На правах рукописи

Неплюхина Алиса Андреевна

ДИАТОМОВЫЕ ВОДОРОСЛИ ТОРФЯНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ КОМАНДОРСКО-АЛЕУТСКОЙ ГРЯДЫ

1.5.15 — экология (биологические науки)

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой
степени кандидата биологических наук

Москва — 2023

Работа выполнена в Лаборатории экологии водных сообществ и инвазий Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова Российской академии наук

Научный руководитель:	**Котов Алексей Алексеевич** доктор биологических наук, Профессор РАН, член-корреспондент РАН, главный научный сотрудник ФГБУН Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН
Официальные оппоненты:	**Разумовский Лев Владимирович** доктор географических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории охраны вод ФГБУН Институт водных проблем РАН
	Мальцев Евгений Иванович кандидат биологических наук, доцент, ведущий научный сотрудник лаборатории молекулярной систематики водных растений ФГБУН Институт физиологии растений им. К. А. Тимирязева РАН
Ведущее учреждение:	**ФГБУН Институт биологии внутренних вод им. И. Д. Папанина РАН (п. Борок Некоузского района Ярославской области**)

Защита состоится «__»_____2024 года в_____час._____мин. на заседании диссертационного совета 24.1.109.01 при Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН по адресу: 119071, г. Москва, Ленинский проспект, д. 33.

Тел./факс: +7(495)952-35-84, e-mail:admin@sevin.ru.

С диссертацией и авторефератом можно ознакомиться в библиотеке Отделения биологических наук Российской академии наук по адресу: 119071, г. Москва, Ленинский проспект, д. 33; на сайте ФГБУН ИПЭЭ РАН по адресу: www.sev-in.ru и на сайте Высшей аттестационной комиссии по адресу vak.minobrnauki.gov.ru

Автореферат разослан «___»_____ 20 года.

Ученый секретарь диссертационного совета, к.б.н. Кацман Елена Александровна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Палеоэкология – одно из важнейших направлений современной науки, интерес к которому существенно повысился в связи с необходимостью предсказания экосистемных последствий глобальных изменений окружающей среды, в первую очередь, климата. Проведение палеореконструкций, расширяющих и дополняющих современные представления об изменении климата в прошлом, привлекает все большое число специалистов, работающих в разных областях биологических наук. В настоящее время выполнены многочисленные работы, описывающие климатические изменения в прошлом для больших территорий и даже материков, однако слабоизученные территории, к которым относятся островные архипелаги, зачастую остаются неохваченными вниманием палеоэкологов.

Экосистемы континентальных водоемов формируются под воздействием климата, поэтому их структура и особенности являются его прямым отражением (Vincent et al., 2011; Goldman et al., 2013; Grimm et al., 2014). Экосистемы архипелагов отличаются от материковых своей изолированностью и разной скоростью протекания основных биологических процессов (Smith, Steenkamp, 1990; Harter et al., 2015). Мало того, отдельные острова некоторых архипелагов в разные периоды прошлого могли соединяться и терять сухопутную связь друг с другом, что усложняет анализ прошлого их экосистем.

Подобным архипелагом является Командорско-Алеутская островная гряда, часть которой в прошлом входила в состав Берингии, обширного сухопутного моста между Евразией и Северной Америкой. От остальных архипелагов Командорско-Алеутскую гряду отличает ее расположение в пределах всего четырех градусов широты, выраженный океанический климат, частые вулканические события и низкая степень антропогенного воздействия, как в плейстоцене-раннем голоцене, так и в настоящее время. Все эти факторы, несомненно, оказывали влияние на формирующиеся на островах наземные и водные экосистемы.

Современные методы и инструменты, используемые в палеореконструкциях, весьма разнообразны. Комплексные работы включают в себя анализ различных остатков биологических объектов (диатомовый, спорово-пыльцевой, остракодный, хирономидный анализы) в отложениях различного генезиса в совокупности с метеорологическими, гидрохимическими и геологическими данными и радиоуглеродным датированием возраста отложений. Диатомовые водоросли являются общепризнанным и удобным объектом для проведения палеореконструкций, а диатомовый анализ позволяет реконструировать такие показатели среды, как уровень воды, величины pH и

электропроводности, температуру воды и трофность водоема (Battarbee, 1984; Smol, Stoermer, 2010). Кремнеземные панцири – отличительная черта диатомовых водорослей, позволяющая определять их остатки в отложениях с точностью до вида. Диатомовые водоросли обитают в почвах, моховых подушках, в пресных, солоноватых и морских водах, а их панцири прекрасно сохраняются как в озерных, так и в торфяных отложениях (Round et al., 1990; Smol et al., 2005). Изменение видового состава диатомовых водорослей в отложениях может служить отражением тех или иных изменений климатических условий или других, более локальных, факторов в прошлом. Изучение диатомовых водорослей региона, а также использование анализа их остатков в голоценовых отложениях как инструмента для проведения палеореконструкций, несомненно, расширит представление о разнообразии диатомовых водорослей островных систем Берингийской зоны в голоцене и позволит дополнить новой информацией уже имеющиеся реконструкции паттернов изменения климатических условий в северной части бассейна Тихого океана.

Степень разработанности проблемы. Несмотря на то, что история изучения флоры диатомовых водорослей региона насчитывает более ста лет (Saunders, 1901), адекватно исследованной ее назвать нельзя. Только для некоторых островов Командорско-Алеутской гряды (о. Беринга, о. Адак) и некоторых частей материковой Аляски и Камчатки современная диатомовая флора и структура диатомовых сообществ изучены относительно подробно. Подавляющее большинство островов, как крупных, так и мелких, остаются до сих пор в этом аспекте неизученными.

Ряд групп исследователей применил комплексный подход для реконструкций палеобстановок как для материковой Аляски (Kaufman et al., 2012), так и для ряда Алеутских островов (Caissie et al., 2010; Causey et al., 2005; Smyshlyaeva et al., 2021а,б; Смышляева, 2022). Однако диатомовый анализ при этом проведен не был, хотя очевидно, что данные по диатомовым водорослям могли бы пролить свет на некоторые вопросы, оставшиеся нерешенными в результате предыдущих палеореконструкций, основанных на анализе остатков других групп животных и растений.

Цель и задачи исследования. Целью данной работы является анализ разнообразия, динамики видового состава и состава сообществ диатомовых водорослей в голоцене в водоемах, расположенных на разных островах Командорско-Алеутской гряды, по результатам изучения торфяных отложений.

Для выполнения цели были поставлены следующие задачи:

1. Выявить таксономический состав диатомовых водорослей торфяных отложений островов;

2. Оценить сохранность панцирей диатомовых водорослей в изученных отложениях;

3. Изучить относительное количественное содержание видов диатомовых водорослей в отложениях четырех островов Командорско-Алеутской гряды;

4. Провести эколого-географический анализ исследованных сообществ из отложений;

5. Провести анализ послойного распределения видов диатомовых водорослей в колонках торфяных отложений;

6. Реконструировать историю развития водоемов, существовавших в голоцене на месте изученных торфяных отложений;

7. Оценить влияние локальных и глобальных факторов на динамику сообществ диатомей в голоцене.

Научная новизна. В ходе выполнения работ впервые получены списки таксонов диатомовых водорослей, обитавших в голоцене в водоемах островов Шемья, Адак, Карлайл и Уналашка, а для острова Уналашка впервые получен список таксонов диатомовых современных водоемов. Впервые комплексно описана динамика видового состава голоценовых сообществ диатомовых водорослей торфяных отложений на ряде Алеутских островов, а также сделана попытка выявить ее взаимосвязь с изменениями параметров среды (локальных и глобальных). Получены представления о закономерностях развития пресноводных экосистем островов высоких широт в условиях выраженного океанического климата и повышенной вулканической активности. Впервые для региона Алеутских островов результаты диатомового анализа были подвергнуты аккуратной статистической обработке, что позволило достоверно выявить факторы среды, в наибольшей степени повлиявшие на динамику диатомовых сообществ в голоцене. Находки новых для науки таксонов диатомовых водорослей, к настоящему времени известных исключительно из торфяных отложений или из современных внутренних водоёмов отдельных островов, подтверждают предположения о высокой степени эндемизма хотя бы некоторых родов диатомей в регионе. Дальнейшие работы по идентификации еще не определенных таксонов с высокой долей вероятности приведут к описанию новых для науки видов. Накоплен значительный фотоматериал, содержащий изображения створок изученных таксонов, который может быть использован для уточнения статуса отдельных таксонов в результате подробных таксономических ревизий. Сделаны выводы о возможных причинах плохой сохранности створок в том или ином отложении.

Теоретическое и практическое значение работы. Результаты данного исследования вносят существенный вклад в понимание разнообразия и динамики сообществ диатомовых водорослей во внутренних водоемах на Алеутских островах в голоцене. Показано влияние локальных факторов среды на сообщества диатомовых водорослей пресных водоемов в голоцене в условиях повышенной вулканической активности в регионе. Полученные представления об изменении видового состава диатомей в ответ на потепления и похолодания в голоцене могут помочь в построении предиктивных моделей изменения водных сообществ в связи с изменением климата в будущем. Полученные списки видов могут быть использованы специалистами для сравнения флор разных регионов. Полученные данные о связи выявленных факторов среды и численностей отдельных таксонов диатомовых могут быть использованы специалистами-экологами при проведении биомониторинга состояния современных водных объектов Командорско-Алеутской гряды, а также палеоэкологами для реконструкции палеообстановок в других регионах. Накопленные в ходе работы многочисленные фотоматериалы (более 8000 тысяч фотографий створок) в перспективе могут лечь в основу атласа-монографии, посвященной диатомовой флоре региона, а также могут быть использованы для машинного обучения автоматизированных инструментов для точной идентификации створок диатомовых. Результаты диссертации могут быть использованы при разработке учебных курсов по альгологии, экологии и палеоклиматологии.

Методы исследования. Материалом для диссертации послужили колонки из четырех торфяных отложения в западной, центральной и восточной частях Командорско-Алеутской гряды, в которых видовой состав и динамика диатомовых водорослей в голоцене ранее не были изучены. В работе использованы диатомовый анализ (определение таксономического состава, относительно обилия створок в слоях отложений, эколого-географический анализ) и статистический анализ полученных данных (кластерный анализ CONISS, метод главных компонент, обобщенные линейные модели, и пр.). Для изучения строения ультраструктур створок и получения фотографий створок высокого разрешения были использованы методы световой и сканирующей электронной микроскопии.

Положения, выносимые на защиту:

1. На динамику сообществ диатомовых водорослей водоемов, существовавших на Алеутских островах в голоцене, в большей степени влияли локальные факторы, нежели глобальные изменения в регионе.

2. Анализ динамики сообществ диатомовых водорослей на четырех островах

поддерживает предположение об общей направленности климатических изменений в регионе.

3. Диатомовая флора Алеутских островов в целом представлена космополитическими видами, однако имеется ряд эндемичных таксонов, как встречающихся и поныне, так и найденных исключительно в ранне-среде голоценовых отложениях.

Личный вклад соискателя. Исследования в рамках данной диссертационной работы были спланированы и выполнены автором лично. Пробы, послужившие материалом для исследования, были отобраны сотрудниками ИПЭЭ РАН в ходе предыдущих экспедиций и не были пополнены соискателем в связи с эпидемиологической и политической обстановкой, хотя это изначально планировалось. Автором самостоятельно выполнена вся пробоподготовка, микроскопирование, анализ и обобщение полученных данных, а также подготовка полученных материалов к публикации. Статистический анализ результатов был выполнен соискателем под руководством и согласно рекомендациям А.А. Котова, А.В. Чабовского и Б.Ф. Хасанова (ИПЭЭ РАН). Определение видов диатомовых водорослей было выполнено соискателем под руководством экспертов по их систематике: М.А. Гололобовой и Д.А. Чудаева (МГУ им. М. В. Ломоносова). Подготовка препаратов и их изучение при помощи сканирующего электронного микроскопа выполнены лично соискателем на базе ЦКП МГУ им. М. В. Ломоносова "Кабинет электронной микроскопии" и с использованием оборудования ЦКП "Инструментальные методы в экологии" при ИПЭЭ РАН.

Степень достоверности и апробация результатов. Все статьи, в которых отражены основные положения работы, прошли рецензирование отечественными и зарубежными специалистами-диатомологами, и опубликованы в журналах, представленных в международных базах Web of Science и Scopus. Основные результаты работы были доложены Международной конференции "Диатомовые водоросли: современное состояние и перспективы исследований" (пос. Борок, 24–27 августа 2017 г.), VII Всероссийской научной конференции с международным участием, посвященной 30-летию Института проблем промышленной экологии Севера ФИЦ КНЦ РАН и 75-летию со дня рождения доктора биологических наук, профессора В. В. Никонова (Апатиты, 16–22 июня 2019 г.), V Всероссийской научной конференции с международным участием «Динамика экосистем в голоцене» (к 100-летию Л.Г. Динесмана) (Москва, 17-21 октября 2019 г.), II Всероссийской научно-практической школе-конференции "Наземные и морские экосистемы Причерноморья и их охрана" (Курортное, Феодосия, 28 сентября – 02 октября 2020 г.), Международном молодежном научном форуме "Ломоносов-2021", XVII

Международной научной конференции "Диатомовые водоросли: морфология, биология, систематика, флористика, экология, палеогеография, биостратиграфия" (Минск, 23–28 августа 2021 г.), V международной научной конференции "Палеолимнология северной Евразии" (Санкт-Петербург, 5-10 сентября 2022 г.), VI всероссийской научной конференции "Динамика экосистем в голоцене" (Санкт-Петербург, 17–21 октября 2022 г.), а также межлабораторном коллоквиуме лабораторий экологии водных сообществ и инвазий, почвенной зоологии и общей энтомологии, синэкологии, изучения экологической функций почв, и биоценологии им. В.Н. Сукачева ИПЭЭ РАН (28 августа 2023 г.).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 12 работ, в том числе 4 статьи в изданиях, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией при Министерстве образования и науки Российской Федерации и 8 статей в сборниках материалов конференций.

Структура и объем диссертации. Содержание диссертации изложено на 356 страницах машинописного текста, в двух томах. Работа состоит из введения, списка работ, опубликованных по теме диссертации, благодарностей, трех глав, заключения, выводов, списка литературы и приложений. Первый том содержит 219 страниц, на которых изложен основной текст работы, во втором томе, содержащем 137 страниц, на которых представлены приложения-фототаблицы. Библиографический список содержит 263 источника, в том числе 240 на иностранных языках. Текст проиллюстрирован 42 рисунками и снабжен 23 таблицами в тексте, одной таблицей в Приложении 1 и 69 фототаблицами в Приложении 2.

Благодарности. Я выражаю благодарность своему научному руководителю **Котову Алексею Алексеевичу**, чутко и мудро проведшему меня по всему пути подготовки и написания данной работы, за терпение и уверенность в успехе. Благодарю за поддержку весь коллектив сотрудников лаборатории экологии водных сообществ и инвазий ИПЭЭ РАН. Выражаю искреннюю признательность **Гололобовой Марии Александровне**, без участия и поддержки которой этой работы не состоялось бы. Хочу поблагодарить **Чудаева Дмитрия Алексеевича** за внимательную работу с материалом и плодотворное сотрудничество. Благодарю **Чабовского Андрея Всеволодовича** за проявленный к работе интерес и ее поддержку, а также за помощь в освоении методов статистической обработки данных. Отдельно выражаю благодарность коллективу лаборатории исторической экологии – **Савинецкому Аркадию Борисовичу**, **Хасанову Булату Фаридовичу**, **Смышляевой Олесе Игоревне**, **Крылович Ольге Александровне** и **Кузьмичевой Евгении**

Александровне за предоставленный материал, постоянную информационную поддержку, обсуждение результатов и неизменно теплый прием. Благодарю **Неретину Анну Николаевну** за помощь в освоении методов электронной микроскопии и отзывчивость.

Выражаю благодарность своим коллегам, и, по счастью, добрым друзьям, поддерживавшим меня на всех этапах подготовки диссертации и готовым выручить в трудную минуту: **Изюмовой Екатерине**, **Даниловой Маргарите**, **Соловьевой Марии**, **Звонаревой Софье**, **Коробушкину Даниилу**, **Сайфутдинову Руслану** и **Гарибяну Петру**.

Отдельную благодарность хочу выразить **Петюковой Екатерине** за терпение, поддержку в трудные минуты, готовность вникнуть в суть и ценные комментарии. Я безгранично благодарна своим родителям **Светлане Владимировне** и **Андрею Анатольевичу**, а также брату **Александру** за безусловную поддержку, вдохновение и понимание. И большое спасибо **Окинами**, героически принимавшей участие в рабочих процессах, за моральную поддержку и так необходимые прогулки!

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ №20-34-90011 «Аспиранты» «Диатомовые водоросли Командорско-Алеутской гряды в голоцене».

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

ВВЕДЕНИЕ

Во введении обоснована актуальность темы, обозначены цель и задачи работы, сформулированы степень разработанности проблемы, научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы, перечислены методы исследования и представлены положения, выносимые на защиту.

ГЛАВА 1. ОСОБЕННОСТИ КОМАНДОРСКО-АЛЕУТСКОЙ ГРЯДЫ КАК РЕГИОНА ИССЛЕДОВАНИЯ И ИЗУЧЕННОСТЬ ДИАТОМОВЫХ ВОДОРОСЛЕЙ ДАННОГО РЕГИОНА

В главе подробно рассмотрены физико-географические особенности региона и его связь с Берингией, подробно описан климат региона в голоцене и факторы, влиявшие на климат. Приведен обзор литературы, посвященный истории становления диатомового анализа, а также приведена история изучения современных и ископаемых диатомовых водорослей материковой Аляски и некоторых из островов гряды. Подробно рассмотрены факторы, влиявшие на сообщества диатомовых водорослей Алеутских островов в

голоцене: климатический, вулканический, орнитогенный и антропогенный.

ГЛАВА 2. МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Материал. В рамках диссертационного исследования изучены колонки торфа, отобранные с четырех островов Командорско-Алеутской: Шемья (Ближние о-ва), Адак (Андреяновские о-ва), Карлайл (Четырёхсопочные о-ва), Уналашка (Лисьи о-ва), а также пробы из 11 современных водных объектов на о. Уналашка (рис.1).

Материал со всех островов отобран сотрудниками лаборатории исторической экологии ИПЭЭ РАН в ходе их выездов на Алеутские острова в 1996-2018 гг. Изученные острова расположены в разных секторах гряды, и полученный материал позволяет проанализировать изменения в составе диатомовых сообществ и динамике их структуры на протяжении голоцена вдоль всей островной гряды.

Для всех отобранных торфяных отложений, кроме отложения 6/97 с о. Адак, имеются их полевые описания. Также ранее сотрудниками лаборатории исторической экологии ИПЭЭ РАН получены радиоуглеродные датировки материала торфяных отложений с островов Шемья, Адак и Уналашка (Savinetsky et al., 2014; Смышляева, 2022). Датировки материала из торфяного отложения с острова Карлайл приведены согласно публикации М. Окуно с соавторами (Okuno et al., 2017). Помимо датировок, для материала с островов Карлайл, Уналашка и Шемья имеются данные анализа стабильных изотопов азота ($\delta^{15}N$) и углерода ($\delta^{13}C$), полученные сотрудниками лаборатории исторической экологии ИПЭЭ РАН и используемые как индикаторы локальных условий увлажнения и привноса дополнительного азота в экосистемы соответственно. Для всех торфяных отложений построены модели роста (Смышляева, 2022).

Методы. Очистку образцов от органического содержимого проводили по стандартной методике кипячения в 40% перекиси водорода (Kelly et al., 2001), изготавливали постоянные препараты. Изучение материала проводили методами световой (Leica DM500, Olympus CX-43) и сканирующей электронной микроскопии (Jeol JSM-840A, TESCAN MIRA 3 LMH).

Для определения видов диатомовых водорослей был использован ряд зарубежных монографий серии "Iconographia Diatomologica" (Lange-Bertalot, 1995-2012) и "Bibliotheca Diatomologica" (Krammer, 1985, 1997), монографии, посвященные отдельным родам диатомовых или регионам (Hustedt, 1930; Krammer, Lange-Bertalot, 1991; Krammer, 2000; Lange-Bertalot, 2001; Lange-Bertalot et al., 2011 и др.), а также ряд публикаций, посвященных диатомовой флоре Северной Америки и Канады (Bahls, 2013; Bahls et al., 2018), материковой Аляски (Patrick, Freese, 1960; Foged, 1981; Bahls, Luna, 2018) и

некоторых островов Командорско-Алеутской гряды (Hein, 1990; Potapova, 2014).

Рисунок 1. Карта региона исследования. Точками отмечены острова Адак, Карлайл, Уналашка и Шемья, материал с которых изучен в данной работе.

Построение графиков, отражающих послойное относительное обилие видов во всех изученных колонках, осуществляли с помощью программ Tilia 2.6.1 и Tilia-Graph (Grimm, 2015). Для выявления стадий динамики диатомового сообщества проводили стратиграфически ограниченный кластерный анализ с инкрементальной суммой квадратов (CONISS) (Grimm, 1987).

Для снижения размерности корреляционных показателей относительного обилия таксонов во всех изученных отложениях, использовали анализ главных компонент (principal component analysis, PCA). Статистический анализ проводили при помощи программы Statistica 12 (TIBCO® (StatSoft®, 2021) и программной среды R (R Core Team, 2019) с использованием пакетов vegan, rioja и ggplot2 (Wickham, 2009; Jari et al., 2022; Jiggins, 2022). Индексы видового сходства Съёренсена-Чекановского рассчитывали с использованием пакета divo (Sadee et al., 2020).

Для проведения анализа материала из колонки с **о. Шемья** было отобрано 76 образцов со средней мощностью 3–5 см. Всего было изготовлено 76 постоянных препаратов диатомовых водорослей. С **о. Адак** нами были получены 40-285 см колонки торфяных отложений, для изучения которой было отобрано 20 образцов с интервалами 10 см. Мощность каждого отобранного образца составила 5 см. Всего изготовлено 20 постоянных препаратов диатомовых водорослей. Материал из колонки с **о. Карлайл** был разделен на 70 образцов мощность по 2-7 см, всего приготовлено 70 препаратов. Для

изучения диатомовых водорослей торфяного отложения с **о. Уналашка** получены отобранные с интервалами через 5 см образцы мощностью по 1 см. Для анализа этого материала изготовлено 53 постоянных препарата диатомовых водорослей. Для анализа 11 проб из современных водоемов **о. Уналашка** было приготовлено 11 постоянных препаратов диатомовых водорослей

ГЛАВА 3. РЕЗУЛЬТАТЫ

В тексте диссертации результаты приведены отдельно для каждого из изученных островов. Для всех островов приведен подробный таксономический анализ, изучена динамика диатомовых сообществ и проведены палеореконструкции на основе диатомового анализа. На данных, полученных для материалов из колонок отложений с островов Карлайл, Уналашка и Шемья проведен статистический анализ и анализ динамики внешних факторов. Указанный в тексте главы возраст является калиброванным (лет назад от 1950 AD).

3.1. Остров Шемья, торфяное отложение Макдоналд Поинт. Во всех 76 образцах обнаружено **80** таксонов диатомовых водорослей видового и внутривидового рангов. Роды *Pinnularia*, *Eunotia* и *Cocconeis* демонстрируют наибольшее видовое богатство. В материале обнаружен и описан как новый для науки вид *Pinnularia arkadii*. Его подробное описание приводится в соответствующей главе диссертационной работы.

В материале присутствуют горизонты, в которых не обнаружено створок, представленные слоями песка разной мощности. На основании анализа послойной динамики численности створок диатомовых в отложении, проведен стратиграфический анализ, позволивший выявить две крупные временные зоны, отличные по видовому составу и набору видов-доминантов (рис. 2).

Первая зона (**Зона 1**) охватывает период времени с ~9500 л.н. до 4500 л.н. Доминирующими таксонами в этой зоне являются представители родов *Aulacoseira*, *Diadesmis*, и *Eunotia*, виды *Pinnularia borealis*, *Pinnularia lata* и виды родов *Staurosira* и *Staurosirella*. Интервал между Зонами 1 и 2 представлен слоем песка, в котором створки диатомовых отмечены единично. Доминирующими таксонами **Зоны 2** являются два различающихся по экологии комплекса видов рода *Pinnularia.*

Для массива данных по этому отложению первые три главные компоненты (ГК) в сумме объясняют 65,8% общей изменчивости обилия таксонов. Анализ вклада каждого таксона в каждую из компонент позволил интерпретировать экологическое значение выделенных компонент (рис. 3).

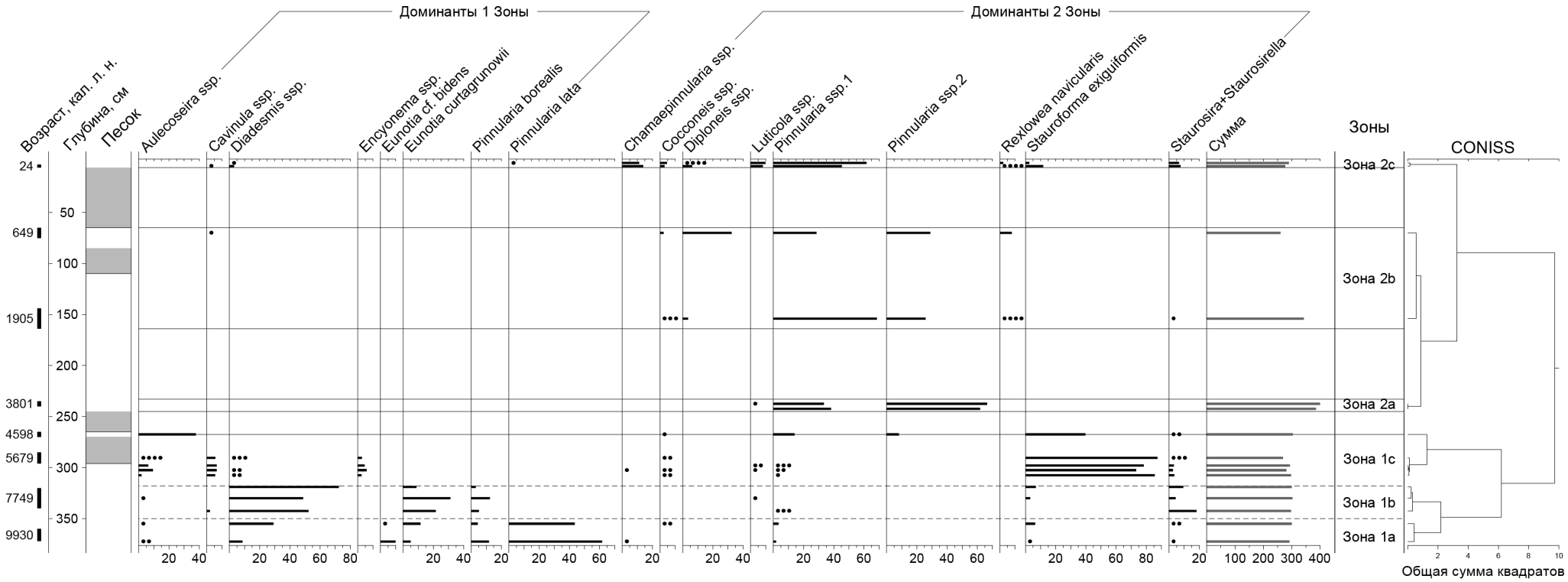

Рисунок 2. Диаграмма послойного распределения диатомовых водорослей в колонке торфяного отложения МакДоналд Поинт, о. Шемья. На диаграмме отражены только те таксоны, чье обилие составило >1,5% от общей численности. Горизонтальные пунктирные линии маркируют отдельные выделенные подзоны, горизонтальные непрерывные линии маркируют выделенные зоны. Справа на диаграмме представлены результаты кластеризации слоев, проведенной по методу CONISS.

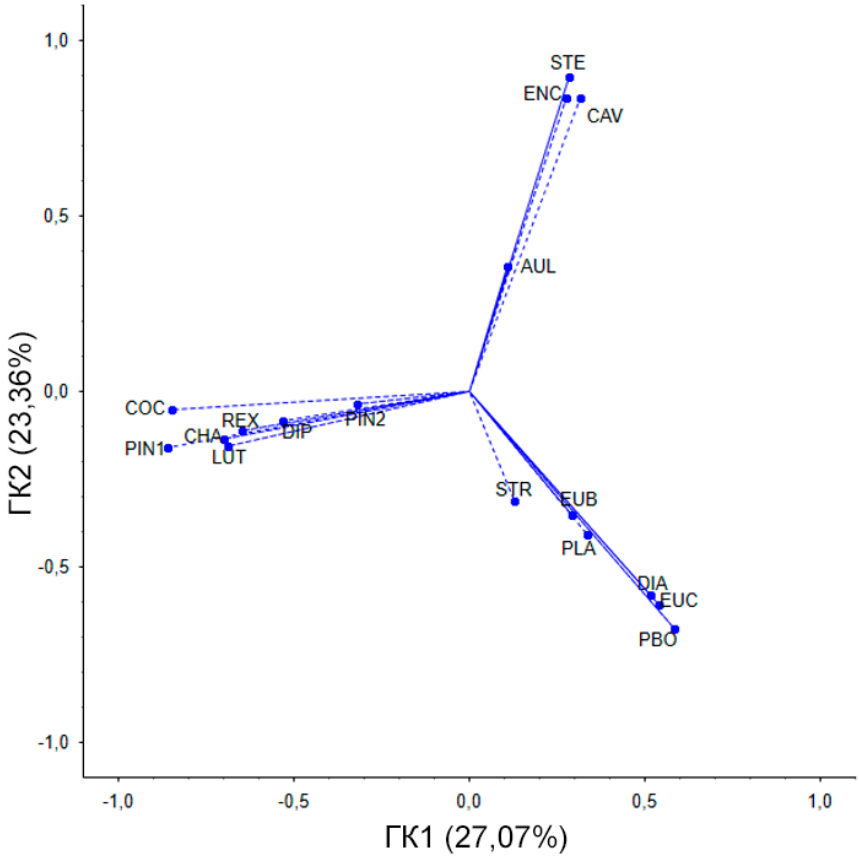

Рисунок 3. Распределение таксономических групп в пространстве двух первых главных компонент (ГК1 и ГК2). AUL – *Aulacoseira* ssp., CAV – *Cavinula* ssp., CHA – *Chamaepinnularia* ssp., COC – *Cocconeis* ssp., DIA – *Diadesmis* ssp., DIP – *Diploneis* ssp., ENC – *Encyonema* ssp., EUB – *Eunotia* cf. *bidens*, EUC – *Eunotia curtagrunowii*, LUT - *Luticola* ssp., PBO – *Pinnularia borealis*, PLA – *Pinnularia lata*, PIN1 – *Pinnularia* ssp.1, PIN2 – *Pinnularia* ssp.2, REX – *Rexlowea navicularis*, STE – *Stauroforma exiguiformis*, STR – *Staurosira* + *Staurosirella.*

"Холодолюбивая" ГК1 (27% от общей изменчивости) отражает увеличение численности холодолюбивых таксонов, обитающих в хорошо аэрируемых условиях, в водах с низким pH и электропроводностью и является единственной компонентой, демонстрирующей явный отрицательный линейный временной тренд. "Макрофитная" ГК2 (23,4% от общей изменчивости) указывает на резкий рост численности бентосных и эпифитных диатомей ~7000 л. н., что совпадает по времени с резким изменением структуры сообщества в верхней **Зоне 1**. Более того, ГК2 демонстрирует близкую к значимой корреляцию с $\delta^{15}N$. "Моховая" ГК3 (15,3% от общей изменчивости) отражает рост численности створок таксонов, обитающих на влажной почве и во мхах. Компонента не имеет линейного временного тренда.

Основываясь на диатомовом анализе, а также принимая во внимание данные об известном влиянии абиотических факторов, мы предполагаем следующую историю развития водоема, существовавшего в голоцене на месте изученного торфяного отложения МакДоналд Поинт: диатомовое сообщество в периода времени ~9500–4700 л.н. отражает ранние этапы формирования бассейна и затем последующее его наполнение водой и постепенное увеличение его глубины. После исчезновения водоема, существовавшего в до ~4700-4500 л.н., вследствие засыпания песком, началось активное заболачивание, сопровождавшееся процессами торфообразования. На заключительном этапе своего развития водоем представлял собой некрупное заболоченное болото с хорошо развитой растительностью и хорошо увлажненной прилегающей почвой. В самом начале существования водоема, его воды имели пониженные значения показателя pH среды, а в конце существования воды были слегка подкисленные. Электропроводность оставалась низкой на всем протяжении существования водоема.

3.2. Остров Карлайл, торфяное отложение CR-03. Во всех 70 образцах обнаружен **91** таксон диатомовых водорослей видового и внутривидового рангов. Роды *Pinnularia*, *Cocconeis* и *Navicula* демонстрируют наибольшее видовое богатство. Примечательно, что только в данном торфяном отложении нами не были обнаружены створки представителей рода *Eunotia*, предпочитающие, преимущественно воды с пониженными показателями pH, низким уровнем содержания органических веществ и электропроводностью.

В материале присутствуют горизонты, в которых не обнаружено створок, представленные слоями вулканического пепла разной мощности. На основании послойной динамики численности створок диатомовых в отложении, нами выявлены три временные зоны, отличные по видовому составу и видам-доминантам. Диаграмма послойного распределения диатомовых водорослей в колонке торфяного отложения CR-03, о. Карлайл, приводится в тексте диссертации. Первая крупная зона (**Зона 1)** охватывает период времени с ~6500 л.н. до ~2100 л.н. Доминирующими таксонами в этой зоне являются представители родов *Cavinula cocconeiformis* f. *elliptica*, *Diploneis*, *Nitzschia* и *Pinnularia*, виды *Humidophila gallica*, *Stauroforma exiguiformis* и *Staurosirella*. В этой зоне отмечено присутствие центрической диатомовой водоросли *Cyclotella kingstonii*, чья численность постепенно увеличивается к крыше зоны. **Зона 2** охватывает период времени с ~2100 л.н. до 1500 л.н. и является самостоятельно зоной со своим характерным видовым составом. Эта зона характеризуется максимальными концентрациями створок *S. exiguiformis* (верхушка зоны) и *S. venter* (основание зоны). В этой зоне в умеренной концентрации достигают створки видов из рода *Diploneis* (*D. interrupta* и *D. pseudovalis*).

Зона 3 (~1500 л. н. – наше время) разбивается на две подзоны и характеризуется большими концентрациями створок видов аэрофилов и обитателей влажных почв, а также солоноватоводных видов, предпочитающих воды с высокой электропроводностью.

Для массива данных по этому отложению первые три главные компоненты в сумме объясняют 51,7% общей изменчивости обилия таксонов. "Солоноватоводные" ГК1 (17% от общей изменчивости) и ГК2 (12,7 % от общей изменчивости), положительно связанные с увеличением численности солоноватоводных таксонов, демонстрируют присутствие влияния морских вод, с явными заплесками в водоем. ГК3 (12,2% от общей изменчивости) – предиктор внесения в среду азота морского происхождения – маркирует начало интенсивного зарастания и эвтрофикации водного объекта, которое приходится на "засушливый период" после 2450 л.н. "Эвтрофная" ГК4 (9,8% от общей изменчивости), имеющая максимальные значения ближе к концу существования водоема и плавно увеличивающаяся на протяжении времени его существования, демонстрирует плавное, но постоянное изменение уровня трофности водоема

Для водоема, существовавшего в голоцене на острове Карлайл, мы предполагаем следующую историю развития: видовой состав и динамика численности доминирующих таксонов отражают наличие достаточно обводненного водоема, претерпевавшего периодические высыхания, не приводившие, однако, к изменению видового состава диатомового сообщества. На протяжении всего времени существования водоем испытывал воздействие морских водных масс и был солоноватоводным, о чем свидетельствует постоянное и, зачастую, обильное присутствие створок солоноватоводных видов. По отношению к трофности, судя по нашим данным, водоем был мезо-эвтрофным на протяжении всего времени существования, а его воды характеризовались повышенными значениями pH.

3.3. Остров Адак, торфяное отложение 6/97. Во всех 76 образцах было обнаружено **95** таксонов диатомовых водорослей видового и внутривидового рангов. Роды *Pinnularia*, *Eunotia,* и *Encyonema* демонстрируют наибольшее видовое богатство. Стоит отметить, что только в данном торфяном отложении нами не были обнаружены створки представителей рода *Navicula*, предпочитающие, преимущественно, воды с высокой электропроводностью и минерализацией. Кроме этого, в данном торфяном отложении нами не обнаружены представители амфороидных диатомовых водорослей.

Поскольку первые 40 см материала колонки не были нам доступны, а в слоях с глубин 40–94 и 280–285 см створки диатомовых обнаружены не были, анализ послойного распределения створок в колонке проведен только для интервала 97-260 см. Слой 110–112 см и интервал 167–182 см представлены вулканическим пеплом. На основании послойной

динамики численности створок диатомовых в отложении, а также на основании проведенного кластерного анализа CONISS, выявлены отдельные временные зоны, отличные по видовому составу и видам-доминантам. Диаграмма послойного распределения диатомовых водорослей в колонке торфяного отложения 6/97, о. Адак, приводится в тексте диссертации. Первая выделенная **Зона 1** охватывает период ~10000–8500 л.н. Для этой зоны характерно высокое видовое разнообразие. В общем смысле она характеризуется высоким обилием планктонных, ацидофильных и аэрофильных форм. В **Зоне 2** (~ 8500–5000 л.н.) отмечены единичные створки *Cavinula jaernefeltii, Eucocconeis cf. alpestris, Eunotia bigibba, Humidophila laevissima, Pinnularia borealis var. borealis, Pinnularia obscura, Pinnularia ruttneri, Pinnularia sinistra, Rossithidium pussilum*. Интервал 167-182 см представлен слоем вулканического пепла, что частично объясняет отсутствие створок в выделенной зоне. **Зона 3** охватывает период времени с ~5000 л.н. до ~4000 л.н. и отличается большим обилием створок видов рода *Pinnularia*: *Pinnularia borealis var. borealis, Pinnularia schoenfelderi, Pinnularia obscur*a и *Pinnularia sinistra*, *Pinnularia intermedia*.

Метод главных компонент, в силу малого числа выявленных таксонов-доминантов и числа слоев, к данным полученным для торфяного отложения 6/97 применен не был. Данные об соотношении массового участия углерода и азота, содержании тяжёлого изотопа азота и соотношении стабильных изотопов углерода в слоях материала с острова Адак отсутствуют.

На протяжении всей доступной к изучению истории развития, водоем на месте торфяного отложения 6/97 на о. Адак отражал условия, характерные для болотных экосистем: олиготрофные воды с пониженным показателем pH, обилие аэрофильных видов, небольшая глубина.

3.4. Остров Уналашка, торфяное отложение Илиулиук. Во всех 76 образцах был обнаружен **231** таксон диатомовых водорослей видового и внутривидового рангов. Роды *Gomphonema*, *Pinnularia, Eunotia* и *Encyonema* демонстрируют наибольшее видовое богатство.

В материале отмечено присутствие слоев вулканического пепла разной мощности, в которых створки диатомей не были обнаружены. На основании послойной динамики численности створок диатомовых в отложении, нами выявлены три временные зоны, отличные по видовому составу и видам-доминантам. Диаграмма послойного распределения диатомовых водорослей в колонке торфяного отложения Илиулиук, о. Уналашка, приводится в тексте диссертации. **Зона 1** охватывает период времени с 10000 до ~9500 л.н и соответствуют началу формирования небольшого стоячего водоема,

заросшего макрофитами. Характерный комплекс видов, состоящий из видов-обрастателей и бентосных форм, сформирован следующими, преимущественно одношовными, таксонами: *Achnanthidium minutissimum, Kobayasiella micropunctata, Rossithidium pusillim* и *Staurosira venter* и *Staurosira pseudoconstruens*. **Зона 2** (~9500–5000 л.н.) отражает транзитное состояние экосистемы, при котором видовой состав основания зоны отличается от видового состава крыши, однако частично виды-доминанты остаются одинаковыми. В пределах **Зоны 3** (5000 л. н. – наше время) выделено три подзоны. Эти зоны перемежаются вулканическим осадочным материалом, что отражается на численности обнаруженных створок. Верхняя подзона **Зоны 3** охватывает новейшее время и, фактически, отражает современный видовой состав диатомовых сообществ пресных вод.

Для данного отложения четыре первых главные компоненты суммарно объясняют 78,5% общей изменчивости обилия таксонов. "Аэрофильная" ГК1 (30,1% от общей изменчивости) положительно связана с обилием видов-аэрофилов и типичных обитателей дистрофных болот. "Ацидофильная" ГК2 (23,7% от общей изменчивости) демонстрирует сильную связь с ацидофильными таксонами и, наиболее вероятно, указывает на динамику показателя pH водоема в узких пределах его значений. Экологическая интерпретация двух последних выделенных компонент, ГК3 (15,8%) и ГК4 (8,7%), представляется затруднительной в силу их связи с таксонами, предпочитающими разнообразные условия обитания.

Проведенный диатомовый анализ позволяет предположить, что на протяжении своего существования водоем, вероятно, защелачивался при контакте с осажденным вулканическим пеплом, а затем его воды вновь возвращались к более нейтральным и пониженным значениям pH. При этом массового развития таксонов из родов *Encyonema*, *Gomphonema* и *Nitzshia*, преимущественно предпочитающих алкалинные условия (Robinson et al., 2010), не было зафиксировано, несмотря на их большое видовое разнообразие. Самые верхние слои отложений фиксируют современное диатомовое сообщество, схожее с таковым в современных алкалинных мезотрофных водоемах на острове Уналашка.

3.5. Таксономический анализ диатомовых водорослей современных водоемов острова Уналашка. Во всех 11 образцах из пресных водоемов было обнаружено **308** таксонов диатомовых водорослей видового и внутривидового рангов (из них 49 таксонов идентифицированы только до уровня рода). Таксоны принадлежат к **69** родам, **29** семействам, **15** порядкам и **3** классам (по Guiry, Guiry, 2023). Анализ общего числа встреченных во всех пробах таксонов выявил, что роды *Eunotia, Pinnularia, Encyonema* и

Nitzschia демонстрируют наибольшее видовое богатство. В роде *Eunotia* отмечено 24 вида, в роде *Pinnularia* – 23, в родах *Encyonema* и *Nitzschia* – по 14 видов.

В материале одного из водоемов нами были выявлены и описаны как новые для науки два вида из рода *Meridion*: *M. humerosum* и *M. tenuipes*. Их подробное описание приводится в соответствующем разделе диссертационной работы. Эти находки подтверждают высокую степень эндемизма рода *Meridion* для региона как Алеутских островов, так и Северной Америки.

3.6. Общая оценка диатомовой флоры Командорско-Алеутских островов. В результате исследования 231 образцов, полученных при обработке материала торфяных отложений и проб современных водных объектов о. Уналашка, получен список из 604 идентифицированных таксонов диатомовых водорослей видового и внутривидового рангов. Таксоны принадлежат к 101 роду, 39 семействам, 20 порядкам и 3 классам (по Giury, Guiry, 2023). Современная и ископаемая диатомовая флора Алеутских островов представлена преимущественно пресноводными бентосными таксонами, космополитными по своему распространению, предпочитающими олиготрофные воды. При этом доли видов, предпочитающих пониженные и повышенные значения pH, приблизительно равны и составляют 35% и 37% от общего числа обнаруженных видов соответственно. В процентном соотношении наибольшая доля таксонов, предпочитающих щелочные воды, с умеренным и высоким уровнем содержания растворенных органических веществ, обнаружена в материале торфяного отложения CR-03 с острова Карлайл, что позволяет судить о хорошо проявленном воздействии на торфяник (а в прошлом и водоем) таких факторов, как близость к морю и присутствие птичьих колоний.

Меру сходства видового состава диатомовых водорослей на разных островах оценивали с использованием индекса Съёренсена. Наибольшее сходство выявлено между сообществом из торфяного отложения на острове Адак (торфяник 6/97) и сообществом торфяного отложения на острове Уналашка (торфяник Илиулиук), а также для голоценовой и современной диатомовой флоры на острове Уналашка. Значение индекса Съёренсена в обоих случаях равно 0,18.

3.7. Воздействие факторов на створки диатомовых водорослей в отложениях и их сохранность. Нами подробно рассмотрены теоретические аспекты химического состава и механизмов формирования створок, а также влияние на их сохранность гидрохимических и механических особенностей среды. Отмечен факт растворения панцирей диатомовых водорослей, которые развивались в водоемах с пониженными значениями pH. На основании полученных нами данных, мы не можем сделать заключений о связи степени сохранности с каким-то конкретным фактором окружающей

среды. Вероятно, при проведении диатомового анализа нужно учитывать комплексное воздействие таких факторов, как показатель кислотности вод, общий уровень минерализации и прохождение в прошлом различных геологических процессов. В целом, можно заключить, что створки диатомовых водорослей из исследованного торфяного отложения с о. Шемья обладают относительно плохой сохранностью, что во многих случаях затрудняет их точную идентификацию; в то время как створки диатомовых в исследованных материалах с островов Адак, Карлайл и Уналашка имеют значительно лучшую сохранность (что является одной из причин обнаружения бóльшего числа таксонов в материале с этих островов), даже несмотря на факты осаждения вулканических пеплов и воздействия птичьих колоний, зафиксированных в истории развития отложений.

3.8. **Анализ глобальных изменений климата в регионе на основании динамики численности индикаторных таксонов.** Проведенный диатомовый анализ, подкрепленный результатами статистического анализа с применением метода главных компонент, демонстрирует, что на сообщества диатомей, как минимум в двух водоемах из четырех, в голоцене в большей степени оказывали влияние локальные факторы. Так, на сообщество водоема на острове Шемья сильное влияние оказывали наносы песка, приводившие к полному пересыханию первоначального водоема и полной смене сообщества, фактически, на старом месте после засыпания старого возникал уже другой, новый водоем. Водоем на острове Карлайл также претерпевал неоднократное засыпание вулканическим материалом (Okuno et al., 2017; Kuzmicheva et al., 2019), однако к полному пересыханию водоема и смене диатомового сообщества это, согласно полученным нами данным, не приводило. Водоемы, которые располагались на месте торфяных отложений на островах Адак и Уналашка, не подвергались воздействию со стороны моря, поскольку оба торфяных отложения были в течение всего голоцена удалены от береговой линии. Их диатомовые сообщества, по всей видимости, отражают те условия среды, которые присущи водным экосистемам территорий, располагающихся в центральной части островов. В пользу этого говорит и наибольший коэффициент их видового сходства.

Нами был проведен анализ изменения численности некоторых индикаторных таксонов в колонках всех четырех отложений (рис. 4). Скоррелированная по времени динамика численности позволила установить некоторые закономерности, отражающие характер климатических изменений на отдельных островах и разных частях гряды. На всех четырех островах центрические диатомовые (рис. 4: л, м) в массе отмечены в период времени до 4500 л.н., что позволяет предположить наиболее влажные условия и бóльшее количество осадков на островах Адак и Уналашка и Шемья с самого начала голоцена до 4500 л.н. на острове Шемья и Уналашка. Наиболее теплый период на всех островах гряды

находит свое отражение в наибольшем видовом разнообразии и численности видов в период 9000–4500 л.н. Более холодные условия в районе гряды до 4500 л.н. подтверждает и динамика холодолюбивых таксонов из рода *Pinnularia* (рис. 4: д-и). Колебания уровня моря влияли на изменение диатомового сообщества на островах Карлайл и Шемья, водоемы на которых располагались в непосредственной близости к берегу. Важным является и тот факт, что резкий рост численности створок диатомовых водорослей *Stauroforma exiguiformis* (рис. 4: к) и *Staurosira venter* в отложении на и острове Карлайл, и на острове Шемья, отражают начало внесения азота в среду через гуано гнездящихся птиц. Об этом говорит факт того, что пики численности створок вышеупомянутых видов приходятся на начало увеличения содержания тяжелого изотопа азота в отложениях и, согласно нашим данным, могут служить предикторами поступления азота в среду.

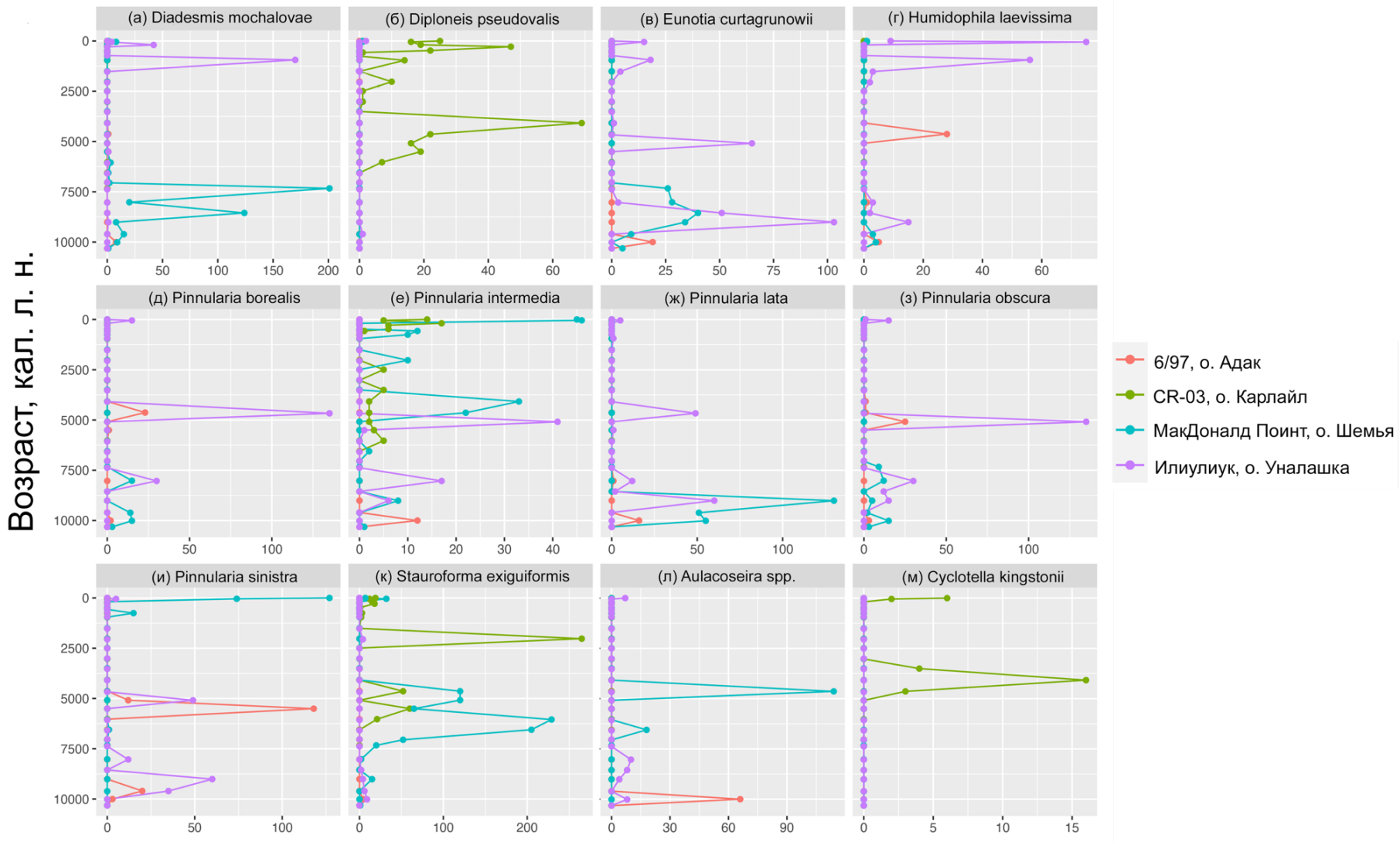

Рисунок 4. Динамика численности избранных индикаторных таксонов во всех изученных колонках торфяных отложений, скоррелированная во времени.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Четыре разных водных объекта, сообщества которых изучены нами в голоцене, имели разную историю развития, физические и гидрохимические показатели. Это позволяет нам получить относительно полное представление о видовом составе диатомей, обитающих в разных условиях: кислых и щелочных водах, условиях олиготрофности и повышенного содержания азота, относительно обильной обводненности и осушения. Анализ динамики сообществ "внутренних" водоемов на островах Адак и Уналашка, располагающихся в удалении от береговой линии, позволяют оценить общую динамику климата в районе Командорско-Алеутской гряды. Данные нашего анализа свидетельствуют об уменьшении влажности в регионе и общем похолодании в центральной и восточной части гряды начиная с 4500 л.н., что согласуется с данными, ранее полученными для региона (Bailey et al., 2018, Смышляева, 2022).

Динамика диатомовых сообществ "прибрежных" водоемов на острове Шемья и Карлайл отражает воздействие моря на экосистемы этих водоемов и не позволяет сделать выводов относительно локальных климатических паттернов в регионе. В случае с водоемом на острове Шемья, для которого опосредованно зафиксировано повышение уровня моря и его последующее отступление, это выражалось в привнесении песка, начавшемся около 4500 л.н. (поднятие уровня моря) и полной смене диатомового сообщества. Регрессия моря, согласно нашим данным, началась около 3000 л.н., приводя к увеличению глубины водоема и видового богатства сообщества диатомей. Параллельно нами выявлено и влияние на водоем колоний птиц, привносивших дополнительный азот морского происхождения. Их колонии располагались преимущественно в прибрежье и перемещались вслед за береговой линией, а также испытывали влияние со стороны алеутов, осваивавших острова. Водоем на острове Карлайл испытывал перманентное влияние морских водных масс, поскольку был солоноватоводным на протяжении всего времени существования. Обилие видов-индикаторов высокого уровня трофности свидетельствует о прямом воздействии на него птичьих колоний. При этом водоем оставался достаточно глубоким на протяжении всего времени существования и не пересыхал вследствие засыпания вулканическим пеплом, даже несмотря на большое число фиксируемых слоев пепла в материале.

Около трети от всех обнаруженных на островах таксонов отмечена ранее разными авторами на территории материковой Аляски, острова Беринга и острова Адак. Некоторые из обнаруженных в современной флоре острова Уналашка видов были описаны совсем недавно на территории Северной Америки, что может свидетельствовать о наличии вектора распространения "материк-острова" как минимум для некоторых таксонов.

ВЫВОДЫ

1. По результатам исследования 231 образцов торфяных отложений и современных водных объектов на о. Уналашка получен список из 604 идентифицированных таксонов диатомовых водорослей видового и внутривидового рангов. Таксоны принадлежат к 101 роду, 39 семействам, 20 порядкам и 3 классам. Наибольшее число видов и разновидностей относятся к классу Bacillariophyceae, порядку Naviculales, семейству Pinnulariaceae.
2. Находки новых для науки таксонов из рода *Meridion* подтверждают высокую степень эндемизма северо-американской и алеутско-островной диатомовой флоры как минимум среди некоторых родов диатомовых водорослей.
3. Растворение панцирей диатомовых водорослей наблюдется в водоемах Алеутских островов с пониженными значениями pH.
4. Наибольшее видовое разнообразие диатомовых водорослей отмечено в голоценовой и современной флоре острова Уналашка, что, возможно, связано с его принадлежности к Берингийской суше в раннем голоцене.
5. Голоценовая и современная диатомовая флора изученных островов содержит преимущественно космополитные и бореальные таксоны холодных и ацидных вод, является в большей степени космополитной и бореальной, характерные для олиготрофных болотных экосистем.
6. Положение торфяного отложения и существовавшего на его месте в голоцене водоема в большей степени определяло динамику диатомовых сообществ, чем региональные изменения климата.
7. Динамика диатомовых сообществ отложений, расположенных на берегу, отражает влияние локальных факторов, таких как изменение уровня моря, наличие птичьих колоний и охотничья деятельность человека.
8. Динамика диатомовых сообществ отложений, расположенных в глубине островов, отражает глобальные изменения в районе Командорско-Алеутской гряды и поддерживает предположение о наступлении периода более холодного и сухого климата начиная с 4500 л.н.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в журналах, рекомендованных ВАК

1. Неплюхина, А.А. Диатомовые водоросли из торфяного отложения острова Шемья (Алеутские острова, США) / **А.А. Неплюхина**, Д.А. Чудаев, О.А. Крылович,

М.А. Гололобова // *Вестник Московского университета. Серия 16: Биология*. — 2018. — Т. 73, № 2. — С. 93–98.

2. Neplyukhina, A.A. *Pinnularia arkadi*i sp. nov., a new diatom (Naviculales, Bacillariophyceae) from Shemya Island, Alaska, USA. / **A.A. Neplyukhina**, D.A. Chudaev, M.A. Gololobova. // *Новости систематики низших растений*. — 2018. — Vol. 52, no. 1. — P. 83–89.

3. Neplyukhina, A.A. The Holocene History of the Diatom Community in a Small Water Body on Shemya Island (Aleutian Arc, USA): The Influence of Global and Local Environmental Changes / **Neplyukhina, A.A**., Tchabovsky A.V., Gololobova M.A., Smyshlyaeva O.I., Krylovich O.A., Savinetsky A. B., Kotov A. A. // *Water*. – 2021. – V. 13, no. 21. – P. 3134.

4. Neplyukhina, A. Two new species of the diatom genus *Meridion* (Bacillariophyta, Tabellariaceae) from Aleutian Islands/ **Neplyukhina A**., Chudaev D // *Phytotaxa*. – 2023. – V. 587. – no. 1. – P. 21-30.

Публикации в других изданиях и сборниках конференций:

1. Неплюхина, А.А. Изучение разнообразия рода Pinnularia из торфяного отложения острова Шемья (Алеутские о-ва, США) / **А.А. Неплюхина**, Д.А. Чудаев, М.А. Гололобова // Диатомовые водоросли: современное состояние и перспективы исследования. Материалы XV Международной конференции (пос. Борок, 24–27 августа 2017 г.). — Филигрань Ярославль, 2017. — С. 46–46.

2. Неплюхина, А.А. Диатомовые водоросли торфяных отложений Алеутских островов / **А.А. Неплюхина**, Д.А. Чудаев, М.А. Гололобова // Тезисы докладов VII Всероссийской научной конференции с международным участием, посвященной 30-летию Института проблем промышленной экологии Севера ФИЦ КНЦ РАН и 75-летию со дня рождения доктора биологических наук, профессора В. В. Никонова (Апатиты, 16–22 июня 2019 г.). – Изд-во ФИЦ КНЦ РАН Апатиты, 2019. – С. 251–252.

3. Неплюхина, А.А. Диатомовые водоросли торфяного отложения острова Карлайл (Алеутские острова, США) / **А.А. Неплюхина**, Д.А. Чудаев, М.А. Гололобова // Материалы V Всероссийской научной конференции с международным участием «Динамика экосистем в голоцене» (к 100-летию Л.Г. Динесмана) [отв. ред. А.Б. Савинецкий] (Москва, 17–21 октября 2019 г.). – Медиа-ПРЕСС Москва, 2019. – С. 235-236.

4. Неплюхина, А.А. Вклад в изучение диатомовых водорослей Командоро–Алеутской гряды и палеореконструкцию климата Берингийского региона / **А.А. Неплюхина**, М.А. Гололобова // II Всероссийская научно-практическая школа-

конференция Наземные и морские экосистемы Причерноморья и их охрана (Курортное, Феодосия, 28 сентября – 02 октября 2020 г.). – Севастополь: ФГБНУ Институт природно–технических систем Севастополь, 2020. – С. 157–158.

5. Неплюхина, А.А. Использование статистических методов в дополнение к диатомовому анализу на примере материала торфяного отложения McDonald Point (о-в Шемья, Алеутские о-ва, США) / **А.А. Неплюхина** // И.А. Алешковский, А.В. Андриянов, Е.А. Антипов, Е.И. Зимакова (отв. ред.). Материалы Международного молодежного научного форума Ломоносов-2021. [Электронный ресурс]. – Москва: Москва, 2021.

6. Неплюхина, А. А. Диатомовые водоросли острова Уналашка (Алеутские острова, США) / А. А. Неплюхина, М. А. Гололобова // Материалы XVII Международной научной конференции "Диатомовые водоросли: морфология, биология, систематика, флористика, экология, палеогеография, биостратиграфия", Минск, 23–28 августа 2021 г. – Минск: Колоргард, 2021. – С. 62-63.

7. Неплюхина, А. А. Реконструкция истории водоема на острове Адак (Алеутские острова, США) по результатам диатомового анализа торфяного отложения / **А. А. Неплюхина**, М. А. Гололобова // Динамика экосистем в голоцене: Сборник статей по материалам VI всероссийской научной конференции, Санкт-Петербург, 17–21 октября 2022 года // Отв. редактор Д.А. Субетто. – Санкт-Петербург: Российский государственный педагогический университет им. А. И. Герцена, 2022. – С. 109-114.

8. Neplyukhina, A. A. Diatoms of the Aleutian Islands (Alaska, USA) in the Holocene / **A. A. Neplyukhina** // Limnology and Freshwater Biology. – 2022. – No. 4. – P. 1509-1511. – DOI 10.31951/2658-3518-2022-A-4-1509.