражение в литологическом составе (смена гиттиевой глины на глинистую гиттию) и в составе диатомовых комплексов, из состава которых исчезли «анциловые виды» в ДЗ-2 (Shatalova et al., 2020). Доминантами становятся *Aulacoseira ambigua*, *A. granulata*, *Fragilaria construens* и др., что указывает на то, что диатомовые комплексы формировались в условиях небольшого изолированного озера. Данный этап указывает на изоляцию оз. Голубое от Анцилового озера, которая, по данным радиоуглеродного датирования, произошла ок. **8700 кал. л. н.**

На следующем этапе, соответствующему ДЗ-3, происходит резкое возрастание доли органического вещества (до 34%) в донных осадках оз. Голубое (оливковая глинистая гиттия) и галофильных диатомовых водорослей (до ~18%) (Шаталова и др., 2018). Резкие изменения состава донных отложений озера Голубое подтверждаются резким увеличением соотношения Br/Ti , где Ti – терригенный элемент, а Br связан с морскими/солонатоводными условиями осадконакопления. Соответственно, увеличение соотношения брома и титана свидетельствует об увеличении уровня воды в связи с литориновой трансгрессией, воды которой проникли в котловину озера Голубое. Начало литориновой трансгрессии в районе оз. Голубое датируется примерно **7500 кал. л. н.** Однако озеро все еще оставалось пресным за счет стока по Гейниокскому проливу вод из Ладожского озера в Балтику. Следовательно, уровень Литоринового моря достигал или ненамного превышал уровень озера (~11 м.) (Шаталова и др., 2018).

В озере Высокинском, расположенном в юго-западной части Карельского перешейка, на абсолютной высоте 9 м., диатомовый анализ донных отложений определил короткий солонатоводный период 7800 – 7400 кал. л. н., соответствующий Атлантическому периоду эпохи голоцена и трансгрессии Литоринового моря.

В озеро Приветнинское (6 м над уровнем моря) впервые литориновые воды проникли около 8200 кал. л. н. (Miettinen et al., 2007). Именно на данном этапе – климатическом оптимуме голоцена, происходят заметные изменения в природной обстановке Карельского перешейка: с увеличением температуры и осадков возрастает уровень и глубина водоемов, на территории суши господствуют широколиственные леса, скорость физико-химических процессов увеличивается, растет биоразнообразие и продуктивность водоемов (Марков и др., 1933).

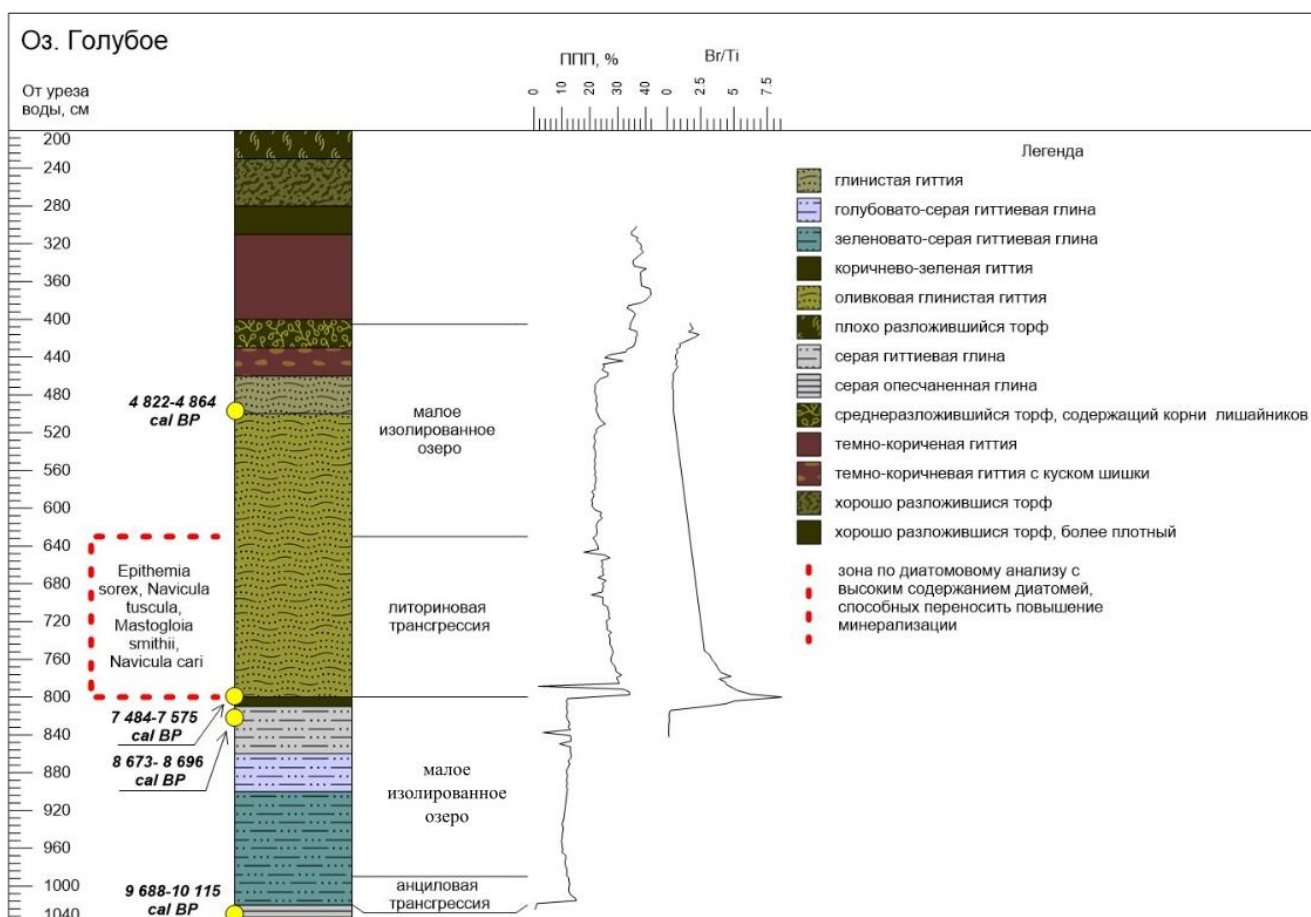


Рис. 54. Разрез донных отложений оз. Голубое (высота над у.м. 11м).

Выше по разрезу, уменьшение содержания галофильных таксонов в ДЗ-4 и смена осадконакопления на темно-коричневую гиттию, судя по полученным данным, отражает прекращение литориновой трансгрессии и уменьшение уровня воды в озере (Шаталова и др., 2018). Доминирование обрастателей *Fragilaria pinnata* и *F. construens var. venter* свидетельствует о

том, что осадконакопление происходило в условиях водоема, недавно освободившегося от влияния морского бассейна. Формирование мелководного водоема способствует увеличению доли эпифитов. Доминирование бентосных диатомей говорит о том, что осадконакопление происходило в мелководных условиях литорали (Сапелко и др., 2008). Небольшая глубина и достаточно высокая прозрачность должны были способствовать активной колонизации как погруженного, так и донного субстрата (Сапелко и др., 2008).

На следующем этапе состав диатомовых комплексов в зоне 5 и начало накопления торфа также указывают на развитие малого изолированного озера. Природные условия приближаются к современным (Шаталова и др., 2018).

Основные этапы развития экосистемы озера Б. Молочное. На наиболее раннем этапе в составе донных отложений оз. Б. Молочное присутствует серо-голубая глина, которая сменяется гиттиевой глиной с содержанием органического вещества от 1 до 3% (рис. 55). В диатомовых комплексах зоны ДЗ-1 в этот период доминирует планктонная *Aulacoseira islandica*, обитающая в глубоких олиготрофных водоемах Северо-Запада, также характерная для отложений пресноводных балтийских палеобассейнов – Балтийского ледникового озера и Анцилового озера (Александровский и др., 2009). Присутствие других видов, типичных для осадков анцилового бассейна, таких как *Cocconeis disculus*, *Navicula jentzschii*, *N. scutelloides*, *Diploneis mauleri*, *Ellerbeckia arenaria* (Hedenström et al., 1999) говорит о раннеголоценовом возрасте отложений данного этапа. Преобладание планктонной *Aulacoseira islandica*, а также низкое содержание органического вещества свидетельствует об осадконакоплении в достаточно глубоководных условиях анцилового бассейна. Накопление гиттиевой глины указывает на обстановки крупного низкопродуктивного водоема (Шаталова и др., 2021).

На следующем этапе, соответствующем ДЗ-2, в донных отложениях озера Б. Молочное увеличивается содержание органического вещества до 25%, происходит переход от глинистой гиттии к переслаиванию гиттии и глинистой

гиттии и далее к оливковой гиттии. Изменение условий осадконакопления находит отражение в составе диатомовых комплексов. Резкое сокращение численности планктонной *Aulacoseira islandica*, снижение содержания «анциловых» видов и возрастание численности обрастателей *Fragilaria* spp. указывают на уменьшение уровня воды в водоеме и изоляции от Анцилового озера (Шаталова и др., 2021). Подтверждением данного факта является резкое увеличение содержания минерального вещества на глубине 8,73 м по данным геохимического анализа (Si, Fe, Al, K, Ca, Ti). Изоляция котловины озера Б. Молочное от Анцилового озера по данным радиоуглеродный анализ определяется периодом **7420 – 7260 кал. л. н.**, что примерно на 1200 кал. л. н. позже, чем в оз. Голубое. Появление в составе диатомовых комплексов галофилов *Cyclotella schumannii* и *Cyclotella radiosa* (последняя достигает численности до 8% от общего количества видов), очевидно, не является основанием для заключения о повышении солености в этот период. Оба вида являются довольно характерными видами в планктоне Ладожского и Онежского озер, а также в отложениях малых изолированных озер Карельского перешейка (Лудикова, 2015). На основании вышесказанного *C. schumannii* и *C. radiosa* были исключены из общей суммы галофилов (Шаталова и др., 2021). Несмотря на их способность существовать в соленых условиях, они могут развиваться и в пресных водах. Незначительное увеличение ИФР может говорить о возрастании видового разнообразия диатомовых водорослей в результате увеличения доступности бентосных местообитаний в условиях мелководного водоема (Шаталова и др., 2021).

На следующем этапе происходит дальнейшее повышение трофического статуса водоема, о чем свидетельствует увеличение доли органического вещества и доли эвтрофной *Aulacoseira ambigua* в ДЗ-3. Мелководные условия благоприятствовали массовому развитию обрастателей *Fragilaria* spp. На дне озера в этот период накапливается гиттия, что также позволяет говорить об обстановках небольшого высокопродуктивного водоема со спокойной гидродинамикой. Выше по разрезу практически исчезают галофильные виды

диатомей. Вероятнее всего, на этом этапе озеро продолжает развиваться изолированно, не имея соединения с водами Балтийского моря (Шаталова и др., 2021).

Отмечаемое в следующей диатомовой зоне ДЗ4 увеличение численности планктонных диатомей рода *Aulacoseira* (*A. ambigua*, *A. granulata*, *A. lacustris*) и параллельное сокращение численности обрастателей *Fragilaria* spp., свидетельствует о повышении уровня воды в озере (Шаталова и др., 2021). Накопление бурой гиттии в донных осадках говорит о том, что продолжается развитие малого изолированного озера.

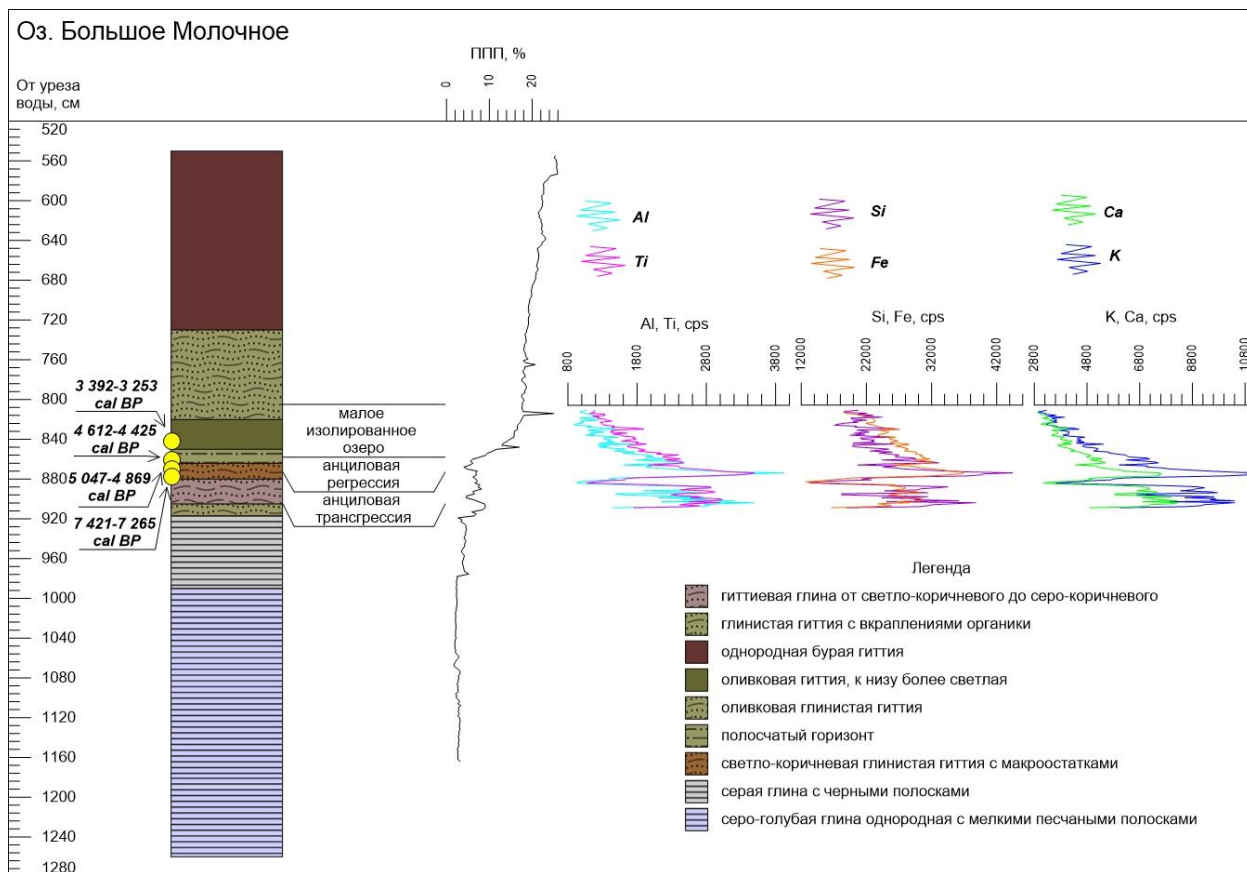


Рис. 55. Разрез донных отложений оз. Б. Молочное (высота над у.м. 9м).

Основные этапы развития экосистемы озера Зайчихинское. В основании изученного разреза донных отложений оз.Зайчихинское (рис. 56) серо-голубая глина сменяется глинистым алевритом с низким содержанием органического вещества (от 0,8 до 3,4 %). Выше по разрезу наблюдается чередование отложений зеленовато-коричневых прослоек гиттиевой глины и

глинистой гиттии и незначительное увеличение доли органического вещества (до 3 – 9%). На раннем этапе развития озера Зайчихинское наблюдается приток терригенного материала на 5,67 м, а также в диапазоне 5,49 – 5,40 м. Диатомовые водоросли в этом интервале, который соответствует ДЗ-1, характеризуются крайне низким содержанием створок в осадке, что указывает на неблагоприятные условия для их развития. Присутствие таких видов, как *Aulacoseira islandica*, *Navicula scutelloides*, *Navicula jaernefeltii*, *Ellerbeckia arenaria*, *Cymbella sinuata*, указывает на раннеголоценовую стадию развития Балтийского моря – Анцилового озера (Шаталова и др., 2022; Ludikova et al., 2020). Аналогичный состав диатомовых комплексов был обнаружен в озерах Голубое и Большое Молочное, расположенных на Карельском перешейке в 27 км и 45 км к северу от озера Зайчихинское, соответственно (Шаталова и др., 2021; Ludikova et al., 2020). По данным анализа диатомовых водорослей в донных отложениях оз. Голубое была выявлена стадия анциловой трансгрессии, которая датируется 10100 – 9700 кал. л. н. (Шаталова и др., 2022; Ludikova et al., 2020). В отложениях Нижнеосиновского болота, расположенного в 16 км к востоку от оз. Голубое на высоте 23 м, возраст анциловых отложений составил около 9200 кал. л. н. Невысокое содержание планктонных диатомовых водорослей в оз. Зайчихинское указывает на относительно небольшую глубину озера в этот период (Шаталова и др., 2022).

Следующий этап развития озера Зайчихинское характеризуется преобладанием однородной гиттии, а также значительным увеличением содержания диатомовых водорослей и ИФР (с 0,03 до 0,07). Поскольку на этом этапе суммарный процент анциловых видов варьирует от 38 до 53%, можно утверждать, что отложения формировались в условиях анциловой трансгрессии. Увеличение общего содержания диатомовых водорослей и ИФР, вероятно, отражает улучшение климатических условий и свидетельствует об ослаблении влияния Анцилового озера в связи с его дальнейшей регрессией и установлением озерного органонакопления в малом водоеме, регрессия произошла ок. **10400 кал. л. н.** Увеличение количества

обрастателей в донных отложениях можно объяснить относительно небольшой глубиной озера, что дало возможность эпифитам более активно развиваться (Шаталова и др., 2022).

Выше по разрезу ДО оз. Зайчихинское, соответствующем ДЗ-3, залегает однородная темно-оливковая гиттия. В составе диатомовых сообществ наблюдается исчезновение "анциловых видов", что указывает на изоляцию озера Зайчихинское от Анцилового озера в связи с понижением уровня последнего (под воздействием эвстатического и изостатического факторов). При этом содержание планктонных диатомей довольно высокое, а именно *Aulacoseira ambigua* и *Aulacoseira granulata* может указывать на повышение уровня трофности в условиях малого изолированного водоема, богатого питательными веществами (Шаталова и др., 2022). В этой зоне не было отмечено ни морских, ни солоноватоводных видов, которые бы указывали на непосредственное проявление литориновой трансгрессии. Доля выделенных галофилов крайне мала, скорее всего, осолонения вод озера не было даже в незначительной мере. В этой зоне доля галофилов снизилась до самых низких значений по всему разрезу ДО.

В донных отложениях оз. Голубое встречены такие галофильные виды, как *Epithemia sorex*, *Navicula tuscula*, *Mastogloia smithii*, *Navicula cari* (Ludikova et al., 2020). В донных отложениях оз. Б. Молочное этот период характеризуется появлением *Cyclotella radiosa*, *Epithemia sorex*, *Navicula cari*, *Fragilaria pinnata*, *Cyclotella schumannii*, однако численность отдельных видов составляет не более 5% от общего числа (Шаталова и др., 2022). Можно предположить, что в это время активизировался сток в озеро Зайчихинское из озера Пионерского, расположенного менее чем в 1 км к юго-востоку, что могло способствовать подъему уровня озера. В отличие от озера Зайчихинское, расположенного на отметке 13 м, в разрезе отложений болота Хайри, близи г. Выборга отчетливо прослеживались 2 стадии литориновой трансгрессии (Клейменова и др., 1988). В районе озера Высокинского, которое также, как и Зайчихинское, расположено в западной части Карельского

перешейка, береговая линия литоринового моря была отмечена на уровне 12 – 13 м (Miettinen et al., 2007), что соответствует абсолютной отметке озера Зайчихинское.

На следующем этапе (ДЗ-4) в озере Зайчихинское происходит накопление темно-коричневой и бурой гиттии, содержание органического вещества не меняется. Диатомовые комплексы в этот период характеризуются преобладанием планктонной *Aulacoseira ambigua*, что свидетельствует об отсутствии в этот период изменений уровня воды в озере и его трофности. *Cyclotella stelligera* начала развиваться в этот период, достигнув в донных отложениях 6% от общего числа видов на верхней границе зоны, являясь одним из субдоминантным видом (Шаталова и др., 2022).

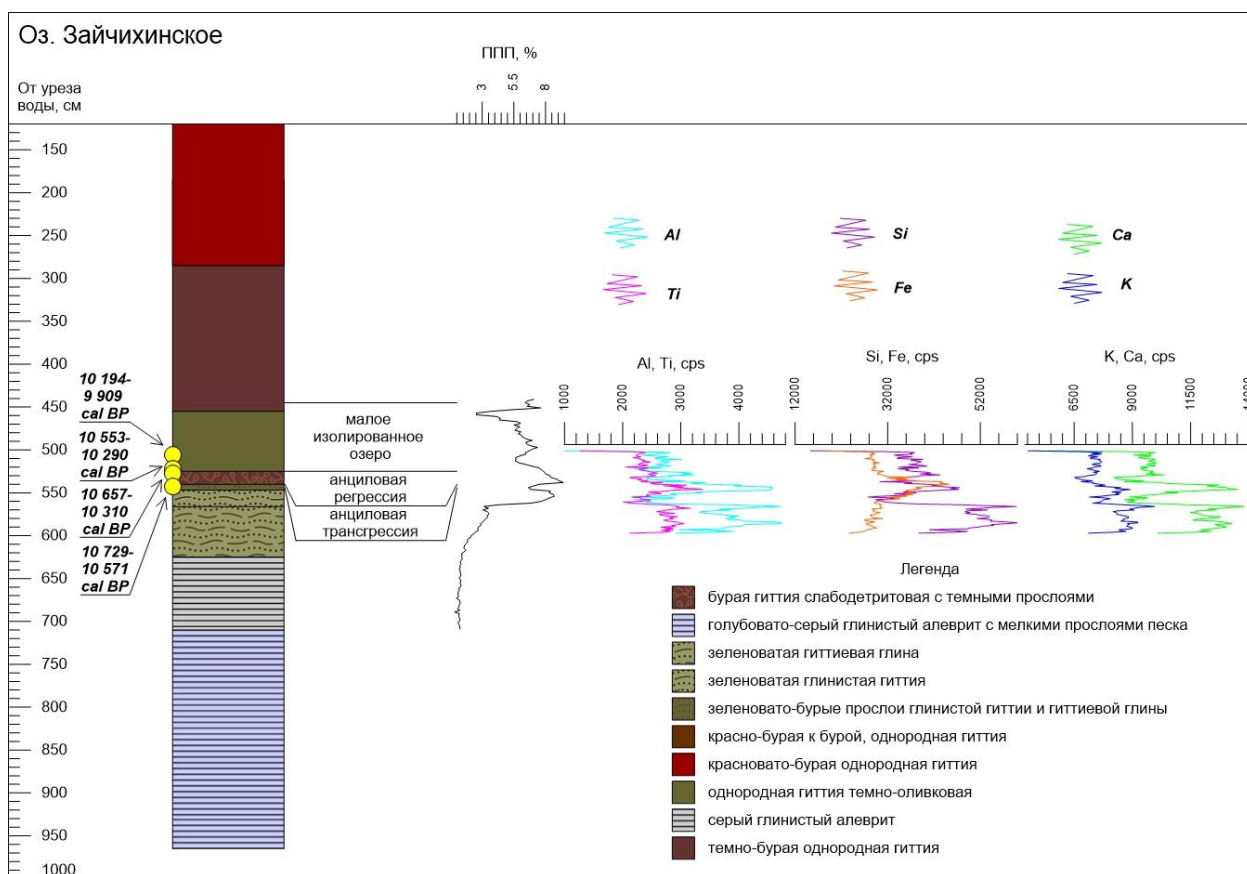


Рис. 56. Разрез донных отложений оз. Зайчихинское (высота над уровнем моря 13 м).

4.2. Реконструкция колебаний уровня Анцилового озера и Литоринового моря в северо-западной части Карельского перешейка

Результаты литологического, диатомового, геохимического анализа и анализа ППП донных отложений озер Голубое, Б. Молочное и Зайчихинское позволили реконструировать основные этапы их развития в первой половине голоцена. По результатам исследования был построен профиль рельефа Карельского перешейка с севера на юг от оз. Б. Молочное до Зайчихинское озера, на котором сопоставлен современный рельеф и стадии развития Балтийского моря в голоцене, нашедшие отражение в донных осадках изученных озер (рис. 57, 58).

В начале голоцена котловины изученных озер являлись частью глубоководного олиготрофного Анцилового озера. На этом этапе в оз. Большое Молочное доля планктонных диатомей в процентном соотношении превышала долю бентоса, в отличие от озер Голубое и Зайчихинское, где наблюдается обратная картина. Это может говорить о более высоком уровне воды в Большое Молочное, учитывая его более низкую абсолютную высоту (9 м) (Шаталова и др., 2022). Высокий уровень воды может быть связан с так называемым Хейнийокским проливом, который соединял в тот же период Ладожское озеро и Анцилово озеро. Видовой состав анциловых диатомей схож во всех трех озерах: *Navicula jentzschii*, *N. scutelloides*, *Ellerbeckia arenaria*, *Navicula jaernefeltii*, *Aulacoseira islandica* (Ludikova et al., 2020) Однако есть некоторые отличия (таблица 5).

На следующем этапе развития изученных озер было зафиксировано сокращение численности «анциловых» диатомей, а также увеличение общей численности диатомовых водорослей, ИФР и доли органического вещества в донных осадках изученных озер. Вероятно, климатические условия улучшались и ослабевало влияние Анцилового озера в связи с его регрессией и установлением органонакопления в малом водоеме. Последующее сокращение численности «анциловых видов» указало на изоляцию озера от Анцилового озера. Резкое увеличение содержания минерального материала в

ДО оз. Б. Молочное на глубине 8,73 м также отражает изоляцию от Анцилового озера (Шаталова и др., 2022). Изоляция от Анцилового озера по результатам диатомового анализа фиксируется в донных отложениях оз. Голубое (8700 кал. л. н.) и Б. Молочное (7300 кал. л. н. – вероятно заниженная дата) как резкая, а в оз. Зайчихинское (10400 кал. л. н.) постепенная (Шаталова и др., 2022).

Таблица 5

Виды диатомовых водорослей, численностью не менее 1%, на разных этапах развития озер Голубое, Б. Молочное и Зайчихинское.

Озера	Этапы развития		
	Анциловое озеро	Литоринное море	Малое изолированное озеро
Голубое	<i>Achnanthes clevei</i> <i>A. joursacence</i> <i>Amphora lybica</i> <i>A.pediculus</i> <i>Aulacoseira ambigua</i> <i>A.islandica</i> <i>A.subarctica</i> <i>Cocconeis disculus</i> <i>C.neodiminuta</i> <i>Cyclostephanos dubius</i> <i>Cyclotella radiosa</i> <i>Diploneis domblittensis</i> <i>D.mauilleri</i> <i>Ellerbeckia arenaria</i> <i>Epithemia adnata</i> <i>E.turgida</i> <i>Fragilaria brevistriata</i> <i>F.construens</i> <i>F.pinnata</i> <i>N.jentzschii</i> <i>N. schoenfeldtii</i> <i>Opephora martyi</i>	<i>Achnanthes minutissima</i> <i>Amphora lybica</i> <i>A.ovalis</i> <i>A.pediculus</i> <i>Aulacoseira ambigua</i> <i>A.granulata</i> <i>A.islandica</i> <i>Cocconeis placentula</i> <i>C.placentula var.euglypta</i> <i>Cyclostephanos dubius</i> <i>Cyclotella meneghiniana</i> <i>C.radiosa</i> <i>Epithemia adnata</i> <i>Fragilaria brevistriata</i> <i>F.construens</i> <i>F.construens var. venter</i> <i>F.exigua</i> <i>F.pinnata</i> <i>N.cari</i> <i>Rhoicospenia abbreviata</i>	<i>Achnanthes lanceolata var. rostrata</i> <i>Amphora lybica</i> <i>Aulacoseira ambigua</i> <i>A.granulata</i> <i>A.islandica</i> <i>A.subarctica</i> <i>Cyclostephanos dubius</i> <i>Cyclotella pseudostelligera</i> <i>Cyclotella radiosa</i> <i>Epithemia adnata</i> <i>Fragilaria brevistriata</i> <i>F.construens</i> <i>F.construens var. binodis</i> <i>F.construens var. venter</i> <i>F.exigua</i> <i>F.pinnata</i> <i>Navicula menisculus</i>
Б. Молочное	<i>Achnanthes clevei</i> <i>Achnanthes lanceolata</i> <i>Amphora lybica</i> <i>A. pediculus</i> <i>Aulacoseira ambigua</i> <i>Aulacoseira islandica</i> <i>Cocconeis disculus</i> <i>Cyclotella radiosa</i> <i>Cymbella sinuata</i> <i>Epithemia sorex</i> <i>Fragilaria leptostauron</i> <i>Gyrosigma accuminatum</i> <i>G.attenuatum</i> <i>Navicula aboensis</i> <i>N.cari</i>	-	<i>Achnanthes lanceolata</i> <i>A.lanceolata var. rostrata</i> <i>Aulacoseira ambigua</i> <i>A. crassipunctata</i> <i>A.granulata</i> <i>A. islandica</i> <i>A.lacustris</i> <i>A.lirata</i> <i>A.subarctica</i> <i>A.valida</i> <i>Cyclostephanos dubius</i> <i>Cyclotella radiosa</i> <i>C.stelligera</i> <i>Diploneis elliptica</i> <i>Fragilaria brevistriata</i>

	<i>N.jentzschii</i> <i>N.scutelloides</i> <i>Stephanodiscusmedius</i>		<i>F. construens</i> <i>F.construens var. binodis</i> <i>F.construens var. venter</i> <i>F.exigua</i> <i>F.leptostauron</i> <i>F.pinnata</i> <i>Frustulia rhomboides</i> <i>Navicula pseudoscutiformis</i> <i>N.seminulum</i> <i>Tabellaria fenestrata</i>
Зайчихинское	<i>Achnanthes clevei</i> <i>A. lanceolata var. rostrata</i> <i>A. lanceolata ssp</i> <i>frequentissima</i> <i>A. oestrupii</i> <i>Amphora lybica</i> <i>A.ovalis</i> <i>A.pediculus</i> <i>Aulacoseira ambigua</i> <i>A.granulata</i> <i>A. islandica</i> <i>Cocconeis disculus</i> <i>Cyclotella radiosa</i> <i>C.stelligera</i> <i>Cymbella sinuata</i> <i>Didimosphenia geminata</i> <i>Ellerbeckia arenaria</i> <i>Epithemia adnata</i> <i>E.turgida</i> <i>Fragilaria brevistriata</i> <i>F. construens</i> <i>F.construens var. binodis</i> <i>F.construens var. venter</i> <i>F.leptostauron</i> <i>F.pinnata</i> <i>Gyrosigma attenuatum</i> <i>N jaernefeltii</i> <i>N.lacustris</i> <i>N.scutelloides</i>	-	<i>A. lanceolata ssp frequentissima</i> <i>Amphora lybica</i> <i>Aulacoseira ambigua</i> <i>A.granulata</i> <i>A. islandica</i> <i>A.subarctica</i> <i>Cyclotella .stelligera</i> <i>Eunotia rhomboides</i> <i>Fragilaria brevistriata</i> <i>F. construens</i> <i>F.construens var. venter</i> <i>F.pinnata</i> <i>Stephanodiscus medius</i> <i>Tabellaria flocculosa</i>

После изоляции оз. Большое Молочное от Анцилового озера происходит резкое сокращение численности планктонных видов в ДО и увеличение численности бентосных, а в оз. Голубое и Зайчихинское наблюдается обратная картина – сокращение численности бентосных видов в ДО и увеличение численности планктонных (Шаталова и др., 2022).

Анализируя соотношение абсолютных высот и периода регрессии Анцилового озера в изученных озерах, следует отметить, что в среднем Анцилово озеро регрессировало на 1 м за 800 лет. Озеро Высокинское,

находящееся на абс. высоте 12 м и освободившееся от анцилового бассейна не позднее 9500 кал. л. н., подтверждает эту скорость, т.к. озеро Голубое расположено ниже Высокинского на 1 м и освободилось позже на 800 лет. При этом результат радиоуглеродного датирования ДО озера Б. Молочное (7300 кал. л. н.) следует подвергнуть сомнению, поскольку в это же время определена литориновая трансгрессия для озера Голубое. Примечательно, что в озере Глухом, расположенном на той же абсолютной отметке, что и оз. Б. Молочное (9 м), анциловая регрессия датируется ок. 10200 кал. л. н. в самом её начале. В это же время от Анцилового озера освободилась территория современного Нижнеосиновского болота (23 м над уровнем моря).

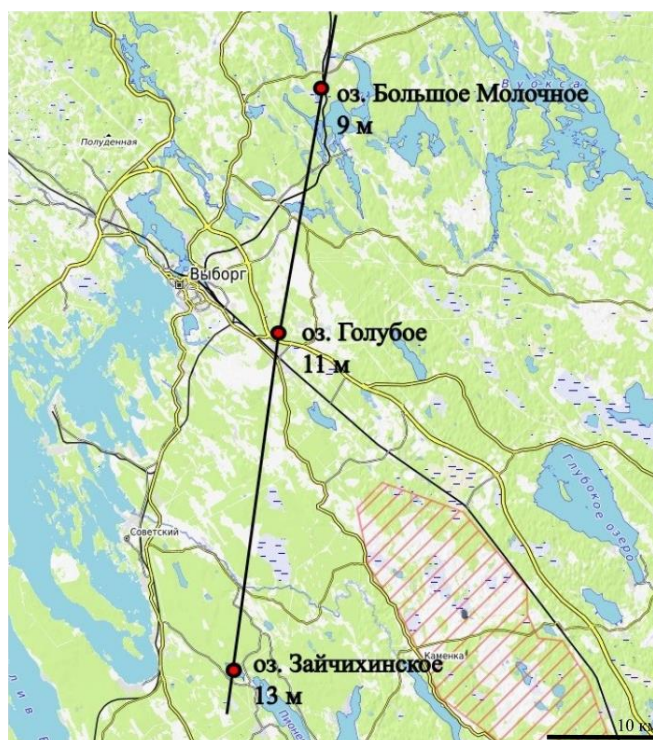


Рис. 57. Карта изученных объектов с выделенной линией профиля.

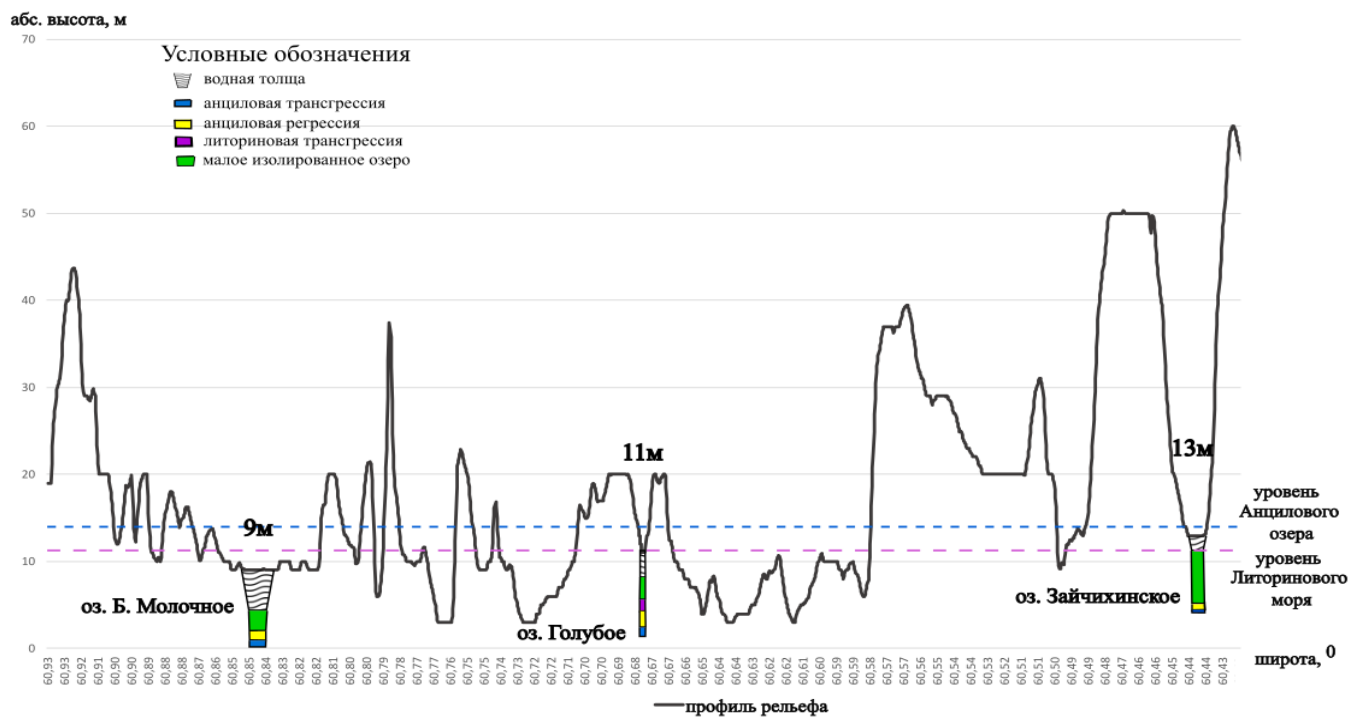


Рис. 58. Профиль рельефа изученного района с севера на юг. Розовая пунктирная линия – уровень, который превышало Литориновое море на северо-западе Карельского перешейка по результатам текущего исследования (11м). Синяя пунктирная линия – уровень, который превышало Анцилового озера на северо-западе Карельского перешейка по результатам текущего исследования (13м).

На следующем этапе развития водоемов преобладание в составе диатомовых комплексов видов, индифферентных по отношению к солености, и высокая доля галофобов при практически полном отсутствии галофилов, не позволяют говорить о непосредственном проявлении литориновой трансгрессии в изученной части разреза донных отложений оз. Большое Молочное. В донных отложениях оз. Голубое (11 м) литориновая трансгрессия также не нашла существенного проявления в составе диатомовых комплексов по сравнению с результатами изучения прибрежной части Карельского перешейка (Клейменова и др., 1988; Miettinen et al., 2007). В оз. Голубое в этот период появляются пресноводные диатомеи (*Epithemia sorex*, *Navicula*

tuscula, *Mastogloia smithii*, *Navicula cari*), способные развиваться в условиях небольшого повышения солености в этот период (начало литориновой трансгрессии датируется **7500 кал. л. н.**) (Шаталова и др., 2021; Ludikova et al., 2020; Van Dam H. et al., 1994). При этом суммарная доля галофилов остается сравнительно невысокой на фоне доминирования видов-индифферентов (Шаталова и др., 2021). Однако в ДО озера Голубое доля галофильных диатомовых от общего количества видов больше, чем в ДО озер Молочное и Зайчихинское. Геохимический анализ ДО показал, что для начала литориновой трансгрессии, фиксируемой в ДО озера Голубое, наблюдается резкое сокращение содержания минерального вещества. Содержание галофилов в донных отложениях оз. Зайчихинское в этот период самое низкое по разрезу. Во время литориновой трансгрессии воды моря не повлияли на экосистему озера Зайчихинское даже в незначительной степени, поскольку не было отмечено ни морских, ни солоноватоводных видов диатомей, которые бы указывали на непосредственное проявление литориновой трансгрессии. Видовой состав солоноватоводных диатомовых схож во всех изученных объектах: *Epithemia sorex*, *Navicula cari*, *Cyclotella radiosa*, *Fragilaria pinnata* (Шаталова и др., 2022). По результатам диатомового анализа и полученных датировок для ДО изученных озер была построена кривая изменения уровня моря в голоцене для западной части Карельского перешейка (рис. 59).

Согласно реконструкции, выполненной А. Миеттиненом с соавторами (Miettinen et al., 2007) уровень Литоринового моря в районе оз. Голубое превышал 15 м. Однако результаты диатомового анализа отложений оз. Голубое показали, что озеро лишь в незначительной степени подверглось влиянию соленых вод. По-видимому, система гряд и холмов, окружающих котловину озера, препятствовала прямому поступлению в нее морских вод литориновой трансгрессии. В то же время нельзя исключать, что уровень трансгрессии в период ее максимума лишь незначительно превышал порог стока озера (Ludikova et al., 2020).

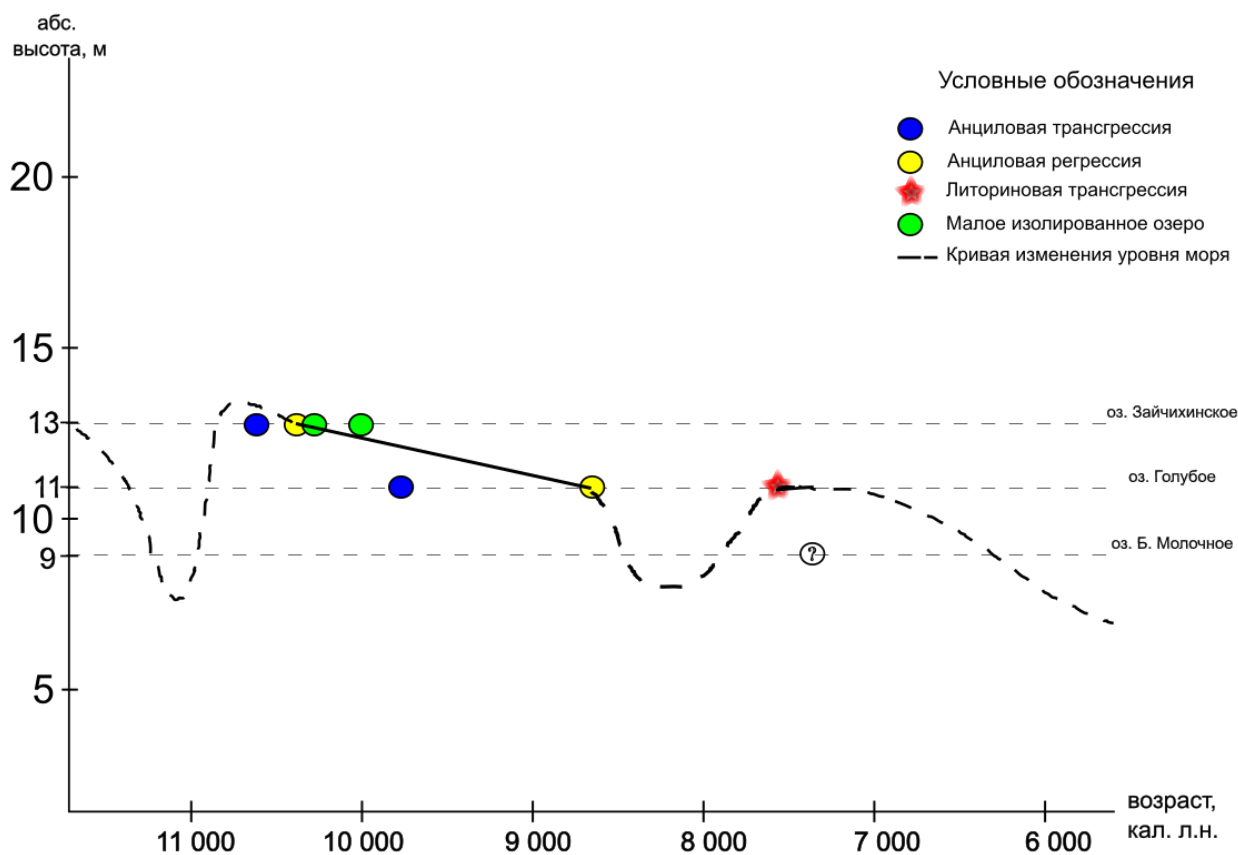


Рис. 59. Кривая изменения уровня Балтийского моря в голоцене по результатам исследования донных отложений озер Голубое, Б. Молочное и Зайчихинское.

Аналогично как и для озера Голубое, опосредованное проявление литориновой трансгрессии в составе диатомовых комплексов было зафиксировано в ДО оз. Глухого, расположенном в южной части Карельского перешейка на абсолютной отметке 9 м над у.м. Уровень Литоринового моря здесь не превышал современную отметку озера, однако, его близкое расположение к береговой линии способствовало массовому развитию в его котловине бентосной диатомеи *Nitzschia scalaris*, вида, характерного для осолоненных высокотрофных прибрежных водоемов (Шаталова и др., 2022; Miettinen et al., 2007). Озеро Б. Молочное, находящееся севернее от оз. Голубое и ниже его на 2 м, содержит существенно меньше створок диатомовых водорослей, способных переносить повышение минерализации. Данный факт может быть связан с тем, что оз. Б. Молочное находится в непосредственной близости от Хейнийокского пролива, соединявшего в то время между собой Ладожское озеро и Балтику, тем самым озеро могло подвергаться

существенному распреснению со стороны ладожскими пресными водами, что фиксируется наличием таких видов диатомей как *A. islandica*, *C. schumannii*, *N. aboensis*, *N. jentzschii*, *S. medius*. Поскольку основной причиной прекращения существования Хейниокского пролива является компенсационное изостатическое поднятие земной коры (Kuznetsov et al., 2022), можно предположить, что во время литориновой трансгрессии территория севера Карельского перешейка была ниже, поэтому могла подвергаться влиянию как балтийских, так и ладожских вод. Поэтому нельзя говорить о видимом влиянии Литоринового моря на котловину оз. Б. Молочное (Шаталова, 2023). Чтобы говорить о влиянии ладожских вод, необходимо получить полную характеристику состава диатомовых комплексов, подробно изучив динамику содержания видов выше по разрезу (Лудикова, 2015). Вопрос соединения Балтийского моря и Ладожского озера в голоцене является актуальным, и необходимо более подробно рассматривать Балтику и Ладогу как единую систему, поскольку даже при обособленном развитии Ладожского озера изменение уровня Балтийского бассейна оказывает существенное влияние на уровень Ладожского озера (Sapelko et al., 2023; Лудикова, 2015; Kuznetsov et al., 2022; Amantov, Amantova, 2020).

Для района Блекинге в юго-восточной Швеции Б. Берглундом были определены шесть трансгрессивных фаз литоринового моря (Berglund et al., 1994): LI (6,4 м, 6600 кал. л. н.), LII (6,7 м, 6100 кал. л. н.), LIII (7,5 м, 5600 кал. л. н.), LIV (7,6 м, 5300 кал. л. н.), LV (5,7 м, 4700 кал. л. н.), LVI (5,3 м, 3900 кал. л. н.). В Кондратьево и Хайри (вблизи Выборга), где на долю солоноватоводных видов приходится 70% от общего количества диатомовых водорослей (Клейменова, 1975), осадки Литоринового моря были найдены на отметках 17.9 – 18,6 м и 15.6 – 16.8 м соответственно (Клейменова, 1988). При изучении рельефа и четвертичных отложений на левом берегу Черной речки (Карельский перешеек), были выделены 4 литориновые террасы, которые находились на отметках 1,5 м, 4,0 м, 8.0 – 9.0 м и 13.0 – 14.0 м (Знаменская, 1980), что хорошо согласуется с исследованием Е. Хюппя (Нуурра, 1932;

1937), который также определил 4 фазы литориновой трансгрессии для территории Карельского перешейка, среди которых максимальный уровень трансгрессии достигал отметок 19,5 – 20 м к северу от г. Выборга, 17 м около пос. Попово южнее г. Выборга и 12 – 16 м около дер. Лужки (Шаталова, 2023). Однако работы, выполненные в рамках настоящего исследования, указывают на более низкий уровень литориновой трансгрессии: озеро Зайчихинское (13 м над у.м.), находящееся в 20 км от дер. Лужки, не затоплялось водами литоринового моря (Шаталова и др., 2022; Шаталова, 2023). По результатам исследования оз. Голубое, находящегося в 4 км от г. Выборга, литориновая трансгрессия не превышала отметку 11 м. Исследование озера Б. Молочное, показало только косвенное проникновение соленых вод Литоринового моря, о чем свидетельствует отсутствие солоноватоводной флоры диатомовых водорослей в донных отложениях. Это же подтверждается данными погребенного археологического памятника Озерное-3, расположенного на высоте ок. 16,5 м над уровнем моря, примерно в 12 км к северо-востоку от Выборга (Сапелко и др., 2008; 2018). Одна фаза литориновой трансгрессии на Карельском перешейке зафиксирована на таких объектах как болото Суурсуо, Высокинское озеро, Приветнинское болото и озеро Сестрорецкий разлив (Miettinen et al., 2007; Клейменова, 1975; Давыдова, 1984).

В оз. Бабинское, Хабаловское, Глубокое и Леший (Нарво-Лужская низменность) было зафиксировано присутствие солоноватоводной диатомовой флоры (Rosentau et al., 2013; Sandgren et al., 2004). По результатам диатомового и геохимического анализов озер Леший (7,6 м) и Бабинское (6,9 м) зафиксированы 2 волны литориновой трансгрессии. Относительно медленная волна трансгрессии определена между 8500 и 7800 кал. л. н. и сравнительно быстрая между 7800 и 7600 кал. л. н. После 7300 кал. л. н. произошло относительное падение уровня моря.

В соответствии с диатомовыми и радиоуглеродными данными из водосбора озера Глубокое кульминация литориновой трансгрессии произошла между 7700 и 6900 кал. л. н. (Шаталова, 2023), и максимальный уровень

литориновой трансгрессии в Нарво-Лужской низменности определен на отметке 9,2 м (Rosentau et al., 2013; Sandgren et al., 2004) (рис. 60).

В районе р. Нарвы стратиграфические исследования выявили три незначительные трансгрессии с максимумом около 10 м над уровнем моря (Lerpland et al., 1996). Основной причиной, по которым на этой территории были обнаружены незначительные волны трансгрессии, по-видимому, является низкая скорость изостазии, не преобладающая над эвстатическими поднятиями (Sandgren et al., 2004).

После литоринового этапа в ДО фиксируется накопление темно-коричневой гиттии, увеличивается доля органического вещества, озера начинают развиваться обособленно от моря. В озерах Голубое и Большое Молочное продолжает увеличиваться в ДО доля бентосных видов, а в ДО оз. Зайчихинское увеличивается доля планктонных видов, что может быть связано с возможным открытием канала стока из оз. Пионерского. В ДО озер Голубое и Большое Молочное галофильные виды полностью не исчезают из состава диатомовых комплексов, однако численность отдельного вида не превышает 4% от общего числа видов (Шаталова и др., 2022).

По полученным данным в исследовании донных отложений озер Голубое, Б. Молочное и Зайчихинское были идентифицированы анциловая и литориновая трансгрессии Балтийского моря (Таблица 6). Следы анциловой трансгрессии присутствуют в донных осадках всех изученных озер и подтверждаются результатами диатомового анализа (*Aulacoseira islandica*, *Ellerbeckia arenaria*, *Navicula jentzschii*, *N. jaernefeltii*, *N. scutelloides*). Содержание солоноватоводных видов (до 18%) (*Epithemia sorex*, *Cyclotella radiosa*, *Fragilaria pinnata*, *Mastogloia smithii*, *N. cari*, *N. tuscula*) в ДЗ-3 озера Голубое позволяет определить литориновую трансгрессию примерно 7500 кал. л. н.

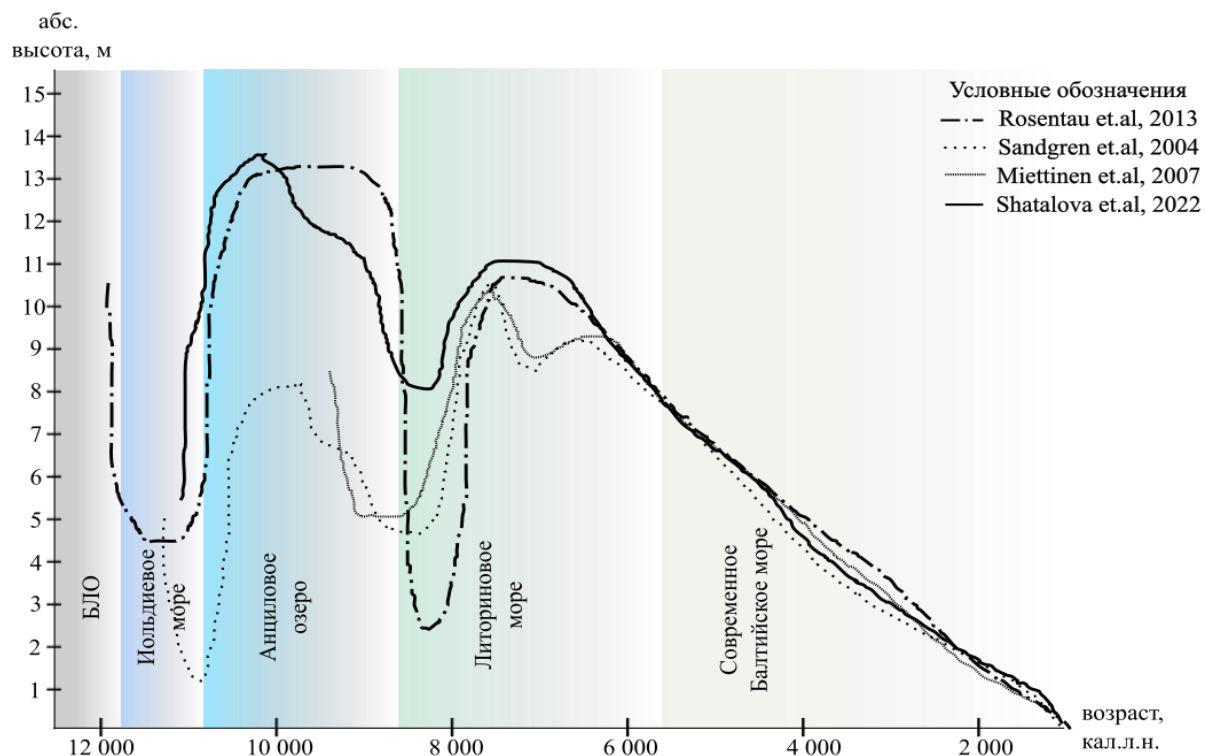
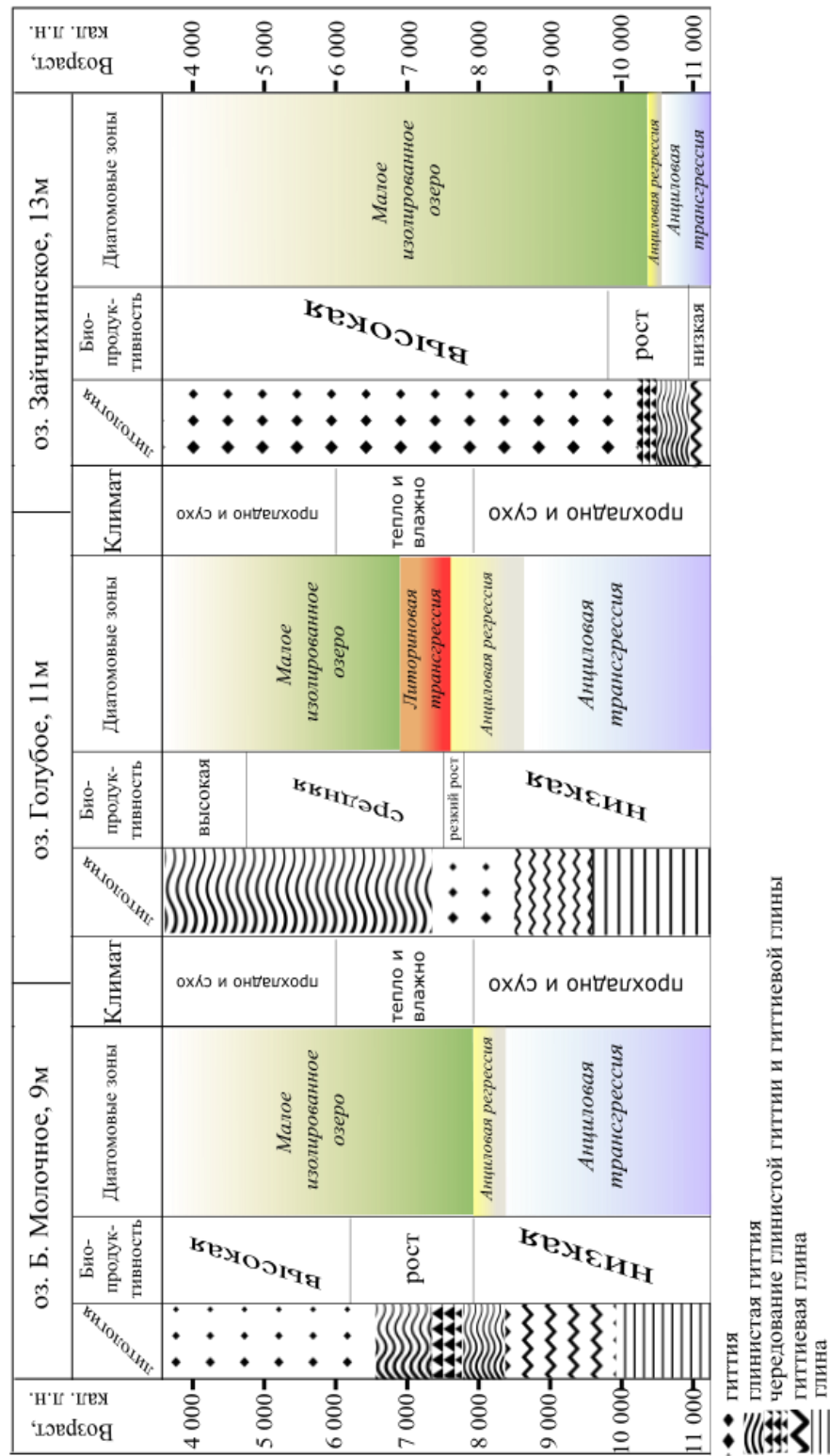


Рис. 60. Сравнительная кривая изменения уровня Балтийского моря.

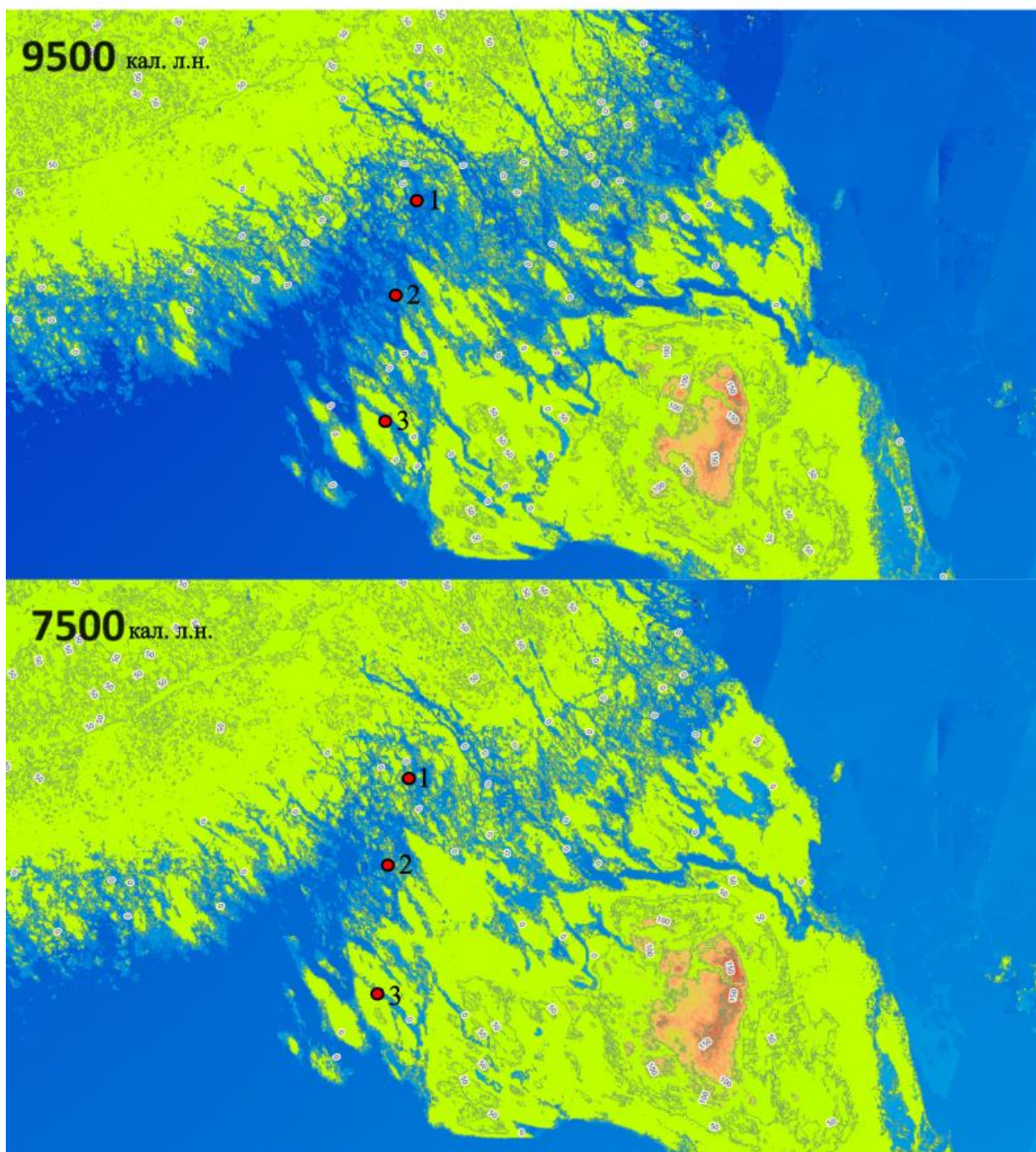
Таблица 6 — Палеогеографические события изученных озер на временной шкале.



На основе базы данных «Изменения уровня крупных водных объектов периферии Фенноскандинавского щита в позднем плейстоцене и голоцене "Paleobasins"» № 2022623647 от 23 декабря 2022 г. была построена реконструкция уровня Балтийского моря в голоцене на Карельском перешейке и южном берегу Финского залива (рис. 61, 62, 63). Реконструирована береговая линия Балтийского моря в западной части Карельского перешейка на этапе существования Анцилового озера (9500 кал. л. н.), максимального уровня Литоринового моря (7500 кал. л. н.) и современного Балтийского моря в период 6500 кал. л. н. и 5500 кал. л. н. На этапе существования Анцилового озера 9500 кал. л. н. озеро Зайчихинское уже развивалось изолировано, в то время как расположенные на более низких абсолютных отметках озера Голубое на 2 м и Б. Молочное на 4 м, все еще являлись частью Анцилового озера. Обширные территории Карельского перешейка, ниже 13 м (практически вся северная часть Карельского перешейка), находились под водой, образуя соединение (широкий пролив) Анцилового озера и Ладожского озера – Хейнийокский пролив. Ко времени максимума литориновой трансгрессии (7500 кал. л. н.) территория Карельского перешейка поднялась примерно на 6 – 8 м за 2 тыс. лет (Васенин, 2012). В это время воды литоринового моря проникают в котловину оз. Голубое и незначительно затрагивают котловину оз. Б. Молочное. Как заметно на рисунке 61 и 63, оз. Б. Молочное, вероятно, могло соединяться как с Литориновым морем, так и с Ладожским озером. После 7500 кал. л. н. отступает Литориновое море, и в течение периода 6500 – 5500 кал. л. н. заметно поднимается территория Карельского перешейка, примерно на 5 м, в сравнении с 7500 кал. л. н.

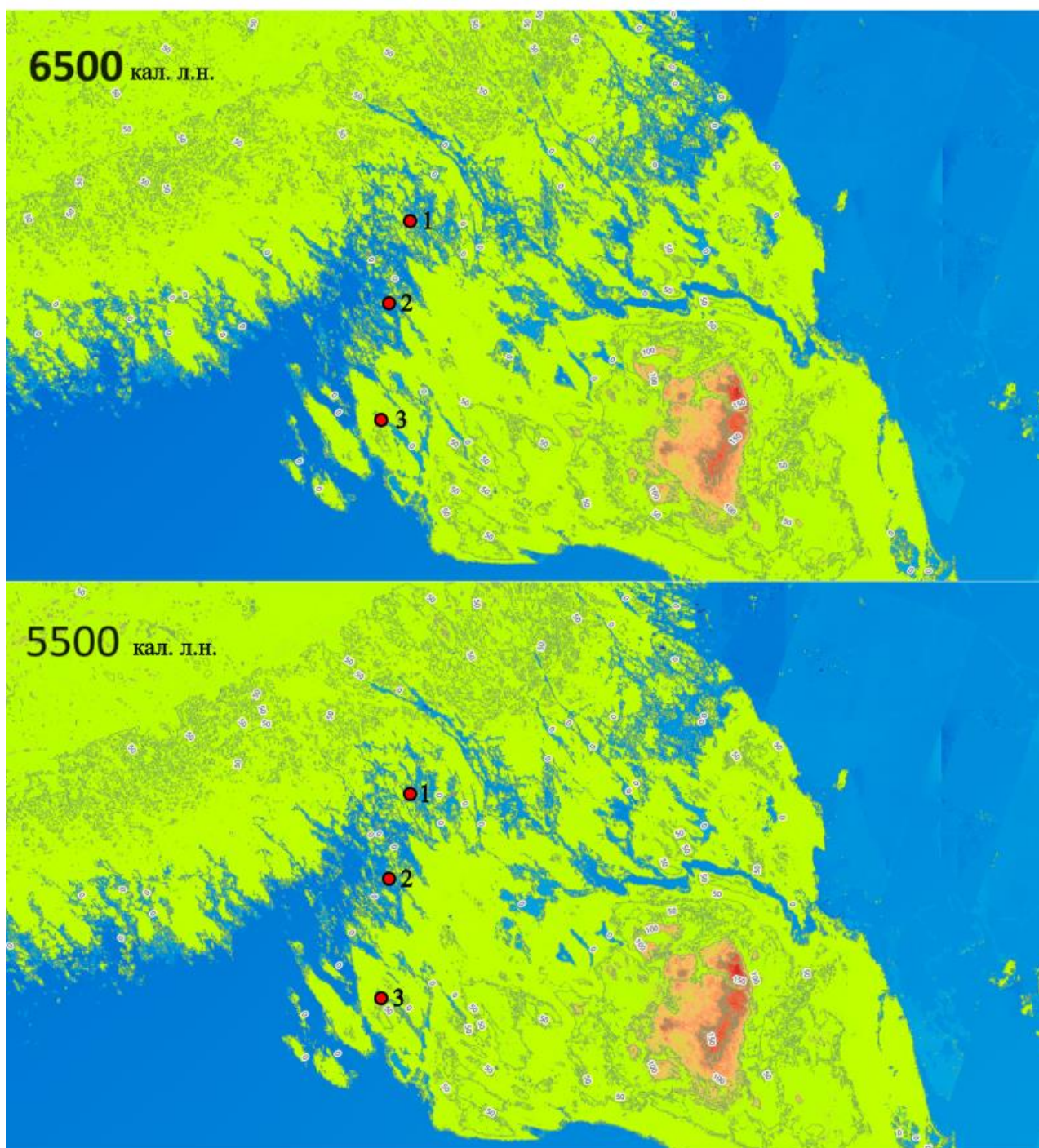
Приведенная ниже реконструкция согласуется с реконструкцией Амантова А.В. (Amantov, Amantova, 2020). В 3-D реконструкциях Балтийского и Ладожского региона автором применяются современные методики моделирования изостатических движений, основанные на данных геолого-геоморфологического контроля с региональными уточнениями реологических параметров Земли, таких как вязкость мантии (Amantov, Fjeldskaar, 2013;

Amantov, Amantova, 2017; 2020). Согласно реконструкциям, выполненным Амантовым А.В., вследствие значительного изостатического перекоса Хейнийокский пролив мог находиться несколько севернее известного в районе пос. Вещево, либо (на отдельных участках) - еще ближе к границе внешнего моренного пояса Сальпаусселька (Amantov, Amantova, 2020). Следовательно, гипотеза о влиянии Хейнийокского пролива на котловину озера Б. Молочное, находящегося в 18 км к северо-западу от пос. Вещево, вполне приемлема и требует дальнейших уточнений. Реконструкция Rosentau et al. (2021) охватывает Балтийское море и его водосбор по данным 1099 опорных датировок Базы данных (Rosentau et al., 2021; Lambeck et al., 1998 Andren et al., 2011; Eronen et al., 2001; Rosentau et al., 2012). Автор рассматривает изменение уровня Балтийского моря в разных частях исследуемого региона и подтверждает неравномерную и асинхронную динамику уровня, поскольку одновременно в разных частях Балтики установлены положительные и отрицательные тенденции в следствие неравномерного изостатического поднятия. На территории Карельского перешейка и южного берега Финского залива Розентау А. отметил изменение от положительной к отрицательной тенденции, т.е. начало отступления моря, после литориновой трансгрессии ок. 7300 кал. л. н. По реконструкции Sandgren et al. (2004) южного берега Финского залива Балтийского моря все изученные авторами озера находились ниже уровня моря в стадию литориновой трансгрессии, которая определена на уровне примерно 10 м (Sandgren et al., 2004).



- 1 оз. Большое Молочное
- 2 оз. Голубое
- 3 оз. Зайчихинское

Рис. 61. Реконструкция береговой линии Балтийского моря в западной части Карельского перешейка на этапе существования Анцилового озера (9500 кал. л. н.) и максимального уровня Литоринового моря (7500 кал. л. н.).



- 1 оз. Большое Молочное
- 2 оз. Голубое
- 3 оз. Зайчихинское

Рис. 62. Реконструкция береговой линии Балтийского моря в западной части Карельского перешейка на этапе существования современного Балтийского моря в период 6500 кал. л. н. и 5500 кал. л. н.

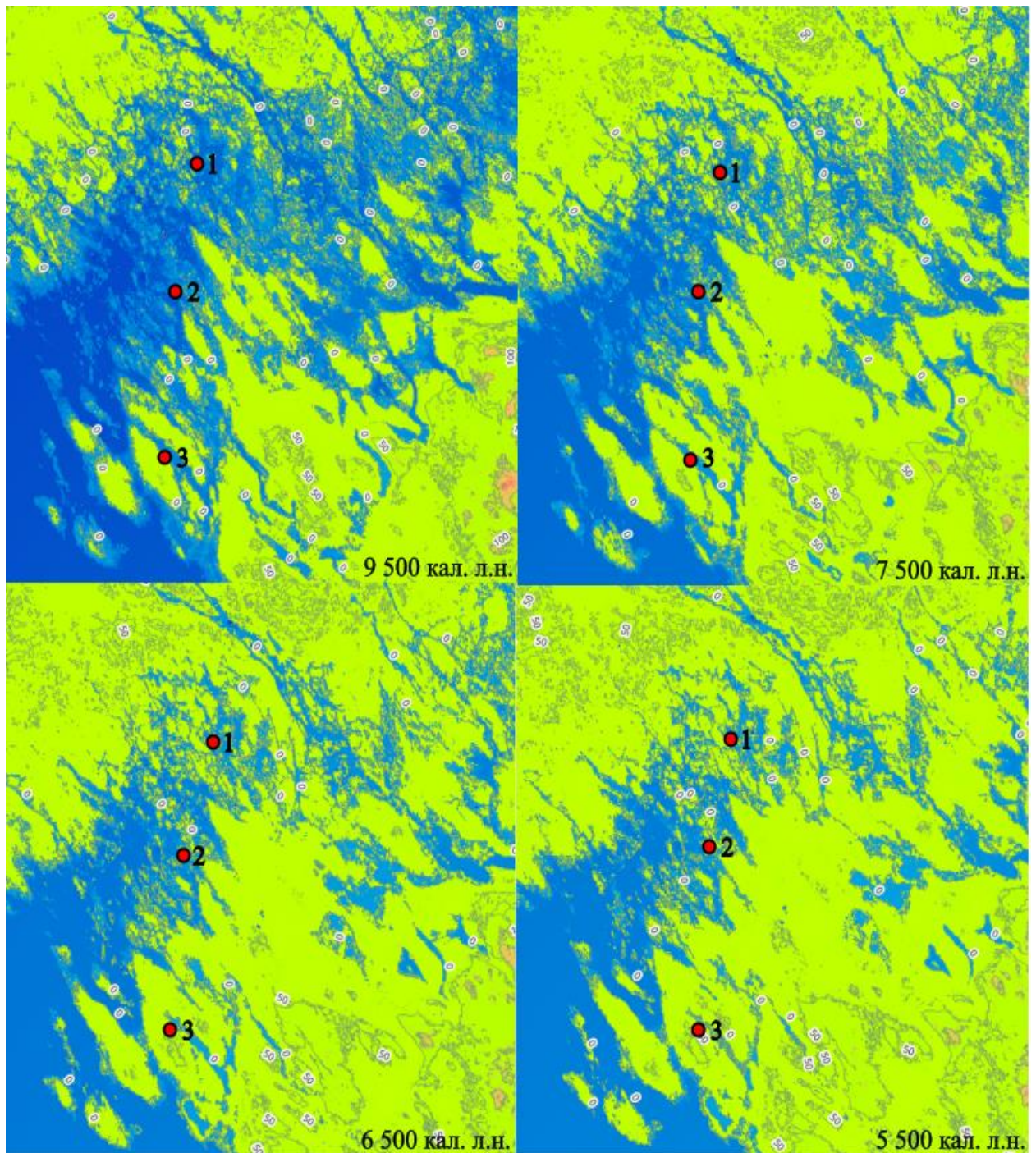


Рис. 63. Реконструкция береговой линии Балтийского моря в западной части Карельского перешейка на этапе существования Анцилового озера (9500 кал. л. н.); максимального уровня Литоринового моря (7500 кал. л. н.); современного Балтийского моря в период 6500 кал. л. н. и 5500 кал. л. н.; где 1 – оз. Большое Молочное, 2 – оз. Голубое, 3 – оз. Зайчихинское.

По результатам исследования разрезов донных отложений определены основные этапы развития озер Голубое, Б. Молочное и Зайчихинское. Установлено, что в начале голоцена их развитие определялось трансгрессивно-регрессивными стадиями Балтийского моря.

В начале голоцена котловины озер были частью глубоководного олиготрофного Анцилового озера. На следующем этапе развития влияние Анцилового бассейна ослабевало в связи с его регрессией и накоплением органического материала в изолированных озерах. Последующее сокращение численности «анциловых видов» по результатам диатомового анализа, увеличение содержания органического вещества в донных отложениях и возрастание поступления минерального материала в озера указывают на изоляцию от Анцилового озера.

После анциловой регрессии примерно 7500 кал. л. н. в составе диатомей озера Голубое появляется значительное количество диатомей, способных существовать в солоноватых водах. На этом основании делается вывод о переходе пресноводного водоема в стадию солоноватоводного бассейна. В отличие от озера Голубое (11 м), где уровень литориновой трансгрессии был ненамного выше его современной отметки, в донных отложениях оз. Зайчихинское (13 м) и оз. Б. Молочное (9 м), видимое влияние литориновых вод не наблюдается. Воды Литоринового моря не повлияли на экосистему озера Зайчихинское даже в незначительной степени, поскольку не было отмечено ни морских, ни солоноватоводных видов, которые бы указывали на непосредственное проявление литориновой трансгрессии. Нетипичный уровень литориновой трансгрессии Карельского перешейка согласуется с результатами исследований Нарвско-Лужской и Приморской низменностей (11 м). Это может говорить о проявлении локальной тектоники на территории Карельского перешейка.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Особенность геологического строения, эрозионно-аккумулятивные процессы в эпоху голоцена и избыточное увлажнение территории являются основными факторами формирования почвенно-растительного покрова и озерно-ледниковых и холмисто-моренных ландшафтов Карельского перешейка. Котловины озер Голубое, Б. Молочное и Зайчихинское приурочены к тектоническим понижениям доледникового рельефа, обработанным ледником.

С целью реконструкции уровня Балтийского моря в голоцене было отобрано и изучено 23 м донных отложений озер Голубое, Б. Молочное и Зайчихинское. По результатам исследования определены основные этапы развития озер Голубое, Б. Молочное и Зайчихинское. Установлено, что на ранних этапах (ранний и средний голоцен) их развитие определялось трансгрессивно-регрессивными стадиями Балтики.

В эпоху голоцена ведущими факторами колебания уровня Балтийского моря являлись изостатическое поднятие и эвстатические изменения уровня Мирового океана, по которым выделены трансгрессивно-регрессивные стадии. На стадии Литоринового моря трансгрессии происходили неравномерно и асинхронно, поэтому установлены различные уровни и количество литориновых трансгрессий.

В начале голоцена котловины озер Голубое, Б. Молочное и Зайчихинское были частью Анцилового озера. На следующем этапе влияние Анцилового бассейна ослабевало в связи с его регрессией. Установилось органонакопление в изолированных бассейнах. Сокращение численности «анциловых видов», увеличение содержания органического вещества в ДО и возрастание поступления минерального материала указали на изоляцию озер от Анцилового озера.

После анциловой регрессии была выделена стадия литориновой трансгрессии в оз. Голубое. Однако литориновая трансгрессия не нашла существенного проявления в составе диатомовых комплексов по сравнению с

другими разрезами прибрежной части Карельского перешейка, т.к. в этот период появляются лишь пресноводные диатомеи, способные развиваться в условиях небольшого повышения солености. В период литориновой трансгрессии оз. Голубое лишь в незначительной степени подверглось влиянию соленых вод, его котловина озера была частью сильно распресненного морского залива. В оз. Б. Молочное и оз. Зайчихинское результаты диатомового анализа не позволяют говорить о непосредственном проявлении литориновой трансгрессии в изученной части разреза донных отложений. Бассейн оз. Б. Молочное не подвергался заметному влиянию литориновых вод, несмотря на его абсолютную высоту (9 м). Предположительно, озеро Б. Молочное могло быть распреснено водами Ладожского озера через Хейнийокский пролив, в следствие чего процентное содержание галофильных диатомовых в этом озере существенно ниже, чем в оз. Голубое.

Таким образом, максимальный уровень анциловой трансгрессии в северо-западной части Карельского перешейка превышал 13 м над у. м. (10700 – 10500 кал. л. н.). Снижение уровня на 2 м происходило в интервале времени 10400 – 8500 кал. л. н. (со средней скоростью 1 м за 800 лет). Максимальный уровень литориновой трансгрессии в северо-западной части Карельского перешейка достигал отметки 11 м (около 7500 кал. л. н.). Нетипичный уровень литориновой трансгрессии Карельского перешейка согласуется с результатами исследований Нарво-Лужской и Приморской низменностей (11 м). Это может говорить о проявлении локальной тектоники на территории Карельского перешейка.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Александровский А.Л., Арсланов Х.А., Давыдова Н.Н. и др. Новые данные относительно трансгрессии Ладожского озера, образования реки Невы и земледельческого освоения Северо-Запада России // Доклады РАН. 2009. Т. 424. №5. – С. 682-687.
2. Атлас Ленинградской области / Т. А. Андреева, Л. С. Банщикова, Ю. В. Дворников [и др.]; главный редактор Д. А. Субетто; редакционная коллегия: Т. А. Андреева [и др.]; Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Российский государственный педагогический университет им. А. И. Герцена", Всероссийская общественная организация "Русское географическое общество". - Санкт-Петербург: Издательство Российского государственного педагогического университета им. А. И. Герцена, 2022. - 111 с.
3. Березкина Г.А., Малясова Е.С., Тарновский А.А., Филенко Р.А. Типы озер Выборгского района и характеристика иловых отложений на примере озер Лопата и Вишневское // Северо-Запад европейской части СССР. Л., Вып.4, 1965, с.133-142.
4. Блажчишин А.И. Палеогеография и эволюция позднечетвертичного осадконакопления в Балтийском море / А.И. Блажчишин // Отв. ред. А. А. Гайгалас. – Калининград: Янтарный сказ, 1998. – 160 с.
5. Буданцева Н.А. Новая периодизация голоцена – применение для территории Российской Арктики // Арктика и Антарктика. 2022. № 2. С. 20–35. DOI: 10.7256/2453-8922.2022.2.38390 EDN: ELRQWA URL: https://nbpublish.com/library_read_article.php?id=38390
6. Васенин В. А. Оценка современных вертикальных движений земной поверхности для целей определения устойчивости исходных пунктов нивелирной сети г. Санкт-Петербурга и определения длительных осадков зданий и сооружений // Развитие городов и геотехническое строительство. – 2012. – № 14. – С. 37–56.

7. Вишневская Е.М., Давыдова Н.Н. История озера Красного (Карельский перешеек) по данным диатомового анализа // История озер Северо-Запада. Л., 1967. С. 161 – 185.
8. Вишневская Е.М., Джиноридзе Р.Н. Диатомеи поздне- и послеледниковых отложений озер Лопата, Глухое и Вуокса (Карельский перешеек) // Стратиграфия и палеогеография четвертичного периода Севера европейской части СССР. - Петрозаводск, 1977. - С. 103-106
9. Давыдова Н.Н. 1984 Сохранение природной экосистемы водоема в урбанизированном ландшафте под ред. Е. А. Стравинской (Ленинград: Наука) стр. 107-12
10. Давыдова Н.Н. Диатомовые водоросли – индикаторы природных условий водоемов в голоцене. – Л.: «Наука», 1985. – 244 с.
11. Давыдова Н.Н., Лудикова А.В. Применение диатомового анализа для изучения антропогенного воздействия на большие озера северо-запада//Экологическое состояние континентальных водоемов Арктической зоны в связи с промышленным освоением северных территорий. Тез. докл. Междунар. конф. Архангельск, 21- 25 июня 2005 г. – СПб, 2005. – С. 27-28
12. Диатомовые водоросли СССР (ископаемые и современные). Т. 1. 1974. Изд-во "Наука", Ленингр. отд., Л. 1-403.
13. Знаменская О. М., Вишневская Е. М., Клейменова Г. И., Малаховский Д. Б. Памятник неживой природы Ленинградской области – обнажение на Черной речке (по палинологическим и диатомовым исследованиям) // Проблемы окружающей среды. Межвузовский сборник ЛГУ. Л., 1980. С. 133–156.
14. Исаченко А. Г. Ландшафтоведение и физико-географическое районирование. – М.: Высшая школа, 1991.
15. Кириллова В. А., Распопов И. М. Озера Ленинградской области // Ленинград: Лениздат, 1971. - 150

16. Клейменова Г.И. 1975 Пыльцевые исследования послеледниковых отложений на участках Лахтинского и Шуваловского торфяников Вестник ЛГУ 12 94-103
17. Клейменова Г.И., Вишневская Е.М., Долуханов П.М., Латышева Н.М. К палеогеографии Северо-Восточного побережья Финского залива в среднем и позднем голоцене // ИВГО. 1988. Т. 120, вып. 4. – С. 302-314.
18. Клейменова Г.И. Палеогеографические аспекты формирования территории Лахтинской котловины и перспективы рекреационного природопользования в Юнтоловском заказнике / Д.В.Севастьянов, Н.Н.Верзилин, Г.И.Клейменова // Вестник СПбГУ, сер. 7. Геология. География, 2013, вып. 3, с. 115-127.
19. Коллектив авторов. Геология СССР. Том 1. Геологическое описание. Ленинградская, Псковская и Новгородская области. - «Недра», М. , 1971, стр. 504.
20. Ксензенко В.И., Стасиневич Д.С. Химия и технология брома, иода и их соединений: Учебное пособие для вузов / - [2-е изд., перераб. и доп.]. - Москва: Химия, 1995. - 431 с. - ISBN 5-7245-0845-1
21. Кузнецов Д.Д. Трансформация палеобассейнов на территории Карельского перешейка в позднем неоплейстоцене и голоцене (по данным изучения донных отложений озер): диссертация ... кандидата географических наук: 25.00.36 / Кузнецов Денис Дмитриевич; [Место защиты: Институт озероведения РАН]. - Санкт-Петербург, 2014. - 141 с.
22. Кузнецов Д.Д., Субетто Д.А., Лудикова А.В. Соединение Ладожского озера с Балтийским морем в позднем голоцене – новые палеолимнологические данные // Доклады Российской академии наук. Науки о Земле. 2022. Т. 506, № 1. С. 111–116.
23. Кузнецов Д.Д. Субетто Д.А. Стратиграфия донных отложений озер Карельского перешейка. М.: ГЕОС, 2019. 120 с.
24. Лудикова А.В. Реконструкции палеогеографических обстановок Карельского перешейка по материалам диатомового анализа // Морфология,

клеточная биология, экология, флористика и история развития диатомовых водорослей: Материалы X Международной научной конференции диатомологов стран СНГ. Минск, 2007. С. 201 – 203.

25. Лудикова А. В. Свидетельства среднеголоценовой трансгрессии Ладожского озера по данным диатомового анализа / А. В. Лудикова // Известия Русского географического общества. - 2015. - Т. 147, вып. 4. - С. 38-51

26. Марков К.К., Порецкий В.С. Послеледниковая история окрестностей Ленинграда // Природа. 1933 № 5–6. – С. 99–103.

27. Марков К.К. Развитие рельефа Северо Западной части Ленинградской области / К. К. Марков. - Москва ; Ленинград : Геол. изд-во, 1931

28. Сакса А.И. Карельский перешеек: формирование природного и историко-географического ландшафта // Археология, этнография и антропология Евразии, №2, 2006, С.35-44.

29. Сапелко Т. В., Лудикова А. В., Кулькова М. А., Кузнецов Д. Д., Герасимов Д. В., Субетто Д. А. Реконструкция среды обитания человека на территории карельского перешейка (по материалам исследования многослойного поселения Озерное 3) // Хронология, периодизация и межкультурные связи в каменном веке (Замятнинский сборник, вып. 1). СПб., 2008.

30. Сапелко Т.В., Лудикова А.В., Кулькова М.А., Кузнецов Д.Д., Герасимов Д.В. и Субетто Д.А. 2008 Хронология, периодизация и межкультурные связи в каменном веке (Санкт-Петербург) стр. 149-64

31. Севастьянов Д.В. Субетто Д.А., Арсланов Х.А., Денисенков В.П., Чернова Г.М. Процессы седиментации в озерно-болотных геосистемах Северо-Западного Приладожья // Изв. РГО. 1996. Т. 128. Вып. 5. С. 36 – 47.

32. Сергеев А.Ю. История геологического развития Куршской косы в голоцене и современные литодинамические процессы в береговой зоне: дисс.канд.геол-мин.наук: 25.00.01 / Сергеев Александр Юрьевич. СПб, 2015. – 135

33. Силкин К.Ю. Геоинформационная система Golden Software Surfer 8: учеб. пособие. - Издательско-полиграфический центр Воронежского государственного университета 2008. – С.
34. Субетто Д.А., Давыдова Н.Н., Хомутова В.И. Палеолимнология озер Вишневого и Мичуринского (Карельский перешеек) // Антропогенные изменения экосистемы малых озер (причины, последствия, возможности управления): Материалы Всес.совещ. Кн.2. Спб: Гидрометеиздат, 1991. С. 195 – 198.
35. Субетто Д. А., Севастьянов Д. В., Савельева Л. А., Арсланов Х. А. Донные отложения озер Ленинградской области как летопись Балтийских трансгрессий и регрессий // Вестник СПбГУ. Сер. 7.2002. Вып. 4 (№ 31). С. 75–85
36. Субетто Д.А. История формирования Ладожского озера и его соединения с Балтийским морем//Общество. Среда. Развитие (Terra Humana) – 2007 №1(2) с.111-120.
37. Субетто Д. А., Давыдова Н.Н., Вольфарт Б., Арсланов Х.А. Лито-, био- и хроностратиграфия озерных отложений Карельского перешейка на границе позднего плейстоцена-голоцена // Известия РГО. 1999. Т. 131, вып. 5. – С. 56-69.
38. Субетто Д.А. Донные отложения озер: палеолимнологические реконструкции / Д.А. Субетто // СПб: Изд-во РГПУ им. А. И. Герцена, 2009. – 344 с.
39. Шаталова А.Е. Результаты радиоуглеродного датирования и реконструкция уровня Балтийского моря по абсолютным отметкам озер Голубое, Б. Молочное, Зайчихинское//Астраханский вестник экологического образования. - 2023. №4 (76). – С. 23-28. DOI: 10.36698/2304-5957-2023-4-23-28
40. Шаталова А.Е., Кублицкий Ю.А., Субетто Д.А., Розентау А., Лудикова А.В., Соколова Н.В., Сырых Л.С. Проблемы сохранения и развития Балтийского моря//Материалы международной научно-практической

конференции «Природное и культурное наследие. Междисциплинарные исследования, сохранение и развитие». - СПб: Изд-во РГПУ им. А. И. Герцена, 2018. –461с.

41. Шаталова А.Е., Лудикова А.В., Субетто Д.А., Кублицкий Ю.А., Демидионов М.Ю. Реконструкция палеоэкологических условий малых озер Карельского перешейка в связи с изменениями уровня балтийских палеобассейнов (по данным диатомового анализа) // Астраханский вестник экологического образования. – 2021. – № 6 (66). – С. 18-30. DOI: 10.36698/2304-5957-2021-6-18-30

42. Шаталова А.Е., Лудикова А.В., Субетто Д.А., Кублицкий Ю.А., Демидионов М.Ю. Реконструкция трансгрессивно-регрессивных стадий Балтийского моря в голоцене на основе диатомового анализа донных отложений изоляционного бассейна на Карельском перешейке // Астраханский вестник экологического образования. - 2022. № 6 (72). – С. 58-68.

43. Шелехова Т. С. Донные отложения озер Карелии: палеоэкологические и палеоклиматические реконструкции / Т. С. Шелехова, Н. Б. Лаврова // Геология Карелии от архея до наших дней: материалы докладов Всероссийской конференции, посвященной 50-летию Ин-та геологии КарНЦ РАН, Петрозаводск, 24-26 мая 2011 г. - Петрозаводск, 2011. - С. 204-212.

44. Ailio J. 1915: Die geographische Entwicklung des Ladogasees in postglazialer Zeit. Fennia 38, 1 157

45. Amantov A., Fjeldskaar W. 2013: Geological-Geomorphological features of the Baltic Region and Adjacent Areas: imprint on glacial-postglacial development. Regional geology and metallogeny, 3, 90–104

46. Amantov A.V., Amantova M.G., 2017. Modeling of postglacial development of Lake Ladoga and eastern part of the Gulf of Finland. Regional'naya Geologiya i Metallogeniya, No. 69, 5–14

47. Amantov A.V., Amantova M.G., 2020. Modelling the Pleistocene and Holocene evolution of the Ladoga Lake area. Proterozoic Ladoga structure (geology, deep structure and mineral genesis), 198-210 and metallogeny, 3, 90–104
48. Andren T., Björck S., Andren E., Conley D., Zillen L. & Anjar J. 2011. The Development of the Baltic Sea Basin During the Last 130 ka. In: Harff J., Björck S. & Hoth P. (eds.) *The Baltic Sea Basin*. pp. 75-97. Springer-Verlag: Berlin-Heidelberg.
49. 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. - 203.-C.33-51.
50. Arslanov Kh.A., R.N. Dzhinoridze S.B. Chernov L.A. Savelyeva D.A. Subetto & T.V Tertychanaya (1996). New data on Early Holocene basins of the Baltic on the Karelian isthmus. In *Abstract papers, 11th International Workshop on Isotope-Geochemical Research in Baltic Region, March 14–16, Estonia, 2*.
51. Bennion H. Surface-sediment diatom assemblages in shallow, artificial, enriched ponds, and implication for reconstructing trophic status // *Diatom Res.* 1995. 10. Pp. 1-106.
52. Berghell H. 1896: Bidrag till kännedomen om södra Finnlands kvartära nivåförändringar. *Bulletin de la Commission geologique de Finlande* 5, 164.
53. Berglund B.E., Björck S. Late Weichselian and Holocene shore displacement in Blekinge, SE Sweden // *Geogr. XXVII. Nauki Matem. – Przyrod. Zeszyt*, 92. 1994. – P. 75-95.
54. Berglund B. The postglacial shore displacement in Eastern Blekinge, Southeastern Sweden / B. Berglund // *Sweriges Geol. Undersökning*, 1964. – 47 p.
55. Bitinas A. Littorina sea at the Lithuanian maritime region / A. Bitinas, A. Damusyte // *Polish Geol. Inst. Spec. Pap.* – 2004. – Vol. 11. – P. 37-46.

56. Björck S. 2008: The late Quaternary development of the Baltic Sea basin. In The BACC Author Team (Eds.): Assessment of climate change for the Baltic Sea Basin, SpringerVerlag Berlin Heidelberg, 398-407.
57. Björck S. A review of the history of the Baltic Sea, 13.0–8.0 ka BP / S. Björck // Quaternary International. – 1995. – Vol. 27. – p. 19-40.
58. Björck S & N-O Svensson (1994). Östersjöns och Västerhavets utveckling. In Fredén C (ed). Bergoch jord. Sveriges Nationalatlas, 138-142
59. Böse M. Quaternary Glaciations of northern Europe / M. Böse, C. Lüthgens, J. R. Lee J.R., J. Rose // Quaternary Science Reviews. – 2012. – Vol. 44. – P. 1-25.
60. Croudace I.W., Rothwell R.G. (Eds.), Micro-XRF Studies of Sediment Cores: Applications of a 632 Non-Destructive Tool for the Environmental Sciences. 2015. Springer Science+Business Media, 633 Dordrecht. doi:10.1007/978-94-017-9849-5
61. Dolukhanov P.M. Holocene oscillations of the Baltic Sea and Lake Ladoga levels and early human movements / Dolukhanov P.M., Subetto D.A., Arslanov Kh.A., Davydova N.N., Zaitseva G.I., Kuznetsov D.D., Ludikova A.V., Sapelko T.V., Savelieva L.A. // Quaternary International. - 2010. - Vol. 220. - C. 102-
62. Eronen M (1974). The history of the Litorina Sea and associated Holocene events. Societas Scientiarum Fennica, Commentationes Physico-Mathematicae 44, 79–195.
63. Eronen M (1983). Late Weichselian and Holocene shore displacement in Finland. In Smith DE hiro& AG Dawson (eds). Shorelines and isostasy. Institute of British Geographers, Special Publication 16, 183–207
64. Eronen M (1990). Itämeren kehitys. In Alalammi P (ed). Atlas of Finland, Folio 123–126: Geology, 15–18. National Board of Survey & Geographical Society of Finland, Helsinki.
65. Eronen M., Glückert G., Hatakka L., Plassche O., Van de Plicht J., Rantala P., 2001. Rates of Holocene isostatic uplift and relative sea-level lowering of the Baltic in SW Finland based on studies of isolation contacts. Boreas 30, 17-30

66. Gelumauskaite L. Late Quaternary shore formations of the Baltic basins in the Lithuanian sector / L. Gelumauskaite, J. Šečkus // *Geologia*. – 2005. – № 52. – P. 34-45.
67. Hedenström A., Risberg J. Early Holocene shore-displacement in southern central Sweden as recorded in elevated basins // *Boreas*. 1999. 28(4): 490-504. – DOI:10.1111/j.1502-3885.1999.tb00236.x.
68. Hyvärinen H. Definition of the Baltic stages. *Ann. Acad. Sci. Fennicae A. III.*, 148 (1988), pp. 7-11.
69. Hyvärinen H. 2007 Palaeoenvironment of the Karelian Isthmus, the easternmost part of the Gulf of Finland, during the Litorina Sea stage of the Baltic Sea history *Boreas* 36 441-58
70. Hyvärinen H. 2000: The history of the Baltic Sea. In Sandgren, P.(ed.): *Environmental Changes in Fennoscandia during the Late Quaternary*. LUNDQUA Report 37, 4554
71. Hyypä E. 1932: Die postglazialen Niveauverschiebungen auf der karelischen Landenge. *Fennia* 56, 1 241
72. Hyypä E. 1937: Postglacial changes of shoreline in south Finland. *Bulletin de la Commission geologique de Finlande* 120, 1 225.
73. Hyypä E. The Late - Quaternary land uplift in the Baltic sphere and the relation diagram of the raised and tilted shore levels // *Ann. Acad. Sci. Fennical. Ser. A3*. 1966. N 90. P.153-168
74. Jentzsch A. Ueber die Moore der Provinz Preussens, ihre Ausdehnung, Beschaffenheit und Verwendungsfähigkeit zu technischen und Culturszwecken / A. Jentzsch // *Schriften der Phys.- ökon. Gesellschaft zu Königsberg i. Pr.* – 1879. – B.19. – S. 91-121.
75. Juggins S. C2 Version 1.5 User guide. Software for ecological and palaeoecological data analysis and visualization (Newcastle upon Tyne: Newcastle University), 2007. – 73 pp.

76. Krammer K., Lange-Bertalot H. Bacillariophyceae. In: Süßwasserflora von Mitteleuropa / Ed. by H. Ettl, J. Gerloff, H. Heying, D. Mollenhauer. Band 2/1-4. Stuttgart: G. Fisher Verlag. 1986-1991
77. Krammer K. Diatoms of Europe. Volume 1: The genus *Pinnularia* / K. Krammer // Diatoms of the European Inland Waters and Comparable Habitats, edited by Horst Lange-Bertalot. A.R.G. – 2000. – 703 pp.
78. Krammer K. Die Süßwasserflora von Mitteleuropa 2: Bacillariophyceae /K. Krammer, H. Lange-Bertalot // 1 Teil: Naviculaceae. Gustav Fischer-Verlag, Stuttgart. – 1986. – 876 pp.
79. Krammer K. Die Süßwasserflora von Mitteleuropa 2: Bacillariophyceae /K. Krammer, H. Lange-Bertalot // 2 Teil: Bacillariaceae, Epithemiaceae, Surirellaceae. Gustav Fischer-Verlag, Stuttgart. – 1988. – 596 pp.
80. Krammer K. Die Süßwasserflora von Mitteleuropa 2: Bacillariophyceae /K. Krammer, H. Lange-Bertalot // 3 Teil: Centrales, Fragilariaceae, Eunotiaceae. Gustav Fischer-Vedag, Stuttgart. – 1991. – 576 pp.
81. Krammer K. Die Süßwasserflora von Mitteleuropa 2: Bacillariophyceae /K. Krammer, H. Lange-Bertalot // 4. Teil: Achnanthaceae, Kritische Ergänzungen zu *Navicula* (Lineolatae) und *Gomphonema*. Gesamtliteraturverzeichnis Teil 1–4. Gustav Fischer-Verlag, Stuttgart. – 1991. – 437 pp.
82. Kuznetsov D. D., Subetto, D. A., Ludikova, A. V. (2022) The Connection between Lake Ladoga and the Baltic Sea in the Late Holocene: New Paleolimnological Data. *Doklady Earth Sciences*, 506 (1) 693-697 doi:10.1134/s1028334x22700076
83. Lambeck K., Smither C., Johnston P., 1998. Sea-level change, glacial rebound and mantle viscosity for northern Europe. *Geophys. J. Int.* 134, 102e144.<https://doi.org/10.1046/j.1365-246x.1998.00541.x>
84. Lepland A., Hang T., Kihno K., Sakson M., Sandgren P. & Lepland, A., 1996: Holocene sea-level changes and environmental history in the Narva area,

north-eastern Estonia. In T. Hackens, S. Hicks, V. Lang, U. Miller & L. Saarse (eds.): Coastal Estonia. PACT 51, 313–358.

85. Ludikova A., Shatalova A., Subetto D., Kublitskiy Yu, Rosentau Alar., Hang T. (2020). Diatom-inferred palaeolimnological changes in a small lake in the context of the Holocene Baltic Sea transgressions: a case study of Lake Goluboye, Karelian Isthmus (NW Russia) // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2020. 438. 012014. 10.1088/1755-1315/438/1/012014.

86. Ludikova A.V., Subetto D.A., Kuznetsov D.D., Sapelko T.V. From a large basin to a small lake: Siliceous microfossils stratigraphy of the isolation basins on Big Solovetskiy Island (the White Sea, NW Russia) and its implication for paleoreconstructions // Quaternary International Volumes 644–645, 20 January 2023, Pages 61-78. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2021.07.007>

87. Meister P, Alexandre A., Bailey H., Barker P., Biskaborn B., Broadman E., Cartier R., Chaplignin B., Couapel M., Dean J., Diekmann B., Harding P., Henderson A., Hernandez A., Herzsuh U., Kostrova S., Lacey J., Leng M., Lucke A., MacKay A., Magyari E., Narancic B., Porchier C., Rosqvist G., Shemesh A., Sonzogni C., Swann G., Sylvestre F., Meyer H. A global compilation of diatom silica oxygen isotope records from lake sediment – trends and implications for climate reconstruction. *Climate of the Past* 20(2). p.363-392. <https://doi.org/10.5194/cp-20-363-2024>

88. Miettinen A., Savelieva L., Subetto D. A., Djinoridze R., Arslanov Kh. and Hyvärinen H. 2007 Palaeoenvironment of the Karelian Isthmus, the easternmost part of the Gulf of Finland, during the Litorina Sea stage of the Baltic Sea history *Boreas* 36 441-58

89. Miettinen A., 2002: Relative sea-level changes in the eastern part of the Gulf of Finland during the last 8000 years. *Annales Academiae Scientiarum Fennicae, Geologica-Geographica* 162. 102 pp.

90. Mörner N-A. (1980). The Fennoscandian uplift: geological data and their geodynamical implication. In Mörner N-A (ed). *Earth rheology, isostasy and eustasy*, 251–284. John Wiley & Sons, Chichester.

91. Poutanen M. GPS measurements in Satakunta Area / Working Report 2010-Oct. Eurajoki, Finland: Finnish Geodetic Institute, POSIVA OY, 2010.
92. Ramsay W. 1920: Litorinagränsen i sydliga Finland. Geologiska Föreningens i Stockholm Förhandlingar 42, 243-263.
93. Ramsay, B. 2005: OxCal v.3.10. <http://www.rlaha.ox.ac.uk/oxcal/oxcal.htm>. Accessed 31.3.2005.
94. Rinterknecht V. R. The last deglaciation of the southeastern sector of the Scandinavian Ice Sheet / V.R. Rinterknecht, P.U. Clark, G.M. Raisbeck, F. Yiou, A. Bitinas, E.J. Brook, L. Marks, V. Zelcs, J. Lunkka, I.E. Pavlovskaya, J.A. Piotrowski, A. Raukas // Science. – 2008. – № 311. – P. 1449-1452.
95. Rosentau A., Klemann V., Bennike O., Steffen H. Holocene relative sea-level database for the Baltic Sea // Quaternary Science Reviews. Volume 266, 15 August 2021, 107071 DOI:10.1016/j.quascirev.2021.107071
96. Rosentau A., Muru M., Kriiska A., Subetto D. A., Vassiljev J., 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. No. 42 (4). P. 912–931.
97. Rosentau A., Harff J., Oja T., Meyer M., 2012. Postglacial rebound and relative sea level changes in the Baltic Sea since the Litorina transgression. Baltica 25, 113-120
98. Saarnisto M. Deglaciation chronology of the Scandinavian Ice Sheet from the lake Onega basin to the Salpausselkya End Moraine / M. Saarnisto, T. Saarinen // Global and Planetary Changes. – Elsevier Science: 2001. – Vol. 31. – P. 333-405.
99. Saarnisto, M., 1970. The Late Weichselian and Flandrian History of the Saimaa Lake Complex. Commentationes Physico-Mathematicae, Societas Scientiarum Fennica 37, 107 p.

100. Sandgren P. & Snowball I.F. 2001: Late Weichselian shore displacement on the Kullen peninsula in northwest Skåne, southern Sweden. *Boreas* 30, 115–130
101. Sandgren P., Subetto D. A., Berglund B. E., Davydova N. N. & Savelieva L. A. 2004: Mid-Holocene Littorina Sea transgressions based on stratigraphic studies in coastal lakes of NW Russia. *GFF* 126, 363–380
102. Sapelko T.V., Gazizova T.Yu., Moiseenko A.D., Ludikova A.V., Kuznetsov D.D., Rusanov A.G. Lake Vitalievskoye (Valaam Island) isolation process and vegetation dynamics due to changes in the level of the Lake Ladoga during the Late Holocene. *Geomorfologiya i Paleogeografiya*. 2023;(4):72-89. (In Russ.) <https://doi.org/10.31857/10.31857/S2949178923040126>
103. Savelieva L.A., Andreev A.A., Gromig R., Subetto D.A., Fedorov G.B., Wennrich V., Wagner B., Melles M. Vegetation and climate changes in northwestern Russia during the Lateglacial and Holocene inferred from the Lake Ladoga pollen record// *Boreas*, 2019, Vol. 48, pp. 349–360. DOI 10.1111/bor.12376
104. Shatalova A.E., Kublitsky U.A., Subetto D.A., Rosentau A., Ludikova A.V., Sokolova N.V., Syrykh L.S. Level changes of the baltic sea in the holocene based on the study of lakes bottom sediments of the Karelian Isthmus. *Limnology and Freshwater Biology*. 2020. № 4. C. 465-466.
105. Subetto D.A., Shvarev S.V., Nikonov A.A., Zaretskaya N.E., Poleshchuk A.V., Potakhin M.S. New evidence of the Vuoksi River origin by geodynamic cataclysm // *Bulletin of the Geological Society of Finland*, Vol. 90, 2018, pp. 275-289.doi.org/10.17741/bgsf/90.2.010
106. Tikkanen M., Oksanen J., 2002. Late Weichselian and Holocene shore displacement history of the Baltic Sea in Finland. *Fennia* 180.
107. Van Dam H., Mertens A. and Sinkeldam J. A coded checklist and ecological indicator values of freshwater diatoms from the Netherlands // *Netherlands J. of Aquat. Ecol.* 1994. 28. – Pp. 117-33.

108. Vuorela A. Review of Bothnian Sea shore-level displacement data and use of a GIS tool to estimate isostatic uplift / Working Report 2009-17. Eurajoki, Finland: Finnish Geodetic Institute, POSIVA OY, 2009.
109. Westman P., Wastegård S., Schoning K., Gustafsson B. & Omstedt A. 1999: Salinity change in the Baltic Sea during the last 8,500 years: evidence, causes and models. Svensk Kärnbränslehantering (SKB), Technical Report TR-9938, 152.
110. The Baltic Sea phases. [Электронный ресурс] Saimaa Geopark Finland – Режим доступа: <https://saimaageopark.fi/en/home/> (Дата обращения: 15.02.2019)
111. ИГЭ РАН и МНЦ Гидрогеоэкологии. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://hge.spbu.ru/> (Дата обращения: 09.02.2019)
112. Национальный атлас России, том 2 (Природа и экология). [Электронный ресурс] Федеральное агентство геодезии и картографии России 2004-2008 – Режим доступа: <http://национальныйатлас.рф/cd2/territory.html> (Дата обращения: 09.02.2019)
113. Геодезическое оборудование. [Электронный ресурс] Приемник PrinSe i50 - Режим доступа: <https://www.prin.ru/gnss/prince/i50/> (Дата образования: 16.08.2023)
114. Обходной канал вокруг Санкт-Петербурга - реальность или мираж? Журнал Речной транспорт №4 2009г [Электронный ресурс] АО "Ленгипроречтранс" – Режим доступа: <https://lengiprorechtrans.ru/home/nashi-publikatsii/22-obkhodnoj-kanal-vokrug-sankt-peterburga-realnost-ili-mirazh> (Дата обращения: 06.02.2024)

ПРИЛОЖЕНИЕ

Приложение 1

Список видов диатомовых водорослей, определенных в донных осадках изученных озер

Achnanthes bioretii
A. calcar
A. clevei
A. conspicua
A. delicatula
A. exigua
A. flexella var. *alpestris*
A. hauckiana
A. joursacence / *A. elliptica*
A. cf kryophila
A. laevis
A. lanceolata
A. lanceolata ssp. *frequentissima*
A. lanceolata ssp. *Robusta*
A. lanceolata var. *rostrata*
A. laterostrata
A. minutissima
A. oblongella
A. oestrupii
A. pusilla
A. subatomoides
Amphora coffeaformis
A. fagediana
A. lybica
A. ovalis
A. pediculus
A. veneta
Aulacoseira alpigena
A. ambigua
A. crassipunctata
A. crenulata
A. granulata
A. granulata var. *angustissima*
A. islandica
A. lacustris
A. lirata
A. nivalis
A. perglabra
A. subarctica / *A. italica* ssp. *subarctica*
A. valida
Calonies alpestris
C. bacillum

C. silicula
C. schumannii
C. tenuis
Campylodiscus echeneis
C. hibernicus
Cheatoceros muelleri
Cocconeis disculus
C. neodiminuta
C. pediculus
C. placentula
C. placentula var euglypta
C. placentula var lienata
Cyclostephanos dubius / Stephanodiscus dubius
Cyclotella krammerii
C. meneghiniana
C. ocellata
C. pseudostelligera
C. radiosa / C kuetzingiana var radiosa
C. rossii
C. schumannii / C kuetzingiana var schumannii
C. stelligera
Cyclotella sp
Cymatopleura solei
Cymbella affinis
C. aequalis/subaequalis
C. amphycephala
C. caespitosa
C. cistula
C. descripta
C. ehrenbergii
C. elginensis
C. gracilis
C. helvetica
C. lanceolata
C. minuta
C. naviculiformis
C. obscura
C. perpusilla
C. silesiaca / C ventricosa
C. sinuata
C. subcuspidata
C. tumida
Diatoma tenuis
Didimosphenia geminata
Diploneis boldtiana
D. domblittensis

D. elliptica
D. finnica
D. marginata
D. maulleri
D. oblongella
D. oculata
D. ovalis
D. parma
D. pseudoovalis
D. puella
D. smithii var dilatata
D. subovalis
Ellerbeckia arenaria / Melosira arenaria / Paralia arenaria
Entomoneis ornata
Epithemia adnata / E zebra
E. argus
E. frickei / / E zebra / / E zebra var intermedia
E. hyndmannii
E. sorex
E. turgida
E. incisa
Eunotia faba
E. formica
E. glacialis
E. implicata
E. incisa
E. cf intermedia
E. minor / E pectinalis var minor
E. pectinalis
E. rhomboides
E. rhynchocephala var. satelles
E. serra var. tetraodon
E. sudetica
E. veneris
Fragilaria brevistriata
F. capucina
F. capucina var. gracilis
F. capucina var. mesolepta
F. capucina var. rumpens
F. capucina var. vaucheriae
F. construens
F. construens var. binodis
F. construens var. subsalina
F. construens var. venter
F. crotonensis
F. exigua

F. fasciculata
F. lapponica
F. leptostauron
F. nanana
F. neoproducta
F. parasitica
F. parasitica var. subconstricta
F. pinnata
F. pulchella
F. ulna
F. ulna var. acus
F. ulna var. danica
Fragilaria sp
Frustulia rhomboides var. viridula
F. rhomboides var. crassinervia
F. vulgaris
Gomphonema acuminatum
G. angustum
G. angustatum
G. clavatum
G. exiguum
G. gracile
G. grovei var. lingulatum
G. minutum
G. olivaceum
G. olivaceum var minutissima
G. parvulum
G. truncatum
Gyrosigma acuminatum
G. attenuatum
G. parkerii
G. spencerii
Mastogloia elliptica
M. pumila
M. smithii
Melosira lineata
Navicula aboensis
N. americana
N. absoluta
N. bacillum
N. bryophila
N. capitata
N. capitata var. lueneburgensis
N. cari
N. cincta
N. cocconeiformis

N. costulata
N. cryptocephala
N. cryptotenella
N. cuspidata
N. digitoradiata
N. disjuncta
N. elginensis
N. cf evanida
N. exigua
N. gastrum
N. halophila
N. halophiloides
N. ignota var acceptata
N. ingrata
N jaernefeltii
N jentzschii
N. lacustris
N leavissima
N laterostrata
N lenzii
N menisculus
N minima
N modica
N peregrina
N phyllepta
N placentula
N pseudoscutiformis
N cf pseudoventralis
N pupula
N radiosa
N rhyncocephala
N schmassmanii
N schoenfeldtii
N scutelloides
N seminulum
N slesvisensis
N cf smolandica
N cf submuralis
N subrotundata
N cf subrotundata
N tenelliodes
N tuscula
N veneta
N vitabunda
NAVsp2
NAVsp3

NAVsp4
NAVsp5
Neidium ampliatum
N dubuim
N iridis
Nitzschia amphibia
N angustata
N archibaldii
N dissipata
N fonticola
N fossilis
N inconspicua
N littoralis
N palea
N paleacea
N perminuta
N plana
N recta
N scalaris
N tubicola
V valdestriata
Opephora martyi / Martiana martyi / F leptostauron var martyi
Pinnularia appendiculata
P divergens
P esox
P gibba
P hemiptera
P interrupta
P. polyonica
P lenticulata
P lundii
P major
P. cf major f. paludosa
P mseolepta
P microstauron
P nodosa
P. subcapitata
P. subrostrata
P obscura
P viridis
*PINsp**
Rhoicospenia abbreviata / R curvata
Rhopalodia gibba
Stauroneis acuta
S anceps
S. kriegerii

Stauroneis legumen
S phoenicentron
S smithii
Stephanodiscus alpinus
S hantzschii
S medius / S astrea var intermedius
S minutulus/ S astrea var minutula
S neoastraea / S astrea
S niagarae
Surirella bifrons
S biseriata
S capronii
S elegans
S. lapponica
S minuta
S robusta
S splendida
Tabellaria fenestrata
T flocculosa

Список сокращений и аббревиатур

АВИ – институт Альфреда Вегенера

Абс. высота – абсолютная высота

Б. Молочное – Большое Молочное

ДЗ – диатомовая зона

ДО – донные отложения

ИФР – индекс флористического разнообразия

Кал. л. н. – калиброванных лет назад

Над у.м. – над уровнем моря

ППП – потери при прокаливании

Пр. – прочее

AMS – Accelerator Mass Spectrometry (Ускорительная масс спектрометрия)