

Санкт-Петербургский государственный университет

***ЯЧЕНЦЕВ Савелий Андреевич***

**Выпускная квалификационная работа**

***Изменения условий среды Онежского озера в позднем плейстоцене-голоцене  
по данным диатомового анализа***

Уровень образования: *бакалавриат*  
Направление *05.03.02 «География»*  
Основная образовательная программа *5019 «География»*

Научный руководитель: доцент  
кафедры геоморфологии, Институт  
наук о Земле, к. г. н., Савельева  
Лариса Анатольевна

Консультант:  
с.н.с. Института озероведения РАН,  
к.г.н., Лудикова Анна Валерьевна

Рецензент: декан факультета  
географии РГПУ им. Герцена,  
профессор, заведующий кафедрой  
физической географии и  
природопользования, д. г. н, Субетто  
Дмитрий Александрович

Санкт-Петербург  
2021

## Оглавление

Введение .....	3
Глава I. Физико-географические характеристики Онежского озера.....	5
1.1. Общая характеристика Онежского озера.....	5
1.2. Геологическое строение.....	6
1.3. Гидрохимия .....	6
1.4. Гидробиология .....	8
1.5. Донные отложения Онежского озера.....	9
Глава II. История исследования диатомовых водорослей Онежского озера.....	11
Глава III. Материалы и методы исследования.....	16
3.1. Пробоотбор донных отложений .....	16
3.2. Литологический состав донных отложений .....	17
3.3. Лабораторная и аналитическая обработка проб.....	17
Глава IV. Результаты диатомового анализа.....	20
Глава V. Изменения условий среды в Петрозаводской губе Онежского озера по данным диатомового анализа .....	26
Заключение.....	32
Список использованной литературы .....	35

## **Введение**

Донные отложения – своеобразная летопись, фиксирующая все основные этапы истории водоема в условиях изменения климата и изменения природных обстановок. Диатомовый анализ является одним из важнейших методов изучения донных отложений для реконструкции изменений условий водной среды. При использовании диатомового анализа в реконструкциях палеообстановок, включая основные параметры водных масс и другие, используются сведения об экологии диатомей и факторах, определяющих их развитие в водоёме. Наличие в осадках представителей диатомовых водорослей служит надежным критерием условий седиментации (рН, трофность, сапробность, глубина, температура, соленость вод и т.д.).

В курсовой работе рассматривается изменение состава диатомовых комплексов в позднем плейстоцене-голоцене в донных осадках Петрозаводской губы Онежского озера. В данной работе собираются и анализируются уже имеющиеся данные, а также сопоставляются с результатами собственного исследования.

**Цель настоящей работы:** реконструкция истории развития Петрозаводской губы Онежского озера и изменений условий среды в позднем плейстоцене и голоцене по результатам диатомового анализа донных отложений.

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

1. Лабораторная обработка проб для диатомового анализа;
2. Микроскопический анализ
3. Интерпретация полученных данных, анализ изменения условий среды (трофность, рН, глубина и пр.) и установление основных этапов развития Петрозаводской губы Онежского озера по данным диатомового анализа во второй половине голоцена.
4. Сопоставление полученных данных с данными предыдущих исследований.

**Объект исследования** – донные отложения Петрозаводской губы Онежского озера.

**Предмет исследования** – изменения состава диатомовых комплексов.

# Глава I. Физико-географические характеристики Онежского озера

## 1.1. Общая характеристика Онежского озера

Онежское озеро – второе по величине пресноводное озеро Европы. Бассейн озера расположен в пределах двух крупных геологических структур с различной геологической историей – Балтийского кристаллического щита и Восточно-Европейской платформы. Условия среды в озере характеризуется неоднородностью, которая обусловлена не только его размерами, но и геологическим строением котловины, а также различной степенью антропогенной нагрузки. В озеро впадают 52 реки длиной более 10 км, из них 8 рек имеют длину более 100 км. Сток из озера осуществляется через реку Свирь, которая несет свои воды в Ладогу. Северные берега скалистые, сильно изрезанные, южные — преимущественно низкие, нерасчленённые. (*Онежское озеро...*, 2010)

Озеро расположено на территории с умеренным, переходным от морского к континентальному климатом. Морфометрические характеристики озера представлены в табл. 1.

Площадь озера	9720 км <sup>2</sup>	Площадь водосбора	62 800 км <sup>2</sup>
Объем водной массы	285 км <sup>3</sup>	Суммарный годовой речной приток / сток	17 км <sup>3</sup> / 18.8 км <sup>3</sup>
Протяженность С-Ю	248 км	Основные впадающие реки	Водла, Андома, Суна, Шуя
Протяженность З-В	96 км		
Средняя глубина	30 м	Вытекающие реки	Свирь
Максимальная глубина	120 м	Продолжительность водообмена	≈15 лет
Протяженность береговой линии	1542 км	Амплитуда ежегодных колебаний уровня	0.7-0.8 м

Таблица 1. Основные морфометрические характеристики Онежского озера («Вода России»..., 2019)

Северный берег озера характеризуется многочисленными глубоко врезанными заливами. С севера в озеро вдаётся Заонежский полуостров площадью около 12 000 км<sup>2</sup>. К западу от него находится самая глубокая (до 100 м и более) часть озера — залив Большое Онего. С востока Заонежский полуостров

ограничен Заонежским и Повенецким заливами. Глубокие участки чередуются с мелями и группами островов, которые расчленяют залив на несколько частей. Самый южный из этих участков — залив Малое Онего с глубинами 40-50 м. Средняя глубина в центральной части озера составляет 50-60 м, ближе к югу дно поднимается до 20-30 м. Для Онежского озера характерны многочисленные резко выраженные повышения и понижения дна (*История Ладожского, Онежского..., 1990*).

## 1.2. Геологическое строение

Побережье Онежского озера отличается весьма сложным геологическим строением. Северная часть Онеги находится в пределах Балтийского кристаллического щита и складывается архейскими и протерозойскими породами. Данные породы широко распространены и разнообразны. Северо-западные, северные и северо-восточные берега сложены карбонатными и глинисто-песчанико-карбонатными породами среднего протерозоя и метаморфизованными эффузивами, туфами, туфо-песчаниками и кварцитами. Южнее Петрозаводска породы сменяются на кварцевые песчаники, песчано-глинистые сланцы и слюдяные песчаники. Южное побережье расположено на Восточно-Европейской платформе. Здесь под слоем осадочных пород палеозоя, которые представлены кембрийскими синими глинами с прослоями песчаников и алевролитов, погребен древний фундамент (*Онежское озеро..., 1999*).

## 1.3. Гидрохимия

Особенности состава пород водосбора и морфометрии озерной котловины, а также неравномерное распределение антропогенной нагрузки определяют пространственную и сезонную неоднородность химических показателей в разных районах озера. Олиготрофное состояние основной водной массы озера обусловлено рядом факторов – изолированностью загрязненных губ, огромными водными массами, дефицитом фосфора, отчего сдерживается развитие фитопланктона.

Главной составляющей приходной части баланса минеральных веществ в озере является вынос их со стоком рек, дающий 91% общего их поступления. Вода озера характеризуется низкой минерализацией (36.6 мг/л; табл. 2). Основная водная масса водоема (Большое Онего, Центральный плес, Южное Онего) характеризуется стабильностью ионного состава и минерализации (36.5 мг/л). Повенецкий залив выделяется самой высокой минерализацией (46.5 мг/л), а Петрозаводская губа – самой низкой (34 мг/л) (*Онежское озеро..., 1999*).

Низкая минерализация воды в Онеге вызвана рядом причин и, прежде всего, положением озера в гумидной зоне (*Онежское озеро..., 2010*). Довольно обильные осадки при сравнительно слабом испарении способствуют просачиванию вод и хорошему промыванию почв и грунтов водосборного бассейна. Это обедняет химический состав речных вод, поступающих в Онегу. Кроме того, значительная часть бассейна Онежского озера лежит в пределах Балтийского кристаллического щита, сложенного труднорастворимыми породами.

Размерность	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	HCO <sup>3-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Σ <sub>и</sub>
мг/л	5.2	2.3	2.2	0.7	19.0	4.5	1.8	0.9	36.6

Таблица 2. Среднемноголетний состав воды Онежского озера (*Онежское озеро, 2010*)

Главным источником поступления фосфора, азота, органического углерода и кремния является сток рек (табл. 3), а атмосферные осадки и сточные воды играют меньшую роль.

Размерность	минерализация	P <sub>общ</sub>	N <sub>общ</sub>	pH	C <sub>орг</sub>	Si
мг/л	36.6	0.104	2	6.4 – 8.1	1.8	0.6-1.0
%, речной сток	91	69	65		70 – 80	96

Таблица 3. Среднегодовая нагрузка на озеро (*Онежское озеро..., 1999*)

## 1.4. Гидробиология

Низкая биопродуктивность Онежского озера обусловлена объемом водных масс, холодноводностью, невысоким содержанием биогенных элементов, а обширные районы озера (Центральное, Большое, Малое Онего, центральная часть Повенецкого залива) сохраняют свое исходное олиготрофное состояние. Перемешивание водных масс, происходящее весной и осенью, играет важную роль для сезонного развития фитопланктона.

В фитопланктоне Онежского озера насчитывается 775 видов, разновидностей и форм водорослей, которые относят к 8 типам (табл. 4).

Отдел		Количество видов	% от общ
<i>Bacillariophyta</i>	Диатомовые	426	55
<i>Chlorophyta</i>	Зеленые	136	17.5
<i>Суанophyta</i>	Сине-зеленые	103	13
<i>Chrysophyta</i>	Золотистые	59	7.5
<i>Euglenophyta</i>	Эвгленовые	16	2
<i>Dinophyta</i>	Динофлагелляты	15	2
<i>Xanthophyta</i>	Желто-зеленые	10	1.5
<i>Cryptophyta</i>	Криптофитовые	10	1.5

Таблица 4. Таксономическая структура фитопланктона Онежского озера (Чекрыжева, 2012)

По географической приуроченности в фитопланктоне озера существенную роль играют бореальные и северо-альпийские виды (53% от общего видового состава). Планктонная флора представлена индифферентными по отношению к солености (75%) и pH воды (51%) видами. Из 450 обнаруженных видов-индикаторов сапробности, 79 % относится к олигосапробным, олиго-β-мезосапробным и β-мезосапробным видам. (Чекрыжева, 2012).

При большом разнообразии фитопланктона диатомовые водоросли преобладают во все сезоны года. Массовыми являются холодолюбивые виды *Aulacoseira islandica*, *A. subarctica*, *A. alpigena*, а также летние теплолюбивые *Tabellaria fenestrata*, *Asterionella formosa*, *Fragilaria crotonensis* (Чекрыжева, 2012).

В фитопланктоне районов озера, которые больше других подвергаются антропогенному эвтрофированию (Кондопожская и Петрозаводская губы),

отмечено увеличение числа видов водорослей, являющихся показателями повышенного уровня трофности и органического загрязнения вод. Например, таковыми являются *Fragilaria crotonensis* и *Diatoma elongatum*. Закономерность сезонной динамики фитопланктона представлена в табл. 5.

Сезон	Доминанты	Субдоминанты	Количество в поверхностном слое воды
Весна	<i>Aulacoseira islandica</i> , <i>A. distans</i> var. <i>alpigena</i>	-	до 50 кл/л
Поздняя весна	<i>Aulacoseira islandica</i> , <i>A. distans</i> var. <i>alpigena</i>	<i>Aulacoseira subarctica</i> , <i>Asterionella formosa</i> , <i>Tabellaria fenestrata</i> var. <i>fenestrata</i>	
Лето	<i>Asterionella formosa</i> , <i>Tabellaria fenestrata</i> var. <i>fenestrata</i> , <i>Dinobryon divergens</i> , <i>D. sociale</i> var. <i>sociale</i>	<i>Dinobryon cylindricum</i> var. <i>palustre</i> , <i>D. Sociale</i> var. <i>stipitatum</i> , <i>Sphaerocystis schroeteri</i> , <i>Annabaena hassalii</i>	100-200 кл/л, 300-600 кл/л
Осень	<i>Aulacoseira islandica</i> , <i>A. distans</i> var. <i>alpigena</i> , <i>Asterionella formosa</i> , <i>Tabellaria fenestrata</i> var. <i>fenestrata</i>	<i>Woronichinia naegeliana</i>	10-80 кл/л

Таблица 5. Сезонные комплексы фитопланктона Онежского озера (*Растительный мир...*, 1971)

### 1.5. Донные отложения Онежского озера

Донные отложения представлены озерно-ледниковыми ленточными глинами позднеледниковья, перекрытыми озерными алевритами и илами голоцена. Ленточные глины мощностью до 8 м обычно залегают на морене последнего поздневалдайского оледенения на большей части дна котловины. (*Онежское озеро...*, 2010).

Современные донные отложения формируются в результате взаимодействия многообразия процессов, происходящих в осадках, в водной среде и на водосборе под влиянием климатических и антропогенных факторов. Наибольшее распространение пески имеют в южной части озера. Валунно-галечные отложения наиболее развиты в северной части озера. Обширная

глубоководная область центральных районов озера и северо-западных заливов (49% от площади дна озера) покрыта тонкими глинистыми илами. Имеются выходы глин, подстилающих современные осадки. В Петрозаводской и Кондопожской губах встречаются донные отложения антропогенного происхождения. (*Онежское озеро...*, 2010).

## Глава II. История исследования диатомовых водорослей Онежского озера

Начало исследованиям диатомовых водорослей в донных осадках Онежского озера положили С. М. Вислоух и Р.Р. Кольбе в 1927 году. Ими были впервые отобраны образцы илов и пробы летнего фитопланктона, в них были обнаружены 237 видов диатомей, позже был сделан вывод о реликтивно-морском характере диатомовой флоры, так как в их составе присутствовало до 32% солоноватоводных диатомей (Лаврова, Ладышкина, 1965). Позднее благодаря исследованиям В.С. Шешуковой-Порецкой процент солоноватоводных диатомей был снижен до 1%. В 1929-м году выходит работа Е.Н. Дьяконовой-Савельевой, которая посвящена вопросу Онего-Беломорского соединения, который не раз поднимался многими учеными (Лаврова, Ладышкина, 1965).

В те же годы несколько исследователей, такие как В.К. Чернов и В.С. Порецкий, занимались изучением водорослей рек-притоков Онеги – Водлы, Суны, Шуи, Лососинки и других. В своих работах В.К.Чернов пытается поделить Карелию по водорослевой растительности ее водоемов. Автором установлено, что из обрастателей постоянными для всех рек являются *Achnanthes minutissima*, *Fragilaria virescens*, *Cymbella ventricosa*, *Eunotia veneris*. Им же отмечено, что многочисленные в реках западного побережья Онеги *Gomphonema constrictum*, *Epithemia turgida* отсутствуют в водотоках Пудожского района (Комулайнен, 2006).

Наблюдениями за структурой и пространственной динамикой диатомей тех же рек занимался В.С. Порецкий. Он отметил, что на развитие различных диатомей влияет скорость течения воды. В работах дан общий систематический список встреченных диатомей – 197 видов и разновидностей (Комулайнен, 2006).

Все вышеперечисленные работы несомненно имеют большую значимость, однако есть и недостаток – отсутствие системности и непродолжительность наблюдений.

С начала 1960-х годов начинается этап регулярных исследований биоты Онежского озера, в которых участвуют сотрудники научных учреждений Карелии (Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН) и Института озераедения РАН

(г. Ленинград). Особое внимание уделялось таксономической структуре биоценозов в Онежском озере. Детальные исследования сообществ макрофитов, фитопланктона и фитоперифитона Онежского озера проведены сотрудниками Института озероведения.

В 1971-м году проведена эколого-систематическая характеристика фитопланктона озера (Петрова, 1971). Диатомовые оказались не только самыми разнообразными, но и преобладающими количественно. Н.Н. Давыдовой предпринято изучение диатомей в верхнем неконсолидированном слое донных отложений – наилке. Несравненно большее видовое разнообразие наблюдалось

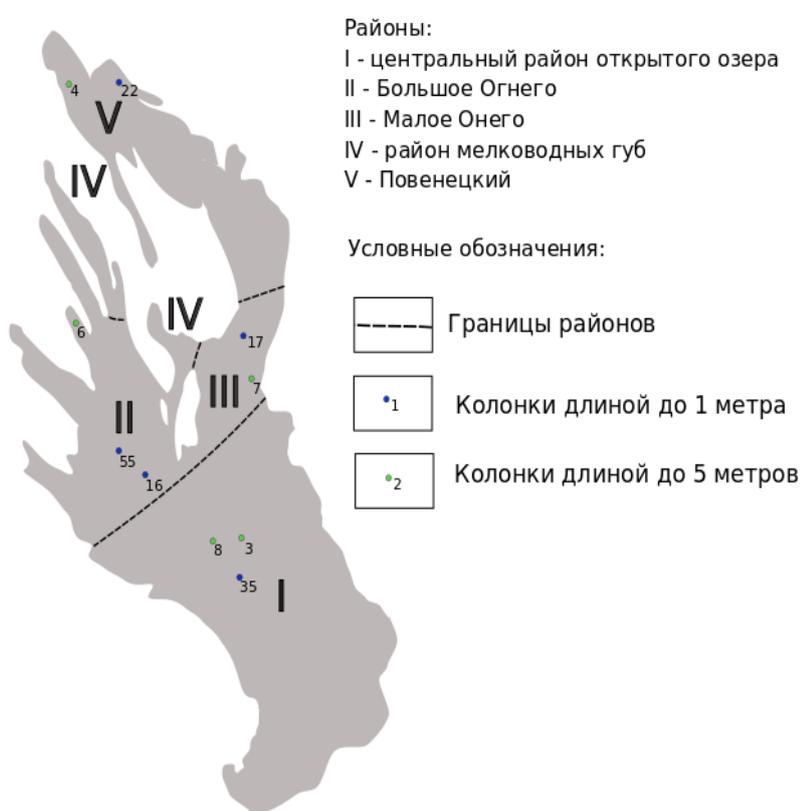


Рис 1. Пункты отбора колонок донных отложений Онежского озера, исследованных методом диатомового анализа (История Ладожского, Онежского..., 1999)

преобладают индифференты – толерантные к небольшим изменениям солености (85.2%). (Растительный мир..., 1971)

среди диатомей *Pennatae*, которых насчиталось 315 таксонов. Наибольшим видовым разнообразием отличались в диатомеи подпорядка *Diraphineae* (двушовные), к которому принадлежит половина всех встреченных диатомей – 172 таксона (48%). Самое высокое видовое разнообразие отмечено у донных диатомей (47.6%), а также у диатомей обрастаний (38.3%). По отношению к солености почти все диатомеи из донных отложений – пресноводные (олигогалобы; 98.7%), причем среди них

Н.Н. Давыдовой были исследованы пять колонок длиной до 1 метра и пять колонок длиной 5 метров (рис.1; Давыдова, 1976, 1985).

Диатомовый анализ был выполнен для 116 образцов отложений. Изучены диатомеи верхней части позднедриасовых ленточных глин, гомогенных глин пребореала и бореала и иловой толщи, образование которой началось в атлантическое время. В колонках отложений было найдено 314 таксонов диатомей (из них 307 пресноводных диатомей-олигогалобов и 7 морских диатомей, находящихся во вторичном залегании). Из морских наиболее часто встретилась морская *Melosira sulcata*, найденная в осадках позднего дриаса, пребореала и атлантики. Во время поздне- и послеледниковья в котловине Онежского озера развивались и господствовали диатомеи планктона из родов *Melosira*, *Cyclotella* и *Stephanodiscus*, что свидетельствует о существовании глубоководных условий (Давыдова, 1985).

В 1985-м году Н.Н. Давыдова выпустила монографию «Диатомовые водоросли – индикаторы природных условий водоемов в голоцене». В ней реконструированы гидрохимические показатели, такие как минерализация, рН среды, трофность, а также тенденции климатических изменений голоцена (Давыдова, 1985).

В 1991 году был взят монолит донных отложений мощностью 30 см в 7 километрах от г. Кондопоги с глубины 22 метра (Онежское озеро..., 1999). Послойное изучение диатомей показало, что их состав существенно меняется: в нижних горизонтах преобладают диатомеи открытых районов озера, но в верхнем пятисантиметровом слое главным доминантом становится *Aulacosira italica* и в массе развивается *Diatoma tenuis*. Данный состав характерен для испытывающих антропогенное загрязнение озер.

В 1999-м году было изучено антропогенное эвтрофирование по данным диатомового анализа. Для илов глубоководной области залива Большое Онего характерна повышенная сапробность (1.30-1.35) диатомового комплекса. Общая численность диатомей достаточно высокая – до 13.5 млн. в 1 грамме воздушно-сухого осадка. В отдельных горизонтах общая численность понижена до 200

тысяч створок. Диатомеи планктона составляют в донных отложениях 76–92%. Абсолютным доминантом в отложениях является планктонная *Aulacosira islandica*, а субдоминантами – *Aulacosira alpigena*, *A. italica*, *Tabellaria fenestrata*. (Онежское озеро...1999)

Большое внимание уделялось изучению воздействия на Онежское озеро антропогенных факторов. Проводились исследования разных научных организаций, таких как Институт Озероведения РАН, Институт Водных проблем Севера КарНЦ РАН (Комулайнен, 2006).

В исследованиях также проанализирован фитопланктон в притоках Онеги И.Г. Вислянкой. А из исследований, которые посвящены изучению прикрепленных сообществ водорослей, наибольшее значение имеют многолетние исследования М.А. Рычковой, проведенные на Ладоге и Онеге. Полученные автором данные характеризуют таксономическую структуру перифитона на различных субстратах (камнях, сваях и др) и распространение группировок в озерах (Комулайнен, 2006).

Детальные исследования фитопланктонных сообществ водоема проведены такими сотрудниками Института Водных проблем Севера (ИВПС) КарНЦ РАН, как Т.М. Тимакова, А.В. Сабылина, Т. А. Чекрыжева и др. Благодаря исследованиям Чекрыжевой было насчитано 426 видов и 44 родов диатомей в литоральном фитопланктоне. Наибольшим видовым богатством характеризуется семейство Naviculaceae, в составе которого 11 родов, 134 вида и внутривидовых таксона, что составляет 31 % от общего числа диатомовых водорослей. В диатомовом планктоне выявлено 245 видов-индикаторов сапробности, из которых к олигосапробным относится 27 %, к олиго-β-мезосапробным – 22 % и к β-мезосапробным – 26 %. Диатомовые водоросли определяют структуру общей численности и биомассы фитопланктона во все сезоны во всех исследованных районах озера (Чекрыжева, 2015).

Т.М. Тимаковой в своих работах дана оценка современного состояния экосистемы Онежского озера за последние десятилетия. Выявлены основные причины, вызывающие эвтрофирующие процессы в озере, и факторы,

способствующие их локализации и распространению на акватории водоема. Сделаны выводы о том, что антропогенное эвтрофирование проявляется в северо-западных губах, Кондопожской и Петрозаводской (4–5 % от всей площади озера). Основная акватория водоема сохраняет свое первоначально олиготрофное состояние и характеризуется низким биопродукционным потенциалом (*Тимакова и др., 2011*).

## Глава III. Материалы и методы исследования

### 3.1. Пробоотбор донных отложений

Пробоотбор донных отложений выполнялся в Петрозаводской губе Онежского озера (рис. 2.) в рамках совместных комплексных исследований Санкт-Петербургского Государственного университета, Института водных проблем Севера (ИВПС) Карельского научного центра РАН и Центра морских исследований МГУ им. М.В. Ломоносова. Получена трёхметровая колонка донных отложений (ONG-5). В тубе она была доставлена в Санкт-Петербург, где впоследствии была вскрыта.

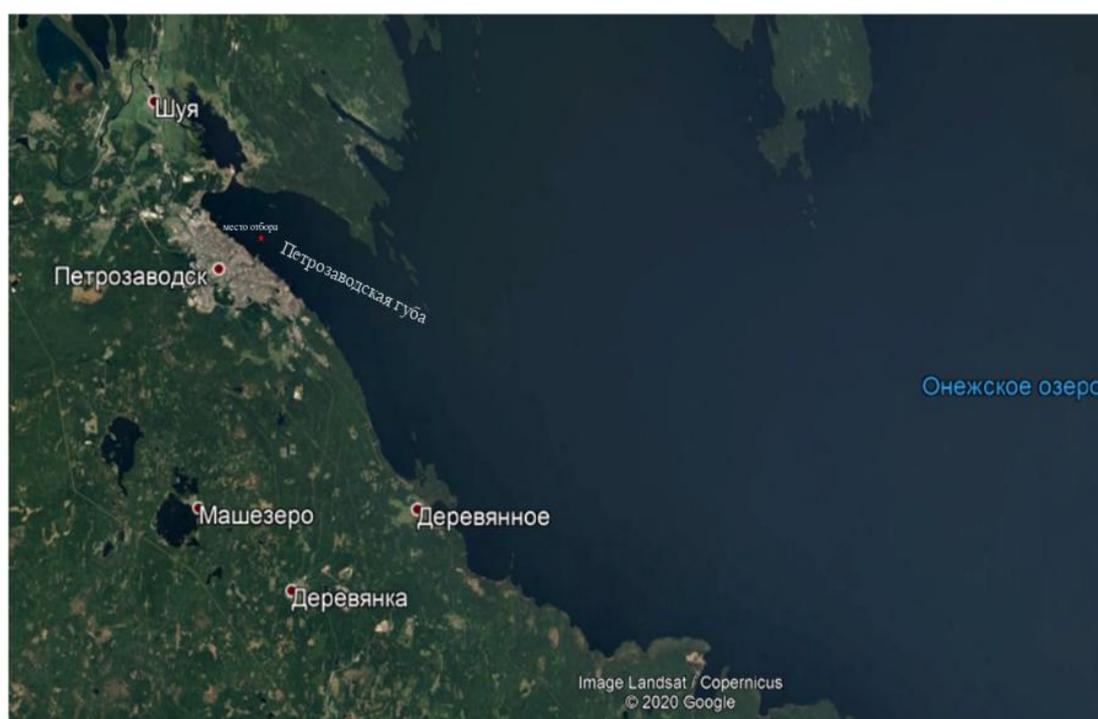


Рис. 2. Местоположение Петрозаводской губы Онежского озера и точки пробоотбора (снимок «Google Earth»)

Колонка донных отложений была отобрана в Петрозаводской губе ( $61^{\circ}46'37.36''$  с.ш.;  $34^{\circ}28'51.73''$  в.д.) Онежского озера с глубины 23.3 метра в конце мая 2016 года. Пробоотбор осуществлялся с борта научно-исследовательского судна «Профессор Зенкевич» с помощью ударной грунтовой трубки диаметром 127 мм.

### 3.2. Литологический состав донных отложений

Литологическое описание выполнялось в научной Лаборатории геоморфологических и палеогеографических исследований полярных регионов и Мирового океана СПбГУ.

Верхние 0.05 м представлены песчано-глинистым жидким наилком темно-бурого цвета. Ниже (0.05–0.56 м) залегает слой песчанистого зеленовато-серого алевролита с увеличением содержания песчаной фракции в направлении нижней границы слоя. Под ним (0.56–1.06 м) вскрывается горизонт алевролитовых глин серого цвета с зеленоватым оттенком в нижней части. Нижняя часть разреза представлена толщей гомогенных пепельно-серых мягкопластичных глин (1.06–1.92 м). В самом низу находятся толщи микроленточных (1.92–2.77 м) и ленточных глин (2.77–3.02 м).

Спорово-пыльцевой и радиоуглеродный анализы выполнялись в Лаборатории геоморфологических и палеогеографических исследований СПбГУ. Диатомовый анализ выполнен на базе Лаборатории географии и гидрологии Института озероведения РАН. Пробоотбор на диатомовый анализ осуществлялся следующим образом: мощность верхнего образца составила 6 см, далее образцы отбирались с разрешением 4 см без пропусков до глубины 0.64 м (две пробы у стратиграфической границы отбирались с разрешением 3 см). В интервале 0.64–1.12 м пробоотбор осуществлялся с разрешением 4 см, пробы отбирались через 4–6 см. В интервале 1.28–2.82 м образцы брались с разрешением 4 см через 15–18 см.

### 3.3. Лабораторная и аналитическая обработка проб

Лабораторная обработка проб для диатомового анализа выполнялась по стандартной методике (*Диатомовые водоросли СССР, 1974*). Пробы для диатомового анализа предварительно высушивались при комнатной температуре и взвешивались для последующего вычисления концентрации створок диатомей в 1 грамме сухого осадка.

Затем пробы помещали в термостойкие стаканы и кипятили полчаса в растворе пирофосфата натрия (на 1 литр приходится 50 грамм пирофосфата). На этом этапе происходит разрыхление и дезинтеграция осадка, что в дальнейшем дает возможность очистить пробу от минеральных (в первую очередь, глинистых) частиц и органического вещества.

Далее пробы подверглись отмучиванию: для удаления глинистой фракции осадок тщательно взмучивали быстрым вращательным движением стакана, оставляли отстаиваться. Слив выполняли 2 раза в сутки (утром и вечером). Данная операция необходима для полного удаления пелитовой фракции, и прекращается при достижении полной прозрачности воды над осадком.

Затем пробы были перенесены в центрифужные пробирки. После 10-минутного центрифугирования воду слили, перевернули пробирки и оставили на сутки, чтобы дать стечь остаткам воды. Затем осадок залили тяжелой жидкостью ( $\text{Cd}_2\text{J}+\text{KJ}$ ) с удельным весом 2.6 и центрифугировали в течение 30 мин.

Далее всплывшую легкую фракцию с диатомеями вместе с тяжелой жидкостью слили из пробирок в стаканы объемом 50 мл, разбавили двумя объемами воды, и, после отстаивания в течение суток, перенесли в пробирки и отмыли от тяжелой жидкости центрифугированием.

При приготовлении постоянных препаратов осадок в пробирке разбавляли известным количеством жидкости и тщательно перемешивали. Каплю полученной взвеси (объемом 0.1 мл) наносили на чистое покровное стекло и оставляли высыхать при комнатной температуре. Затем на нагретое на плитке предметное стекло нанесли среду Эляшева и осторожно подогревали, чтобы расплавить среду. Среда Эляшева используется для четкой видимости деталей структуры, так как она является высокопреломляющей (показатель преломления  $n=1.67-1.68$ ). Далее покровное стекло накладывали на расплавленную каплю среды осадком вниз. Затем предметное стекло снова нагревали, чтобы среда равномерно распределилась под покровным стеклом.

На готовых стеклах подписали номера образцов, глубину взятия пробы, место взятия образца.

Просмотр препаратов производился в горизонтальных рядах на увеличении  $\times 900$  с использованием масляной иммерсии.

В каждом препарате подсчет велся до 500 створок. В препаратах, бедных диатомеями, просматривалось 5 рядов, после чего подсчет прекращался.

На основании сведений об экологических предпочтениях диатомей, взятых из работ Н.Н. Давыдовой (1985) и Г. Ван Дама с соавторами (*Van Dam, 1994*), идентифицированные виды были сгруппированы по их местообитанию, отношению к трофности, рН и сапробности.

Вычисление концентрации створок диатомей выполнялось по методике, предложенной Н.Н. Давыдовой (1985). Диатомовая диаграмма построена с помощью программы для обработки палеоэкологических данных C2 Версия 1.5 (*Juggins, 2007*). Индекс флористического разнообразия вычислялся как отношение количества видов, идентифицированных в данной пробе, к числу подсчитанных створок (*Bennion, 1995*).

При применении количественной методики для выявления роли отдельных видов было принято следующее подразделение диатомей: единичные диатомеи, створки которых составляют менее 1% от их общей численности, обычные – от 1 до 5%, массовые – более 5%. Доминантами при количественной методике являются диатомеи, составляющие в осадках более 10% створок, субдоминантами – от 5% до 10% (*Давыдова, 1985*).

## Глава IV. Результаты диатомового анализа

В донных отложениях колонки ONG-5 было обнаружено 108 видов и разновидностей диатомей, относящихся к 28 родам. Относительная численность наиболее важных родов и видов диатомовых водорослей, концентрация створок в 1 г. сухого осадка и значения индекса флористического разнообразия (ИФР), а также соотношения экологических групп диатомей показаны на диаграммах (рис. 3 и 4).

По данным диатомового анализа выделено 5 диатомовых зон (ДЗ).

В диатомовой зоне ДЗ-1 (2.82-1.68 м) створки диатомей не встречены.

Диатомовая зона ДЗ-2 (1.52-0.56 м) характеризуется минимальной концентрацией створок за изученный период (от 0.5 до 10.5 тыс. в 1 сухого осадка). В среднем в 5 исследованных трансектах в каждом препарате встречено 4 створки диатомей. Наиболее часто встречается планктонная *Aulacoseira islandica*. В верхней части данной ДЗ отмечается *Aulacoseira subarctica*. Помимо вышеперечисленных видов, также встречены створки бентосных *Navicula aboensis*, *Cocconeis neodiminuta*, *Pinnularia streptoraphe*. В интервале 133-84 см отмечены редкие обломки морских диатомей.

Диатомовая зона ДЗ-3 (0.56-0.42 м) характеризуется максимальной за изученный период численностью планктонной *Aulacoseira islandica* (73-86%). Также отмечена *Aulacoseira subarctica*, содержание которой к верхней границе увеличивается с 10% до 17%. Доля остальных диатомей составляет менее 1%, за исключением *Tabellaria fenestrata*, которая к верхней границе достигла 1.1%, и *Aulacoseira lirata*, которая наоборот у нижней границы составляла 1.1%. В интервале 0.53-0.50 м единично встречена морская *Paralia sulcata* (0.2%). ИФР низкий – 0.02-0.04. Концентрация створок диатомей возрастает с 1.6 млн. в 1 г сухого осадка у нижней границы зоны до 12.6 млн. в средней части ДЗ, и затем у верхней границы снижается до 6.3 млн. Доля планктонных видов составляет 93-96% от общей численности диатомей. Численность обрастателей колеблется в промежутке от 3 до 6%, содержание донных диатомей – менее 1%. По отношению к рН преобладают нейтрофилы (93-96%). По отношению к трофности

преобладают олиго-эвтрофные диатомеи (74-86%), обитающие в широком диапазоне трофических условий. Также стоит отметить высокую численность олиго-мезотрофных диатомей, которые к верхней границе увеличиваются до 18%. По отношению к сапробности наибольшей численности достигают бета-мезосапробы (77-86%). Второй по численности группой являются олигосапробы (11-21%).

Для диатомовой зоны ДЗ-4 (0.42-0.18 см) характерно заметное снижение численности *Aulacoseira islandica* (до 50-57 %) и небольшой рост содержания *A. subarctica* (17-25%). В составе диатомовых комплексов появляется *Aulacoseira alpigena*, которая постепенно увеличивается в численности с 0.1% у нижней границы до 3.1% у верхней. Содержание *Aulacoseira granulata* составляет ок. 1%. Доля *A. lirata* в нижней части ДЗ – чуть более 1%, а в верхней части – этот вид не встречается. Среди «обычных» видов появляется *Cyclotella bodanica* (не более 2.1%), а численность *C. schumannii* увеличивается до 1.4% в середине интервала. Содержание *Cocconeis placentula* var. *lineata* составляет 1.3% у нижней границы ДЗ, затем он встречается лишь единично. *Achnanthes minutissima* в середине ДЗ достигает 1.5%, в верхней части отмечен единично. Значений субдоминанта в нижней части ДЗ достигает вид *Tabellaria fenestrata* (6.5%), выше ее численность снижается до 4%. Численность *Fragilaria construens* var. *venter* достигает своего максимального значения (ок. 6.6%). Отмечается резкое увеличение численности обрастателей (до 24%). Относительная численность донных диатомей тоже несколько повышается до чуть более 2%. Среди донных диатомей статистически значимой численности достигает *Navicula radiosa* (1.3%). По отношению к рН продолжают преобладать нейтрофилы, но их численность снизилась до 80-85%. Несколько возросло содержание алкалофилов и ацидофилов (7-14% и 3-7%, соответственно). По отношению к трофности, так же как и в ДЗ-3, доминируют олиго-эвтрофные диатомеи, но их численность резко сократилась до значений в 48-60%. Доля олиго-мезотрофных диатомей увеличилась в среднем в два раза по сравнению с ДЗ-3, достигнув значений 23-28%. Численность остальных групп возросла незначительно. По отношению к

сапробности преобладают бета-мезосапробы, численность которых колеблется в пределах 63-74%. Возросло содержание олигосапробов (до 34%). Также отмечены альфа-мезосапробы, ранее не встречавшиеся, однако, их численность невысока (не более 1.2%). Значения ИФР возрастают до 0.06 у нижней границы и снижаются до 0.04 у верхней. Концентрация створок диатомей уменьшается, составляя 4.7 млн. в нижней части зоны, и 3 млн. – в верхней.

В диатомовой зоне ДЗ-5 (18-0 см) в составе диатомовых комплексов по-прежнему преобладает *A. islandica* (48-58%). Как и в ДЗ-4, *A. subarctica* является со-доминантом, при этом ее содержание постепенно возрастает с 17% до 22-24%. Наибольшей численности из остальных диатомей рода *Aulacoseira* достигают виды *A. alpigena* (3.5%) и *A. granulata* (1.5%). Среди «обычных» видов увеличивается доля *Cyclotella radiosa* (до 1.4%), а у верхней части зоны численность *C. schumannii* достигает 1.2%. В общем, суммарное содержание планктонных (77-84%), диатомей-обрастателей (14-19%) и донных (2-3%) практически не изменяются по сравнению с ДЗ-4, происходят лишь незначительные колебания. Среди обрастателей наибольшей численности достигает *Tabellaria fenestrata* (пиковое значение 6.7%), являющаяся субдоминантом. Среди «обычных» встречаются *T. flocculosa* (не более 3.1%), *Cocconeis placentula* (не более 1.4%), *Fragilaria construens* (не более 2.4%), *F. construens* var. *venter* (не более 4%) и *F. lapponica* (не более 1.6%). Среди донных чаще других попадалась *Amphora pediculus*, которая ранее не встречалась в составе диатомовых комплексов (не более 1%). По отношению к рН по-прежнему преобладают нейтрофилы (79-88%), содержание алкалифилов и ацидофилов изменяется незначительно (7-12% и 2-9%, соответственно). По отношению к трофности тоже нет особых изменений: олиго-эвтрофные диатомеи составляют 49-59%, а численность олиго-мезотрофных диатомей – 24-32%. Эвтрофные диатомеи достигают своего пика – почти 5%. По отношению к сапробности преобладают бета-мезосапробы, численность которых колеблется в пределах 62-73%. Доля олигосапробов составила 24-33%. Значение ИФР достигает максимума

за изученный период – 0.08 в середине интервала. Зона характеризуется резким увеличением концентрации створок по сравнению с ДЗ-4 (9-12.5 млн.).

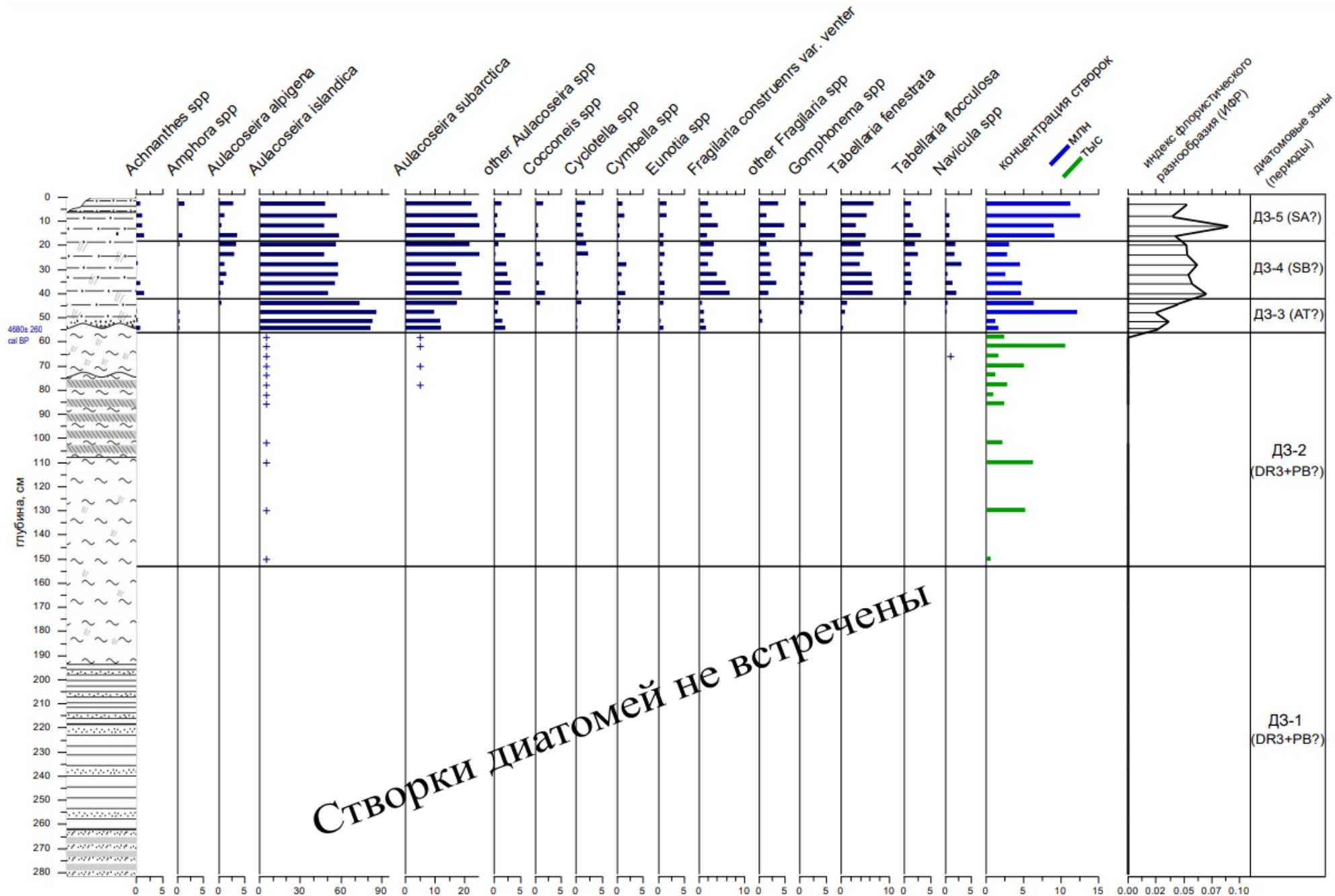


Рис. 3. Диатомовая диаграмма колонки ONG-5. Относительная численность основных видов и родов диатомей (в %), индекс флористического разнообразия (ИФР), концентрация створок диатомей (в 1 г сухого осадка) и диатомовые зоны

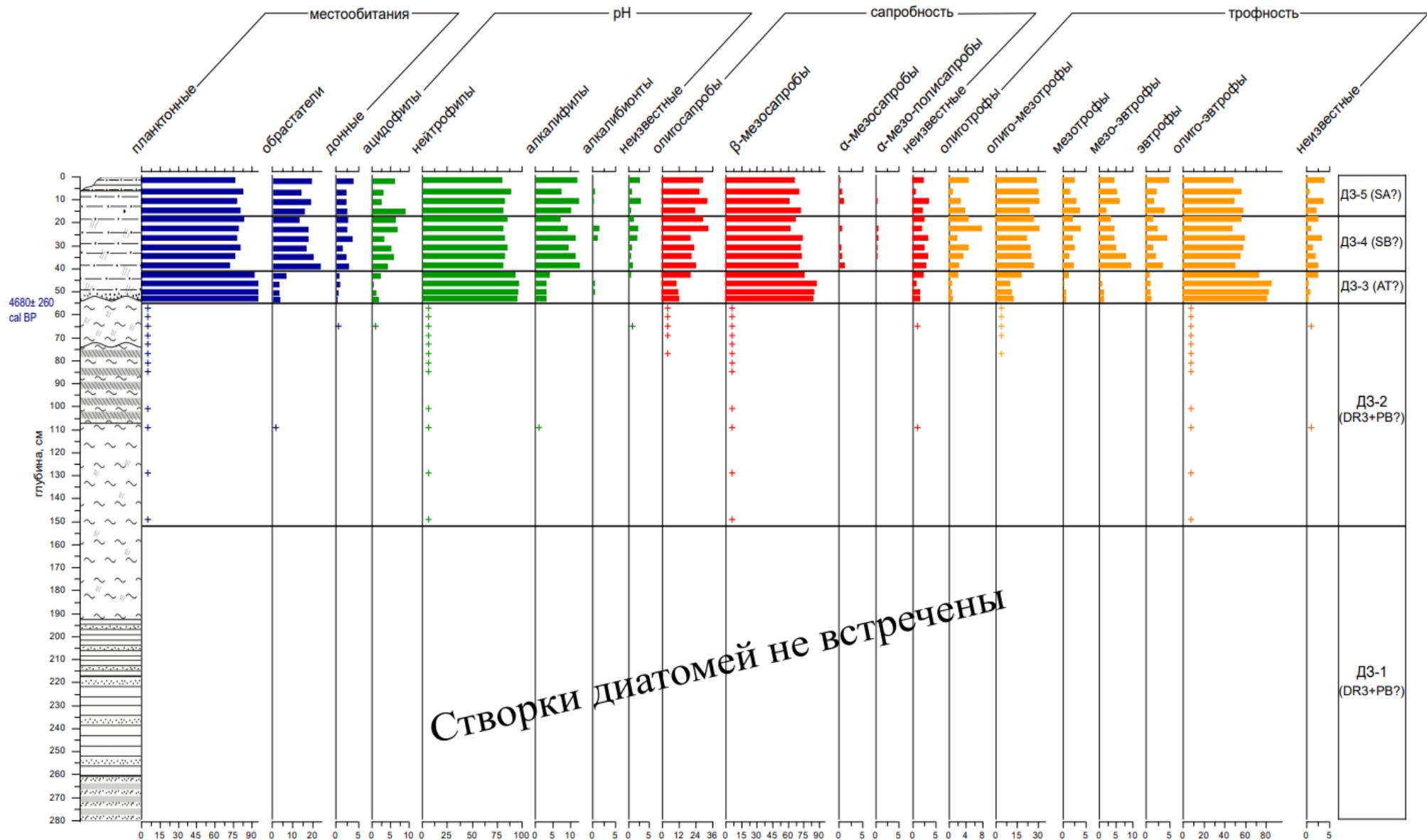


Рис. 4. Диатомовая диаграмма колонки ONG-5. Соотношение представителей основных экологических групп диатомей (в %) и диатомовые зоны

## Глава V. Изменения условий среды в Петрозаводской губе Онежского озера по данным диатомового анализа

Выделенные нами ДЗ соответствуют четырем этапам развития района исследования (табл. 6).

Этапы развития	Доминанты	Субдоминанты	Средняя концентрация створок
4 (SA?)	<i>Aulacoseira islandica</i> , <i>A.subarctica</i>	<i>Tabellaria fenestrata</i>	10.4 млн/г
3 (SB?)	<i>Aulacoseira islandica</i> , <i>A.subarctica</i>	<i>Tabellaria fenestrata</i> , <i>Fragilaria construens</i> var. <i>venter</i>	3.7 млн/г
2 (AT?)	<i>Aulacoseira islandica</i> , <i>A.subarctica</i>	-	5.3 млн/г
1 (DR3+PB?)	-	-	3.5 тыс/г

Таблица 6. Доминант-субдоминантные комплексы диатомей в донных отложениях колонки ONG-5

На наиболее раннем этапе, соответствующем ДЗ-1 и ДЗ-2, отсутствие створок или их низкая концентрация связана с высоким терригенным разбавлением, характерным для приледникового водоема, возникшего в котловине Онежского озера около 14.5 тыс. лет назад (*Субетто, 2019*). Кроме того, в позднеледниковье – раннем голоцене развитию диатомей препятствовали низкая прозрачность водной толщи, а также дефицит биогенных элементов, в первую очередь фосфора и растворенного кремнезема. Низкое содержание биогенных элементов характерно для талых ледниковых вод (*Лудикова, Кузнецов, 2018*). Полное или практически полное отсутствие створок диатомей в ленточных глинах (ДЗ-1, ДЗ-2) типично для осадков приледниковых бассейнов. Похожая ситуация была в колонках донных отложений позднеледниковья в Ладожском и Онежском озерах, где наблюдалось крайне низкое содержание створок диатомей вплоть до их отсутствия в отдельных горизонтах (*Лудикова, Кузнецов, 2018*). Подобное наблюдалось и в колонке на Большой губе Повенецкого залива, где была крайне низкая

концентрация или образцы вообще оказывались немymi (Давыдова, 1976). Толща ленточных глин бежевого, бежегато-серого цвета, отмеченная в нижней части колонки, сформировалась в позднеледниковое время (Демидов, 2006; Гурбич и др., 2017). Нахождение обломков морских диатомей свидетельствует об интенсивности процессов размыва и переотложения, которые были наиболее активны в поздне- и послеледниковые (Давыдова, 1985). Перекрывающие гомогенные глины, по-видимому, накапливались в пребореальное время. Отложения по-прежнему бедны диатомовыми створками, однако их концентрация несколько выше (Давыдова, 1976). Бедность осадков диатомеями показывает, что природные условия в озере оставались достаточно суровыми.

На втором этапе, соответствующем ДЗ-3, существенно возрастает концентрация створок. Господство планктонных диатомей наряду с монодоминированием *A. islandica* и увеличение видового разнообразия по сравнению с предыдущим этапом говорит о существовании в этом районе озера более благоприятных условий для развития группы диатомей планктона (Давыдова, 1976). Наиболее высокий процент створок планктонных диатомей, отмечаемый на данном этапе, возможно, свидетельствует о существовании глубоководных обстановок. Схожий состав диатомовых комплексов отмечался в отложениях конца атлантического периода в Илемгубе. Там, как и в ДЗ-3 разреза ONG-5 Петрозаводской губы, господствует *A. islandica*, прочие диатомеи малочисленны. Содержание створок в нижней части интервала более низкое и возрастает к верхней границе интервала. Н.Н. Давыдова отмечает, что в осадках первой половины атлантического периода численность диатомей невелика, а затем существенно возрастает к концу атлантического периода (Давыдова, 1976). Также на отметке в 0.56 м наблюдается резкий характер контакта с характерной прослойкой алевритового песка, указывающий на размыв отложений. Существенное различие концентраций створок диатомей и разнообразия видового состава диатомовых комплексов на первом и втором этапах дает основание предполагать перерыв в осадконакоплении, с которым связаны столь заметные изменения в диатомовой флоре (Давыдова, 1976).

Аналогичный размыв позднеплейстоцен–раннеголоценовых отложений Онежского озера отмечался ранее в разрезе озерно-болотных осадков острова Б. Клименецкого, расположенного к югу от Заонежского полуострова (Лудикова, Кузнецов, 2018). Н.Н.Давыдова также указывает на размыв бореальных осадков в Повенецком заливе и в колонке на Большом Онего (Давыдова, 1976). Возможно, в бореале растаяли глыбы мертвого льда и вечная мерзлота, вследствие чего начались процессы речной эрозии на водосборе (Давыдова, 1976). Радиоуглеродное датирование отложений колонки ONG-5 с глубины 0.5 м показало возраст  $4680 \pm 260$  кал. л.н. (Savelieva, Rybalko, 2018), указывающий на то, что верхние 50 см разреза охватывают суббореальный и субатлантический периоды. Согласно же данным спорово-пыльцевого анализа донные отложения данного интервала также содержат пыльцу и споры конца атлантического периода (Savelieva, Rybalko, 2018). Особенности видового состава диатомовых комплексов и значения концентраций створок, также позволяют предположить, что данный интервал охватывает поздний атлантический период.

Третий этап, соответствующий ДЗ-4, характеризуется резким снижением концентрации створок, что может быть следствием увеличения скорости осадконакопления или снижения продуктивности диатомовых сообществ. Доля участия планктонных диатомей здесь несколько ниже, чем в отложениях предыдущего этапа. Это может быть связано со снижением уровня воды в озере. Увеличение доли диатомей обрастаний может быть связано с усилением развития в озере зарослей макрофитов (Давыдова, 1976). Появление в качестве субдоминантов обрастателей *Tabellaria fenestrata* и *Fragilaria construens* var. *venter* указывает на увеличение доступности субстрата для колонизации. Это, в свою очередь, может быть результатом увеличения площадей мелководий (Давыдова, 1976). Увеличилась численность и донных диатомей, что свидетельствует о постепенном понижении уровня водоема. Возможно, снижение уровня водоема связано с гляциоизостатическим поднятием северной части Онежского озера, процесс которого замедлился во вторую половину

голоцена (*Бискэ и др., 1971*). Осадки отличаются более разнообразным доминирующим комплексом. В составе диатомовых комплексов по-прежнему доминирует *Aulacoseira islandica*, при этом доля *A. subarctica* возросла на порядок. Именно на данном этапе отмечается более высокое видовое разнообразие по сравнению с предыдущим этапом. Доля нейтрофилов снизилась и возросла доля алкалифилов, что может говорить о некотором изменении pH среды. Видовой состав диатомей хорошо коррелируется с отложениями суббореального периода в колонках, отобранных ранее в разных частях Онежского озера. Как и в ДЗ-4 разреза ONG-5 Петрозаводской губы, наряду с доминированием планктонных диатомей (60-80%) снижается процент планктона, растет доля диатомей обрастаний и донных диатомей (*Давыдова, 1976, 1985*). Отмечается доминант *A. islandica* и субдоминанты *A. italica*, *A. distans* var. *alpigena* (*Давыдова, 1976*). Отсутствие упоминания *A. subarctica* в более ранних работах по Онежскому озеру объясняется тем, что различные морфотипы *A. subarctica* ранее были ошибочно идентифицированы как три разных таксона, а именно *Aulacoseira italica*, *A. italica* ssp. *subarctica* и *A. distans* var. *alpigena* (*Ludikova, 2021*).

Допуская возможность соответствия данного этапа суббореальному периоду, необходимо отметить, что предыдущие исследования, напротив, отмечают высокое (в некоторых районах – максимальное) содержание створок в отложениях суббореального времени (*Давыдова 1976, 1985*). Это объясняется установлением наиболее благоприятных обстановок для развития диатомовых водорослей (сравнительно влажный и умеренно-теплый климат; *Давыдова 1976*). Таким образом, можно предположить, что низкие значения концентрации створок на данном этапе не являются результатом климатических изменений. Предполагаем, что они свидетельствуют об увеличении объемов осадочного материала, поступающего с водосбора. По данным исследований в заливе Илемгуба, в суббореальное время, возможно, уже начался процесс эвтрофирования под влиянием сведения лесов на водосборе (*Давыдова, 1985*). Это выразилось в существенном увеличении доли бентосных диатомей (до

35%). Однако наши результаты не позволяют выделить свидетельство антропогенного воздействия в Петрозаводской губе в суббореальном периоде.

На современном четвертом этапе (предположительно субатлантический период), соответствующем ДЗ-5, существенно возрастает содержание диатомей в осадках по сравнению с предыдущим этапом, что может свидетельствовать о снижении скорости осадконакопления. Видовой состав диатомового комплекса

в целом не изменяется, что можно охарактеризовать как стабилизацию уровня воды. На фоне господства планктонных диатомей доля *Aulacoseira islandica* незначительно снижается, тогда как численность *A. subarctica* по сравнению с предыдущим этапом несколько возрастает. Преобладание планктонных диатомей свидетельствует о сравнительно глубоководных условиях. В общем, наблюдается некоторое обеднение видового состава, за исключением пробы с глубины 0.14-0.18 м, где наблюдается очень высокое разнообразие. Увеличение в осадках доли *A. subarctica* может говорить об изменении рН среды (Давыдова, 1985). Подобный видовой состав диатомовых комплексов характерен для отложений субатлантического времени разных районов Онежского озера, где планктонные *A. islandica* и *A. distans* var. *alpigena* (в современном понимании – *A. subarctica*) сохраняют доминирование. Однако в нашем же случае концентрация диатомей выше, чем в ранее исследованных отложениях субатлантики. Н.Н. Давыдова отмечает некоторое снижение численности диатомей в центральной части Онежского озера, в заливе Малое Онего и в Повенецком заливе в субатлантическое время по сравнению с суббореальным, что связано с некоторым ухудшением климатических условий.

Кроме того, в коротких колонках, взятых в заливе Большое Онего, в Кандапожской губе и Повенецком заливе, антропогенное эвтрофирование нашло отражение в увеличении доли алкалифилов и алкалибионтов (*Онежское озеро, 1999*). Содержание ксено- и олигосапробов (обитатели чистых вод) снижается с 49% до 19%, по-видимому, испытывая угнетение. Ведущей по

численности в диатомовых комплексах является *A.islandica* (30% от общей численности диатомей в нижней части разреза, а вверх по разрезу ее доля сокращается до 3%). В верхних слоях резко возрастает роль планктонных пеннатных видов, являющихся индикаторами эвтрофирования (*Asterionella formosa*, *Tabellaria fenestrata*, *Fragilaria capucina*). В нашем разрезе мы наблюдаем некоторое увеличение эвтрофных диатомей (*Aulacoseira ambigua*, *A.granulata*) на 3 этапе, однако оно остается без изменений на протяжении современного этапа, и не превышает 5% от общей численности. Также мы можем наблюдать в нашем разрезе увеличение на 3 и 4 этапах *Tabellaria fenestrata* (до 6-7%). Однако *T. fenestrata*, самый распространенный вид в эпифитных диатомовых сообществах Онежского озера, также обычен в сообществах летнего и осеннего планктона из-за переноса его длинных лентовидных колоний из мелководных частей озера, где он обрастает макрофиты (*Ludikova et al, 2020*). Таким образом, наши результаты не позволяют выявить процессы антропогенного эвтрофирования.

## Заключение

В ходе работы автором была освоена методика лабораторной обработки проб для диатомового анализа, получены навыки определения видов диатомей Онежского озера.

Были решены все поставленные задачи, а также достигнута главная цель работы, - анализ изменения условий среды и установление этапов развития Петрозаводской губы Онежского озера на основе собственных данных в сопоставлении с материалами предыдущих исследований.

Выполнена лабораторная обработка проб для диатомового анализа и микроскопическое исследование проб донных отложений из колонки ONG-5.

По результатам диатомового анализа были выделены диатомовые зоны, характеризующиеся различным видовым составом, соотношением экологических групп диатомей и содержанием створок диатомовых водорослей. Это позволило охарактеризовать основные этапы развития Петрозаводской губы Онежского озера в позднеледниковье – голоцене. Сопоставление полученных данных с результатами предыдущих исследований, позволило сравнить историю развития Петрозаводской губы с другими районами Онежского озера.

Наиболее ранний этап развития связан с обстановками приледникового озера, возникшего в Онежской котловине после дегляциации. Бедность осадков диатомеями в позднеледниковье связана с низкой продуктивностью диатомовых водорослей в условиях дефицита биогенных элементов и высокой скоростью осадконакопления в условиях приледникового бассейна. В раннем голоцене суровые природно-климатические условия также ограничивали развитие диатомей.

Резкий рост содержания створок и увеличение видового разнообразия диатомей в осадках следующего этапа свидетельствуют о перерыве в осадконакоплении на рубеже первого и второго этапов. Второй этап характеризуется более благоприятными условиями для развития диатомовых водорослей. Этап характеризуется увеличением продуктивности диатомовых

сообществ и более глубоководными условиями. Особенности состава диатомовых комплексов и изменения концентрации створок в осадках позволили соотнести рассматриваемый этап с поздним атлантическим периодом.

Третий этап характеризуется увеличением скорости осадконакопления или снижением продуктивности диатомей в условиях более прохладного климата. В Петрозаводской губе увеличиваются площади мелководий, зарастающих макрофитами. Вероятно, происходит снижение уровня водоема. Особенности состава диатомовых комплексов позволяют соотнести рассматриваемый этап с суббореальным периодом.

На четвертом этапе возрастает продуктивность диатомовых сообществ, уровень воды существенно не меняется. Состав диатомовых комплексов указывает на то, что рассматриваемый этап сопоставим с субатлантическим периодом.

Были также сделаны следующие выводы относительно основных особенностей состава диатомовых комплексов:

1. Доминирующие виды (*Aulacoseira islandica*, *A. subarctica*) характерны для голоценовой диатомовой флоры Онежского озера.

2. Изменение видового разнообразия отражает общий ход развития диатомовой флоры Онежского озера – постепенное обогащение ее видового состава, с наибольшим видовым разнообразием, отмечаемым в суббореальное время.

3. Изменения концентраций диатомей соответствуют изменениям продуктивности экосистемы (изменения природно-климатических обстановок) и условий седиментации.

4. Сравнение полученных результатов с данными предыдущих исследований показало, что изменения состава диатомовых комплексов донных отложений Петрозаводской губы в целом сопоставимы с таковыми в других районах Онежского озера.

Свою благодарность автор выражает научному руководителю, Савельевой Ларисе Анатольевне. Невозможно не упомянуть старшего научного сотрудника Института озероведения РАН, Лудикову Анну Валерьевну, которая всеми силами направляла и давала ценные советы в ходе написания курсовой работы, а также обучила лабораторной и аналитической обработке проб для диатомового анализа. Также хочется поблагодарить коллектив Лаборатории «Геоморфологических и палеогеографических исследований полярных регионов и Мирового океана» Института наук о Земле СПбГУ за возможность получения радиоуглеродного возраста отложений.

### Список использованной литературы

1. Бискэ Г.С., Лак Г.Ц., Лукашов А.Д., Горюнова Н.Н., Ильин В.А. Строение и история котловины Онежского озера. Петрозаводск: Изд-во «Карелия», 1971. 74 с.
2. Гурбич В.А., Потахин М.С., Субетто Д.А. Стратиграфия донных отложений реликтовых водоемов Онежского озера (на примере оз. Полевское) // Астраханский вестник экологического образования №3, 2017. С. 4-13.
3. Давыдова Н.Н. Комплексы диатомей в донных отложениях Онежского озера. // Палеолимнология Онежского озера. Л.: Наука, 1976. С. 130-191
4. Давыдова Н.Н. Диатомовые водоросли – индикаторы экологических условий водоемов в голоцене (Монография). Л.: Наука, 1985. 244 с.
5. Демидов И.Н. О максимальной стадии развития Онежского приледникового озера, изменении его уровня и гляциоизостатическом поднятии побережий в позднеледниковье // Геология и полезные ископаемые Карелии. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2006. С. 171-178.
6. Диатомовые водоросли СССР. Ископаемые и современные. Ред. Прошкина-Лавренко А.И. Т.1. Л.: Наука, 1974. 403 с.
7. История Ладожского, Онежского, Псковско-Чудского озер, Байкала и Ханки. Квасов Д.Д., Кошечкин Б.И., Аманатов А.В. и др. АН СССР, Институт озероведения. Л.: Наука, 1990. 279 с.
8. Комулайнен С.Ф., Антипина Г. С., Вислянская И.Г., Иешко Т. А., Лак Г. Ц., Чекрыжева Т. А., Шаров А. Н., Шелехова Т. С. Библиография работ по водорослям Европейского Севера России (Республика Карелия, Мурманская область). Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2006. 67 с.
9. Лаврова М.А., Ладышкина Т.Е. К вопросу о позднеледниковом Балтийско-Беломорском соединении // Baltica. Т.2, 1965. С.71-97
10. Лудикова А.В., Кузнецов Д.Д., 2018. Изменения уровня Онежского озера в позде-, послеледниковое время по данным изучения разреза

- озерно-болотных отложений острова Большого Клименецкого // Труды КарНЦ РАН №9, 2018. С. 103-114.
11. Онежское озеро. Атлас. Ред. Н.Н. Филатов. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2010. 151 с.
  12. Онежское озеро. Экологические проблемы. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 1999. 293 с.
  13. Петрова Н. А. Фитопланктон Онежского озера // Растительный мир Онежского озера. Л.: Наука, 1971. С. 88-127.
  14. Растительный мир Онежского озера. Ред. И.М. Распопов. Л.: Наука, 1971. 194 с.
  15. Субетто Д.А., Потахин М.С., Зобков М.Б., Тарасов А.Ю., Шелехова Т.С., Гурбич В.А. Развитие Онежского озера в позднеледниковье по результатам ГИС-моделирования. // Геоморфология. 2019. С. 83-90.
  16. Тимакова Т.М., Сабылина А.В., Полякова Т.Н., Сярки М.Т., Теканова Е.В., Чекрыжева Т.А. Современное состояние экосистемы Онежского озера и тенденции ее изменения за последние десятилетия. // Труды КарНЦ РАН № 4. 2011. С. 42–49
  17. Чекрыжева Т.А. Таксономическая и экологическая характеристика фитопланктона Онежского озера // Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН, 2012. С. 56–69.
  18. Чекрыжева Т.А. Диатомовые водоросли в планктоне Онежского озера. // Труды КарНЦ РАН № 4. 2015. С. 110–116
  19. Bennion H. Surface-sediment diatom assemblages in shallow, artificial, enriched ponds, and implication for reconstructing trophic status // Diatom Research, 1995. P. 1-19
  20. Juggins S. C2 Version 1.5 User guide. Software for ecological and paleoecological data analysis and visualisation. Newcastle University, Newcastle upon Tyne, 2017. 73 p.

21. Ludikova A.V., Belkina N.A., Strakhovenko V.D., Subetto D.A., Potakhin M.S. Diatom assemblages from the sediment traps in Lake Onega: preliminary results. // *Limnology and Freshwater Biology* 2020. P. 446-447
22. Ludikova A.V. Long-Term Studies Of Surface-Sediment Diatom Assemblages In Assessing The Ecological State Of Lake Ladoga, The Largest European Lake. // *Geography, Environment, Sustainability*. 2021. P. 251-262
23. Savelieva L.A., Rybalko A.E. Response of vegetation to climate changes during late glacial and Holocene inferred from pollen record of lake Onega. 2018. P. 105-106.
24. Van Dam H., Mertens A., Sinkeldam J. A coded checklist and ecological indicator values of freshwater diatoms from the Netherlands. *Netherlands journal of aquatic ecology* 28, 1994. P. 117-133.
25. <https://water-rf.ru/> - Научная энциклопедия «Вода России». Дата обращения: 20 мая 2021.