

ГОРОДНИЧЕВ РУСЛАН МИХАЙЛОВИЧ

**ВЗАИМОСВЯЗЬ СОСТАВА ДИАТОМОВЫХ КОМПЛЕКСОВ,
МОРФОМЕТРИЧЕСКИХ И ГИДРОХИМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК
ОЗЕРНЫХ ЭКОСИСТЕМ СЕВЕРА ЯКУТИИ**

03.02.08 – экология
(биологические науки)

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата биологических наук

Якутск – 2016

Работа выполнена в федеральном автономном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Северо-Восточный федеральный университет имени М. К. Аммосова»

Научный руководитель кандидат биологических наук, доктор географических наук, доцент
Пестрякова Людмила Агафьевна

Официальные оппоненты **Розенберг Геннадий Самуилович**, доктор биологических наук, профессор, член-корреспондент РАН, ФГБУН Институт экологии Волжского бассейна РАН, директор

Лудикова Анна Валерьевна, кандидат географических наук, ФГБУН Институт озероведения РАН, научный сотрудник

Ведущая организация ФГБУН Институт водных проблем Севера Карельского научного центра РАН

Защита состоится «17» марта 2016 г. в 14.00 часов на заседании диссертационного совета Д 212.306.03 при ФГАОУ ВПО «Северо-Восточный федеральный университет имени М. К. Аммосова» по адресу: 677000, г. Якутск, ул. Белинского, 58; e-mail: dsövet_nefu@mail.ru

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте ФГАОУ ВПО СВФУ им. М. К. Аммосова: www.s-vfu.ru

Автореферат разослан « » января 2016 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Данилова Надежда Софроновна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность исследования обусловлена изучением чувствительных к изменениям окружающей среды северных озерных экосистем (далее экосистем, озер, водных объектов, биогеоценозов или водоемов), представляющих собой комплекс взаимосвязанных живых организмов и абиотической среды, объединенных обменом веществ и энергией. Такого рода водные экосистемы характеризуются замедленным водообменом, расположены в понижениях рельефа и способны накапливать загрязняющие вещества, изменяться, преобразуясь в источники опасности для живых организмов и человека. В работе в качестве биотической компоненты водных экосистем рассмотрена важная группа индикаторных гидробионтов – диатомовые водоросли (отдел Bacillariophyta). Актуальность исследования возрастает на фоне слабой изученности взаимосвязей относительной численности отдельных таксонов и экологических групп диатомей Севера Якутии с такими абиотическими факторами среды, как морфометрические, гидрохимические параметры и характеристики местоположения озер, в которых указанная группа водорослей обитает. Район исследования является слабо освоенной, но перспективной для развития промышленности территорией, что обуславливает необходимость знаний о естественном состоянии окружающей среды и наиболее чувствительных ее компонентах, одним из которых являются озерные экосистемы.

Объектом исследования являются озерные экосистемы, расположенные в бассейнах рек Анабар, Оленек, Лена, Индигирка и Колыма.

Предмет исследования – взаимные связи состава диатомовых комплексов, морфометрических и гидрохимических характеристик озерных экосистем Севера Якутии.

Цель работы – установить наличие и характер взаимосвязей состава диатомовых комплексов, морфометрических и гидрохимических параметров озерных экосистем северной части Якутии, расположенных в бассейнах рек Анабар, Оленек, Лена, Индигирка и Колыма.

Задачи исследования:

- дать характеристику морфометрических, гидрохимических показателей и прозрачности воды рассматриваемых озерных экосистем;
- провести анализ современного таксономического состава, эколого-географических особенностей, разнообразия диатомовых комплексов и уровня органического загрязнения воды озер северной части Якутии;
- установить взаимосвязи между морфометрическими, гидрохимическими характеристиками и параметрами местоположения озерных экосистем;
- определить наличие и характер взаимосвязей относительной численности видов и разновидностей диатомовых водорослей между собой, а также с морфометрическими, гидрохимическими характеристиками и параметрами местоположения исследуемых объектов;
- выявить взаимосвязи обобщающих характеристик диатомовых комплексов с морфометрическими, гидрохимическими параметрами и характеристиками местоположения озерных экосистем.

Методы исследования. В работе применен комплекс методов по сбору полевого материала, его камеральной и аналитической обработке. В целом исследование базируется на процедурах диатомового анализа, математической статистики, а также стандартных лимнологических, гидрохимических и геоинформационных методах. Подробная методика приведена в разделах 2.1 и 2.2.

Научная новизна работы. Впервые для озерных экосистем северной части Якутии проведена оценка взаимосвязей морфометрических, гидрохимических характеристик, параметров их местоположения с интегральными показателями состава диатомовых водорослей, в том числе с индексами биоразнообразия, сапробности и выравненности, процентными количествами различных экологических групп диатомей. Впервые для Севера Якутии произведена оценка таксономического сходства водорослей отдела Bacillariophyta между отдельными озерными экосистемами различных речных водных бассейнов без обобщения таксономического списка по частям района исследования, осуществлена группировка озер по прозрачности и освещенности воды. Проведена пионерная для северной части Якутии оценка взаимосвязей расстояний от озер до ближайшего моря и водотоков с морфометрическими, гидрохимическими параметрами и характеристиками диатомовых водорослей озерных экосистем.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Озерные экосистемы Севера Якутии обладают невысоким видовым сходством водорослей отдела Bacillariophyta. Главным объединяющим компонентом таксономического состава выступают общие «массовые» виды и разновидности диатомей.

2. Концентрации кальция, магния, сульфат-, гидрокарбонат-анионов, кремния, значения минерализации и общей жесткости воды озерных экосистем Севера Якутии подвержены зональным изменениям, снижаются в районе исследования с юга на север и не объединены значительными связями с морфометрическими характеристиками озер.

3. Увеличение разнообразия водорослей отдела Bacillariophyta озерных экосистем Севера Якутии, связанного с возрастанием количеств видов и разновидностей диатомей (отмеченных в водоемах), происходит по мере снижения значений основных гидрохимических характеристик (минерализации, общей жесткости, концентраций кальция и гидрокарбонат-анионов) и напрямую не связано с изменениями морфометрических параметров озер.

Теоретическая и практическая значимость. Работа позволит получить новые фундаментальные знания о силе и характере взаимосвязей между отдельными морфометрическими, гидрохимическими параметрами озер, относительной численностью таксонов и интегральными характеристиками диатомовых водорослей, в них обитающих. Исследование способствует обновлению сведений о таксономическом составе диатомовых водорослей озер северной части Якутии, дополняет знания о сходстве таксономического состава отдела Bacillariophyta отдельных водных объектов. В ходе написания работы значения исследуемых морфометрических, гидрохимических параметров и обобщающие характеристики диатомовых водорослей озерных экосистем сведены в электронную базу данных «Диатомовые комплексы, морфометрические и гидрохимические параметры озер бассейнов крупных рек северной части Якутии» (Приложение А), зарегистрированную в Федеральной службе по интеллектуальной собственности (свидетельство № 2015620921 от 17.06.2015 г.). Результаты исследования и значения характеристик отмеченной выше базы

данных могут быть использованы в качестве исходных материалов фонового мониторинга состояния окружающей среды при осуществлении хозяйственного освоения региона. Материалы исследования будут востребованы во время проведения водохозяйственных мероприятий по обеспечению перспективных населенных пунктов водой, пригодной для хозяйственно-гигиенического использования.

Степень достоверности и апробация работы. Достоверность результатов исследования подтверждается большим объемом используемого в работе фактического материала, применением современных лабораторных методов и вспомогательных средств, которые позволяют достичь цели исследования и решить поставленные задачи. Количественный анализ данных обеспечен тщательной проверкой результатов, использованием автоматизированных статистических программ, что определяет точность вычислительных процедур. Сформулированные положения подкреплены достаточным количеством графических материалов и таблиц. Совокупность применяемых подходов обеспечивает достоверность результатов исследования и обоснованность последовавших выводов.

Результаты работы на различных этапах реализации исследования были представлены на 15 научно-практических и научно-методических конференциях и семинарах разного уровня. В числе такого рода мероприятий можно выделить следующие: международную конференцию «Paleolimnology of Northern Eurasia. Proceedings of the International Conference» (г. Петрозаводск, 2014 г.); международную научно-практическую конференцию LXVII Герценовские чтения (г. Санкт-Петербург, 2014 г.); международную научную конференцию студентов, аспирантов и молодых ученых «Ломоносов-2012» (г. Москва, 2012 г.); международный научно-методический семинар «Российско-немецкое сотрудничество в области экологии арктических экосистем: результаты и перспективы» (г. Казань, 2011 г.) и др.

Публикации. По теме диссертационного исследования опубликовано 18 работ, в том числе 5 в научных журналах, включенных в перечень Высшей аттестационной комиссии РФ.

Личный вклад автора. Диссертация выполнена автором в совместной российско-германской лаборатории по изучению экологического состояния Арктики (Биологический мониторинг – БиоМ) кафедры экологии Института естественных наук Северо-Восточного федерального университета имени М. К. Аммосова в рамках проектов: РФФИ № 11-04-91332-ННИО «Полигоны в болотах тундры: динамика и ответ на изменчивость климата в полярных регионах» (2011-2013 гг.); РФФИ № 13-05-00327 «Палеоэкология и палеогеография озер Новосибирских островов» (2013-2015 гг.); Министерства образования и науки РФ «Программа развития СВФУ. Мероприятие 2.8 Биомониторинг тундровых экосистем Северо-Востока России в условиях глобального изменения климата и интенсификации антропогенного процесса (мониторинг, экология, палеогеография, модель и технологии природопользования) (2010-2014 гг.)»; за счет экспедиционных грантов Института полярных и морских исследований имени А. Вегенера (Германия). Литературный обзор, оценка морфометрических параметров, определение типологической принадлежности озер, обобщение материала, его организация, статистическая обработка и расчеты, а также все работы, связанные с непосредственным написанием диссертации, проведены автором самостоятельно.

Структура и содержание диссертации. Работа состоит из введения, пяти глав, выводов, списка используемой литературы и приложений. Общий объем составляет 187 страниц, включает 41 рисунок, 18 таблиц и 4 приложения. Список используемых источников представлен 257 наименованиями.

Автор выражает благодарность научному руководителю Пестряковой Л. А., всему коллективу лаборатории БиОМ и кафедры экологии ИЕН СВФУ, заведующему кафедрой Чересову М. М., всем коллегам-участникам совместных российско-германских экспедиций из научно-исследовательских и образовательных организаций Российской Федерации и Института полярных и морских исследований имени А. Вегенера. В частности, выражаю глубокую признательность Херцшух У., Веттериху С., Ширрмайстеру Л., Фроловой Л. А., Назаровой Л. Б., Субетто Д. А., Николаеву А. Н., Спиридоновой И. М., Колмогорову А. И., Ядрихинскому И. В. и Ушнической Л. А. Благодарю за ценные советы и замечания Шадрину Е. Г., Исаева А. П., Ксенофонтову М. И. и Дягилеву А. Г.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

ГЛАВА 1. ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ И ОБЗОР ИССЛЕДОВАНИЙ ОЗЕРНЫХ ЭКОСИСТЕМ СЕВЕРА ЯКУТИИ

Район исследования представляет собой обширную территорию как по пространственному охвату, так и по комплексу природных условий, определяющих существование и развитие озерных экосистем, охватывает водосборные площади рек Анабар, Оленек, Лена (в том числе дельту), Индигирка и Колыма, лежит в пределах природных зон арктической, типичной, южной субарктической тундры, лесотундры, горных областей высотной поясности и северной тайги (рис. 1). Изучаемая территория расположена за северным полярным кругом внутри арктического и субарктического климатических поясов в зоне сплошного распространения многолетнемерзлых пород.



□ исследуемые участки (места расположения водоемов)

Рис. 1. Район исследования и прилегающие территории

Исследования альгофлоры и абиотических параметров озерных экосистем Якутии условно могут быть разделены на 2 категории: пионерные (примерно до 1990 г.) работы (Киселев, 1935; Нагель, 1936; Егоров, 1941; Бенинг, 1942; Комаренко, 1960; Комаренко, Васильева, 1972; Жирков, 1977 и др.) и современные исследования (Лукина, Пестрякова, 2006а, 2006б; Пестрякова, 2008а, 2008б; Габышев, Габышева, 2009, 2013б; Алфимов, Берман, 2010 и др.). Основная масса научных работ, объектами изучения которых являются озерные экосистемы, реализована на территории Центральной Якутии, северные же ее части по-прежнему остаются слабо освещенными. Здесь недостаточно исследованы взаимные связи морфометрических, гидрохимических параметров, характеристик местоположения водных объектов, отдельных таксонов, эколого-географических групп и индексов разнообразия диатомовых водорослей.

ГЛАВА 2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

В разделе 2.1 «Сбор фактического материала» приведено описание расположения объектов исследования, а также экспедиционных работ и методики сбора полевого материала. Объектами настоящего исследования выступают 83 озерные экосистемы, расположенные в бассейнах таких северных рек, как Анабар (42 озера), Оленек (8), Лена (18), Индигирка (12) и Колыма (3). Полевые этапы исследования реализованы в летний период (июль-август) с 2002 по 2012 гг. Сбор полевого материала на всех водосборных территориях выполнен по единой программе исследований с использованием общепринятых методик при помощи стандартного набора вспомогательных средств (в местах максимальной глубины озер). Отбор проб воды на химический анализ осуществлен в поверхностном слое воды (0,2-0,5 м от водной поверхности) в стерильные пластиковые бутылки. Для диатомового анализа отобраны донные отложения с использованием дночерпателя типа Экмана-Берджи и гравитационного бура фирмы UWITEC. В разделе приведена подробная характеристика процессов отбора, хранения и консервации полевого материала.

Раздел 2.2 посвящен методам лабораторных исследований и статистического анализа. Исследуемыми гидрохимическими параметрами озер в настоящей работе являются рН, общая жесткость, минерализация, концентрации $Fe_{\text{общ}}$, Si, NH_4^+ , PO_4^{3-} , главных катионов (Ca^{2+} , Mg^{2+} , $\sum Na^+ + K^+$) и анионов (HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl). Гидрохимические параметры определены в соответствии со стандартными методиками (ПНД Ф 14.1:2:4.167-2000; ПНД Ф 14.1:2:4.157-99; ПНД Ф 14.2.99-97; ПНД Ф 14.1:2.50-96; ПНД Ф 14.1:2.112-97; ГОСТ 4151-72; РД 52.24.433-2005 и др.). В работе также рассмотрен такой физический параметр, как прозрачность воды, измеряемая по диску Секки (Tyler, 1968). Освещенность определена как доля прозрачности от максимальной глубины. Морфометрические характеристики озер, используемые в настоящей работе: длина, максимальная ширина, средняя ширина, максимальная глубина, длина береговой линии, показатель удлиненности, развитие береговой линии, площадь водного зеркала и приблизительный объем водной массы. Используемые параметры, характеризующие местоположение озер: координаты широты и долготы водоемов; высота над уровнем моря (УМ); расстояние от озер до морей Северного Ледовитого океана в направлении с юга на север; кратчайшее расстояние до ближайшего моря; кратчайшее расстояние от озер до ближайшей реки. Такие параметры водного зеркала, как длина, максимальная ширина,

площадь, длина береговой линии, а также характеристики местоположения для каждого водного объекта определены в программе Google Earth Pro (и сверены с топографическими картами масштаба 1:50000-1:200000), оставшаяся часть морфометрических параметров зеркала определена расчетным путем с использованием общепринятых формул.

Диатомовые водоросли были исследованы в поверхностном слое донных отложений (верхние 0-2 см) озерных экосистем. Лабораторная обработка проб осуществлена в соответствии со стандартными методиками (Общие закономерности..., 1986; Пестрякова, 1997). Определение таксономического состава диатомей выполнено с использованием сводок, монографий, определителей и атласов отечественных и зарубежных авторов (Диатомовые водоросли СССР, 1974, 1988, 1992; Комаренко, Васильева, 1975б; Krammer, Lange-Bertalot, 1986; Krammer, 2000, 2002, 2003; Lange-Bertalot, 1993, 2001; Lange-Bertalot, Metzeltin, Witkowski, 1996; Lange-Bertalot, Genkal, 1999). В исследовании применена система диатомовых водорослей, предложенная Ф. Е. Раундом, Р. М. Кравфордом и Д. Г. Манном в соавторстве (Round, Crawford, Mann, 1990). В основе работы лежат процентные соотношения между количествами особей различных таксонов (Давыдова, 1985), в соответствии с которыми охарактеризованы экологические предпочтения диатомей (по местообитанию в водоеме, солености и рН воды) и их географическая распространенность (Генкал, 1992; Лосева, 2000; Хурсевич, 1976; Kolbe, 1927). Доминантами считали виды или разновидности, насчитывающие более 10 % относительной численности всего количества учтенных особей; субдоминантами – более 5, но менее 10 %; обычными – от 1 до 5 % включительно; единичными – менее 1 %. «Массовыми» обозначены таксоны с относительной численностью более 5 % (субдоминанты и доминанты). Для каждой исследуемой водной экосистемы рассчитаны стандартные показатели, характеризующие разнообразие и выравненность диатомовых комплексов (индексы Шеннона-Уивера (Shannon, 1948; Shannon, Weaver, 1949), выравненности Пиелу (Pielou, 1975), доминирования Симпсона (Simpson, 1949) и др.). Сходство таксономического состава диатомей установлено между флористическими списками озер с вычислениями индексов Серенсена (Sørensen, 1948) и Брея-Кертиса (Bray, Curtis, 1957). Органическое загрязнение водной среды определялось по индексу сапробности Пантле-Бука в модификации Сладечека (Sládeček, 1973, 1986).

Основой статистической обработки данных выступили иерархический кластерный и корреляционный анализы. Кластерный анализ таксономического сходства озер реализован методом невзвешенного парного среднего (мера сходства Брея-Кертиса) в программе PAST (Ver. 2.17c) (Hammer, Harper, Ryan, 2001). Процедуры кластеризации по морфометрическим, гидрохимическим переменным и прозрачности воды проведены (методом Варда) в программе Statistica (Ver. 8.0). Корреляционный анализ выполнен в Statistica с вычислением коэффициента Спирмена ρ (Spearman, 1904) (при $p < 0,05$).

ГЛАВА 3. МОРФОМЕТРИЧЕСКИЕ И ГИДРОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ОЗЕРНЫХ ЭКОСИСТЕМ СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ ЯКУТИИ

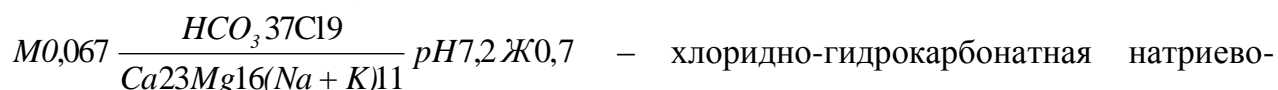
3.1. Морфометрические особенности северных озер Якутии

Морфометрические характеристики изучаемых озер изменяются в широких пределах. Наибольшее количество объектов (58 %) характеризуется очень малой глубиной (<3,12 м), 64 % озерных экосистем обладают формой зеркала, близкой к округлой ($K_y=1,5-$

3,0). Основная доля объектов исследования (42 %) по значениям площади зеркала является озерами (<0,1 км²) и очень малыми (0,1-1 км²) водоемами (40 % озер).

3.2. Характеристика гидрохимических параметров и прозрачности воды исследуемых озерных экосистем

Прозрачность воды озерных экосистем изменяется в широких пределах (от 0,2 до 4,5 м), в среднем составляя 1,3 м. По среднему значению отношения прозрачности к максимальной глубине (0,43) выборку водоемов можно охарактеризовать как озера с умеренной прозрачностью. Вода озерных экосистем обладает достаточно высокими концентрациями общего железа (в среднем 0,3 мг/л), кремния (1,1 мг/л), фосфат-анионов (0,1 мг/л) и ионов аммония (0,3 мг/л). В структуре основных ее компонентов наблюдаются различные комбинации катионов и анионов с преобладанием одного из трех главнейших положительно и отрицательно заряженных ионов (рис. 2). В большинстве случаев доминируют катионы кальция (в 59 озерах) и гидрокарбонат-анионы (в 73). В целом по средним значениям концентраций главнейших ионов химический состав воды озер выборки из 83 водоемов может быть охарактеризован следующей формулой М. Г. Курлова (приводится по: Алекин, 1953):



магниевая вода, с общей минерализацией 0,067 г/л, преобладающей концентрацией гидрокарбонатных ионов и ионов кальция, нейтральным водородным показателем и очень мягкая. По О. А. Алекину она принадлежит классу гидрокарбонатных группы кальциевых вод II-го типа: C_{II}^{Ca} .

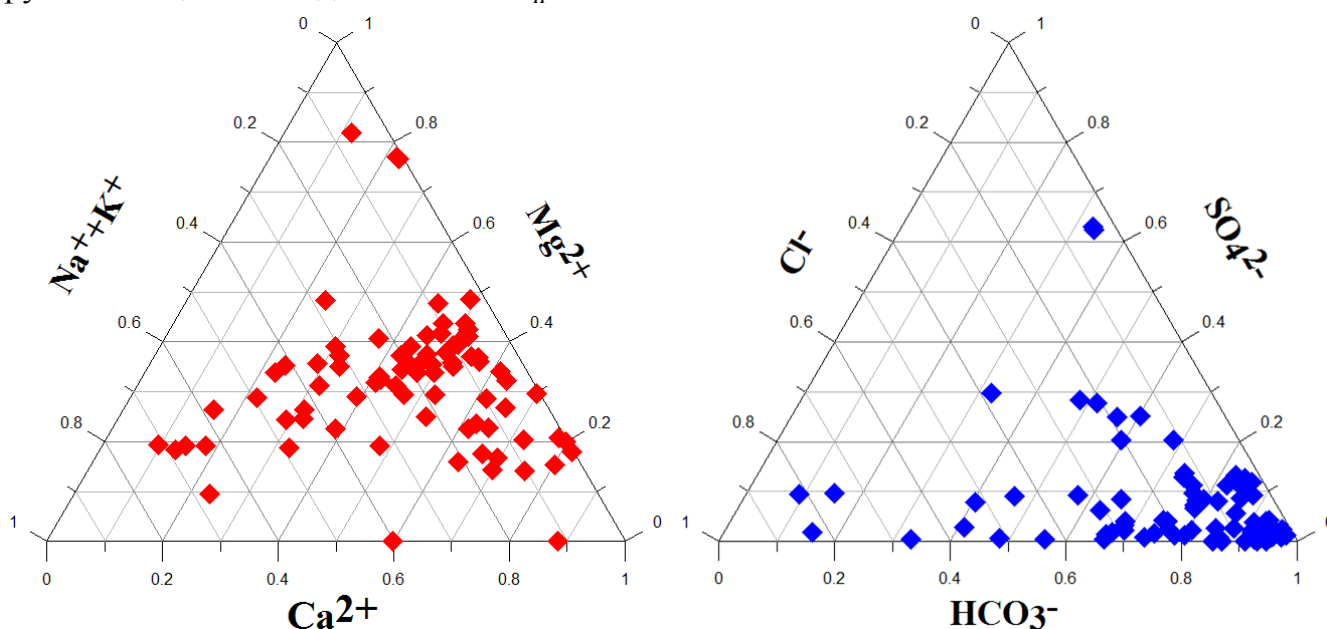


Рис. 2. Главнейшие ионы воды исследуемых озерных экосистем

3.3. Содержание растворенных в воде компонентов и их предельно-допустимые концентрации

Более половины озер характеризуются превышением предельно-допустимых для рыбохозяйственных водоемов концентраций растворенных в воде фосфат-анионов (для

олиготрофных водных объектов) и общего железа. Несколько озер (6 ед.) водосбора рек Оленек и Анабар обладают повышенными концентрациями ионов аммония. Данные высокие концентрации указанных параметров могут считаться результатом естественных причин ввиду удаленности изучаемых водных объектов от населенных пунктов и развитых в хозяйственном отношении территорий.

3.4. Группы озерных экосистем по морфометрическим, гидрохимическим параметрам и прозрачности воды

С целью выявления общих особенностей между озерами и выделения групп объектов со сходными значениями морфометрических, гидрохимических параметров и прозрачности воды проведен кластерный анализ. В исследуемой выборке водные объекты не демонстрируют выраженной специфики сочетаний морфометрических характеристик по водосборным территориям, природным подзонам или морфогенетическим типам. По совокупности гидрохимических параметров выделено 5 кластеров, при этом четкого агрегирования озер в соответствии с речными бассейнами не установлено. Во 2-м объединении преобладают водоемы северной тайги, в кластере 5 – различных подзон тундры. По сочетаниям значений прозрачности и освещенности воды выделено 4 кластера, в которых наибольшую вариабельность демонстрируют озера бассейнов рек Анабар и Лена, присутствующие во всех выделенных группах. Все водоемы бассейнов рек Индигирка и Колыма, практически все озера водосбора р. Оленек объединены в единый кластер, который характеризуется преобладанием озер северной тайги и наименьшими значениями прозрачности (в среднем 0,5 м) и освещенности (0,2).

ГЛАВА 4. ТАКСОНОМИЧЕСКИЙ СОСТАВ, ЭКОЛОГО-ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ И РАЗНООБРАЗИЕ ДИАТОМОВЫХ ВОДОРΟΣЛЕЙ ОЗЕРНЫХ ЭКОСИСТЕМ СЕВЕРА ЯКУТИИ

4.1. Таксономический состав диатомовых комплексов озерных экосистем

Таксономический список диатомовых водорослей 83 озер насчитывает 483 вида (с учетом разновидностей и форм – 502 таксона) 3 классов: *Coscinodiscophyceae*, *Fragilariophyceae* и *Bacillariophyceae* (табл.1).

Таблица 1

Таксономический состав флоры диатомей изучаемых озерных экосистем

Класс	Порядок	Семейство	Род	Вид	Разновидность и форма
1	2	3	4	5	6
<i>Coscinodiscophyceae</i>	5	6	8	36	-
<i>Fragilariophyceae</i>	2	2	16	44	7
<i>Bacillariophyceae</i>	9	27	68	403	18
Всего	16	35	92	483	25

Наибольшим числом видов и разновидностей представлены роды *Eunotia* (38), *Pinnularia* (33), *Nitzschia* (30), *Navicula* (29), *Gomphonema* (20) и *Achnanthes* (17 таксонов). Самой высокой частотой встречаемости среди видов отличаются *Sellaphora pupula* (отмечен в 73 водоемах), *Tabellaria flocculosa* (в 72 объектах) и *Stauroneis phoenicenteron* (в

67). Только 113 (22,5 %) таксонов рангом ниже рода зафиксировано более чем в 10 % (9 и более) исследуемых водоемов.

Небольшое количество таксонов имеет высокие значения относительного обилия (лишь 20 % обладают хотя бы в 1 озере долей >5 %). Самые высокие значения относительной численности зафиксированы для *Stausosirella pinnata* (84,4 %), *Tabellaria flocculosa* (54,5 %), *Eunotia praerupta* (53,8 %), *Aulacoseira subarctica* (52,4 %), *Stausosira venter* (49,5 %) и *Asterionella formosa* (47,9 %). Среднее значение относительного обилия видов варьирует от 0,002 до 9,9 %, при этом только 3,4 % (17 видов и разновидностей) обладают параметром, превышающим 1 %. Наибольшими средними значениями показателя относительного обилия обладают следующие таксоны: *Tabellaria flocculosa* (9,9 %), *Stausosirella pinnata* (7,7 %), *Stausosira venter* (4,0 %), *S. construens* (3,5 %), *Eunotia praerupta* (3,4 %), *Tabellaria fenestrata* (2,8 %), *Sellaphora pupula* (2,7 %), *Achnantheidium minutissimum* (2,5 %) и *Fragilaria capucina* (2,5 %).

Для исследуемых озер особенностью распределения особей диатомей между таксонами является преобладание суммарной относительной численности доминантов (в среднем для выборки 42,9 %), второй по значимости группой выступают обычные (30,6 %), наименьшее количество представителей исследуемого отдела водорослей приходится на субдоминантов и единичных (14,8 и 11,7 % соответственно).

Массовыми таксонами (с относительной численностью >5 %) в различных водоемах выступают 100 видов и разновидностей. К доминантам (доля таксона >10 %) в тех или иных водных объектах отнесены 56 таксонов рангом ниже рода, к субдоминантам (доля >5 %) – 72. При этом наибольшей частотой в качестве представителей доминантов отмечены *Tabellaria flocculosa* (в 28 озерах), *Stausosirella pinnata* (в 22), *Stausosira venter* (в 10), *S. construens* (в 9), *Tabellaria fenestrata* (в 8), *Achnantheidium minutissimum* (в 7) и *Eunotia praerupta* (в 7). В качестве субдоминантов чаще всего выступают *Sellaphora pupula* (в 11 озерах), *Tabellaria flocculosa* (в 11), *Stausosirella pinnata* (в 10), *Tabellaria fenestrata* (в 9) и *Achnantheidium minutissimum* (в 7).

4.2. Сходство таксономического состава диатомовых водорослей озер

Внутри выборки водных объектов наблюдается значительное различие таксономического состава между озерами как по коэффициенту Серенсена (варьирует от 0 до 0,69, в среднем составляя 0,3), так и по коэффициенту Брея-Кертиса (изменяется от 0 до 0,66, при среднем 0,175). В ходе проведения кластерного анализа на уровне, соответствующем значению меры сходства Брея-Кертиса, равном примерно 0,23, выделено 14 кластеров, включающих от 1 до 28 озер (рис. 3). Внутри выделенных кластеров исследуемые озерные экосистемы характеризуются достаточно высокой видовой специфичностью, уникальностью. Даже близко расположенные водные объекты значительно отличаются по таксономическому составу диатомей. В роли основного объединяющего компонента для флористических списков озер выступают «массовые» виды, получающие широкое развитие и соответственно хорошо приспособленные к условиям окружающей среды. Присутствие одного или нескольких массовых видов на фоне большого количества таксонов с малыми значениями относительной численности является характерной особенностью таксономической структуры диатомовых комплексов озерных экосистем северной части Якутии.

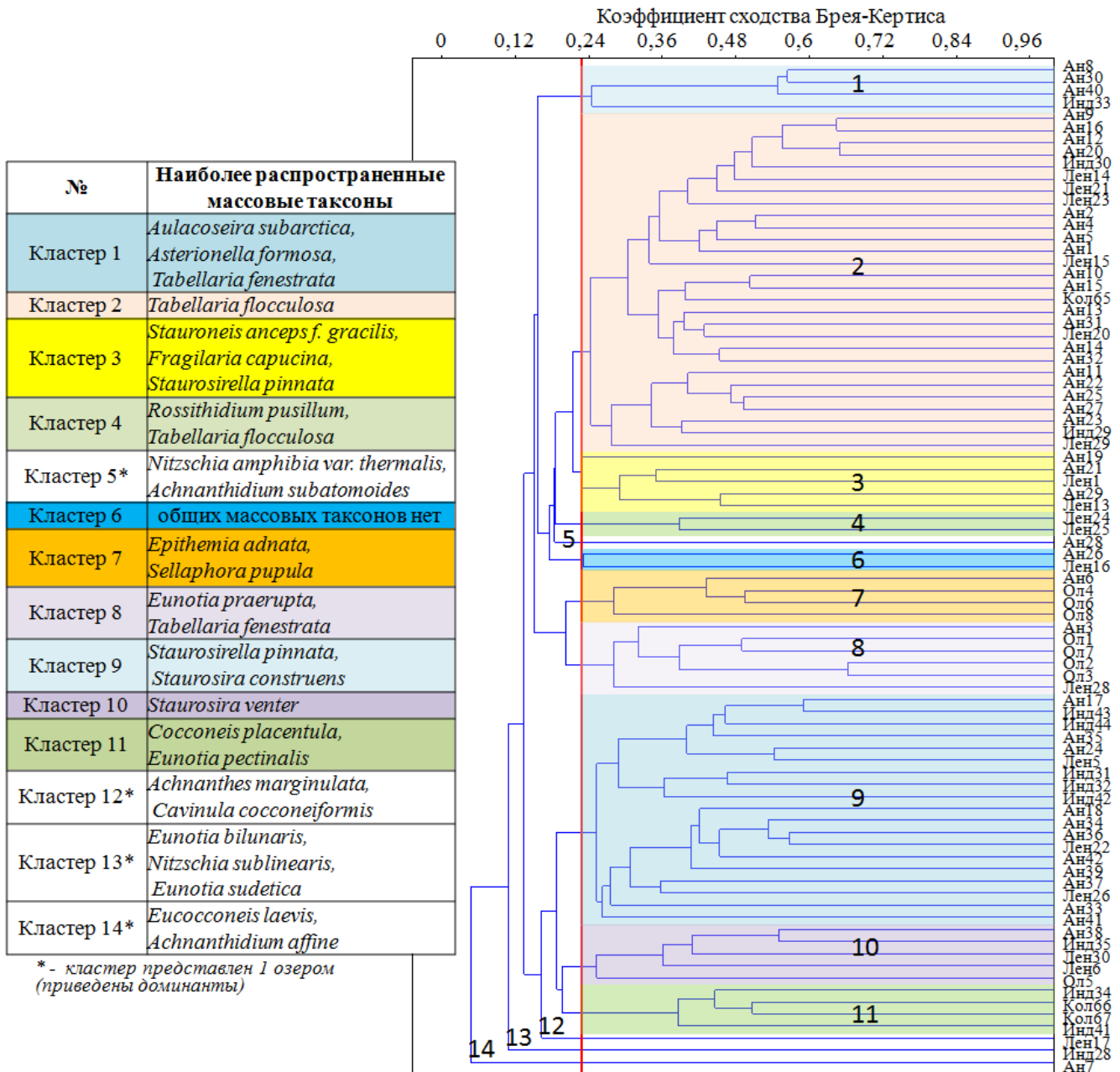


Рис. 3. Дендрограмма сходства таксономического состава диатомей озерных экосистем

4.3. Экологические особенности и географическая распространенность диатомей

По преимущественному местообитанию диатомовые водоросли исследуемых озерных экосистем представлены, в основном, обрастателями (в среднем 58,2 % суммарной относительной численности особей), в меньшей степени – донными (28,3 %). Планктонные формы в среднем получили наименьшее развитие (13,5 %). По отношению к солености воды преобладают индифференты (62,7 %), значительна роль галофобов (21,5 %). Около половины суммарной относительной численности занимают алкалифилы (47,7 %). Значительная доля приходится на ацидофилов (в среднем – 20,8 %) и нейтрофилов (15,3 %). По географическому распространению диатомей примерно в равной степени представлены космополитными (36,2 %) и бореальными видами (34,4 %), в среднем на аркто-альпийские таксоны приходится только около одной пятой общей численности зафиксированных особей (19,4 %). Диатомовая флора исследуемых озер может быть описана как характерная для достаточно мелких по глубине пресных водоемов со

слабощелочными значениями рН воды, что в целом присуще и водным объектам других частей Якутии, расположенным южнее.

4.4. Разнообразие диатомовых водорослей

Для диатомовых комплексов каждой исследуемой озерной экосистемы рассчитаны стандартные показатели разнообразия и выравненности, в том числе индекс Шеннона-Уивера (в среднем равен 2,8), показатель выравненности Пиелу (0,7), мера доминирования Симпсона (0,14), индекс разнообразия Симпсона (10,5), индексы Маргалефа (6,9), Менхиника (1,9), Животовского (28,3) и доля редких видов (0,4). Следует отметить, что экосистемы исследуемых водных объектов обладают достаточно высоким разнообразием и высокой выравненностью состава диатомовых водорослей. В водоемах встречается большое количество видов и разновидностей диатомей (в среднем 44). Проведенные ранее на территории Якутии исследования также подчеркивают высокое разнообразие диатомовых водорослей (Пестрякова, 2008а, 2009), которое по территории региона изменяется незначительно.

4.5. Диатомовые водоросли и органическое загрязнение озерных экосистем Севера Якутии

С использованием видов и разновидностей диатомей с известными значениями сапробной валентности и данными об их численности для всех озерных экосистем рассчитан индекс сапробности, который для водоемов выборки варьирует в диапазоне от 0,63 (озеро Ол3) до 1,81 (Лен29), в среднем составляя 1,27. По величине отмеченного параметра озера отнесены к 2 категориям: олигосапробные (83,1 % или 69 озер, значение индекса от 0,51 до 1,5 включительно) и β -мезосапробные (16,9 % или 14 объектов, величина показателя от 1,51 до 2,5) водоемы. В целом, средневзвешенные значения индекса сапробности водоемов по территории района исследования распределены достаточно равномерно (от 1,1 до 1,5) и характеризуют исследуемые озерные экосистемы как олигосапробные, или обладающие чистой водой (2 класс качества).

ГЛАВА 5. ВЗАИМОСВЯЗЬ СОСТАВА ДИАТОМОВЫХ ВОДОРОСЛЕЙ, МОРФОМЕТРИЧЕСКИХ И ГИДРОХИМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ОЗЕРНЫХ ЭКОСИСТЕМ СЕВЕРА ЯКУТИИ

5.1. Взаимосвязи морфометрических, гидрохимических характеристик и параметров местоположения озер

В результате корреляционного анализа с применением коэффициента Спирмена (ρ) установлено, что изучаемые абиотические факторы характеризуются взаимной обусловленностью, выражающейся в наличии большого количества корреляционных связей (при $p < 0,05$). Основная масса морфометрических переменных демонстрирует сильные положительные взаимосвязи между собой. Такими параметрами являются длина, ширина максимальная и средняя, площадь зеркала, приблизительный объем и длина береговой линии. Во всех указанных случаях $\rho > 0,7$. Развитие береговой линии связано с длиной озерных экосистем ($\rho = 0,55$), их показателем удлиненности ($\rho = 0,75$) и длиной береговой линии ($\rho = 0,57$). Для максимальной глубины не установлено достоверных средних и сильных коэффициентов корреляции с другими параметрами.

Гидрохимические характеристики демонстрируют наличие взаимосвязей между собой. Так, минерализация положительно связана с концентрациями кремния ($\rho=0,66$), всех главных ионов (кальция ($\rho=0,9$), магния ($\rho=0,92$), суммы натрия и калия ($\rho=0,51$), гидрокарбонат- ($\rho=0,92$), хлорид- ($\rho=0,67$) и сульфат-анионов ($\rho=0,64$)) и общей жесткостью ($\rho=0,96$). Общая жесткость возрастает на фоне увеличения концентраций кальция ($\rho=0,95$) и магния ($\rho=0,93$), роста количеств кремния ($\rho=0,7$), гидрокарбонат- ($\rho=0,95$), сульфат- ($\rho=0,61$) и хлорид-анионов ($\rho=0,59$). Следует отметить, что кремний – важнейший для диатомей компонент, положительно связан почти со всеми главными структурообразующими ионами воды (кроме $\sum\text{Na}^++\text{K}^+$ и Cl^-). Прозрачность обнаруживает средние отрицательные коэффициенты Спирмена со значениями минерализации ($\rho=-0,54$) и концентрацией гидрокарбонатов ($\rho=-0,52$).

Наблюдается зависимость физико-химических характеристик воды озер от географической широты местности. Так, с ростом значений координат широты озерных экосистем снижается минерализация ($\rho=-0,62$), общая жесткость ($\rho=-0,65$), концентрации кремния ($\rho=-0,78$), растворенных в воде ионов кальция ($\rho=-0,59$), магния ($\rho=-0,52$), гидрокарбонат- ($\rho=-0,67$) и сульфат-анионов ($\rho=-0,68$). Такого рода зональные закономерности, вероятно, являются результатом изменения соотношений количеств выпадающих на территории атмосферных осадков и испаряемостью.

5.2. Местоположение озерных экосистем и относительное обилие диатомовых водорослей

Установлена связь относительной численности 25 широко представленных видов диатомей с косвенными абиотическими факторами, описывающими местоположение озерных экосистем. Ряд таксонов диатомовых водорослей характеризуется зональными изменениями относительного обилия. Так, *Encyonema alpinum* ($\rho=-0,83$), *Eunotia monodon* ($\rho=-0,5$), *Stausirella lapponica* ($\rho=-0,67$) и *Fragilaria constricta* ($\rho=-0,77$) демонстрируют уменьшение относительного обилия при росте значений широты местности. Для аркто-альпийских *Neidium ladogensis* ($\rho=0,73$) и *Pinnularia nodosa* ($\rho=0,55$) наблюдается противоположная тенденция. *Nitzschia dissipata* ($\rho=0,65$), *Eunotia pectinalis* ($\rho=0,5$), *Gomphonema clavatum* ($\rho=0,63$) и *Hippodonta capitata* ($\rho=0,75$) отмечены возрастанием относительного обилия, а *Cymbella aspera* ($\rho=-0,74$) и *Fragilariforma virescens* ($\rho=-0,67$) – его снижением при увеличении значений координат местности по долготе. Отмеченное изменение относительного обилия, вероятно, описывает распределение изучаемых озерных экосистем внутри района исследования. В западной его части водоемы расположены южнее, что объясняет увеличение доли относительно теплолюбивых бореальных (и *E. pectinalis* – космополит) и сокращение холодноводных аркто-альпийских видов.

Доля нескольких таксонов в структуре диатомовых комплексов объединена положительными корреляционными связями с кратчайшим расстоянием от озерных экосистем, в которых они отмечены, до ближайшего моря (Море Лаптевых или Восточно-Сибирское). Такими видами являются *Stausirella lapponica* ($\rho=0,73$), *Rhopalodia gibba* ($\rho=0,75$), *Encyonema alpinum* ($\rho=0,7$), *Eucocconeis laevis* ($\rho=0,83$) и *Fragilaria constricta* ($\rho=0,9$). Для аркто-альпийских видов *Neidium ladogensis* ($\rho=-0,69$) и *Pinnularia nodosa* ($\rho=-0,69$), напротив, характерно увеличение относительного обилия близ морского побережья

(на севере). *Cymbella subcuspidata* ($\rho=-0,64$), *Meridion circulare* ($\rho=-0,76$), *Achnantheidium helveticum* ($\rho=-0,83$), *Craticula halophila* ($\rho=-0,66$) и *Pinnularia major* ($\rho=-0,66$) демонстрируют отрицательную связь относительной численности с величиной кратчайшего расстояния до ближайшей к озерам, в которых виды и разновидности встречаются, реки, не обнаруживая значимых коэффициентов корреляции с другими пространственными характеристиками. Отмеченные таксоны известны как предпочитающие текущие (*M. circulare*) и стояче-текущие (*C. halophila* и *P. major*) водные объекты. *Eunotia triodon* ($\rho=0,76$) и *Hippodonta hungarica* ($\rho=0,67$) характеризуются ростом относительной численности при удалении от ближайших к озерным экосистемам (в которых они обитают) водотоков.

5.3. Связь морфометрических характеристик водоемов и относительной численности таксонов диатомовых водорослей

Для 19 видов и разновидностей удалось установить статистически значимые корреляционные связи относительного обилия и морфометрических характеристик водных объектов, в которых данные виды и разновидности обитают. Таксоны различным образом реагируют на изменение размеров водной поверхности озер. Так, при возрастании площади зеркала некоторые виды и разновидности увеличивают свою численность. Такими таксонами являются *Diploneis oblongella* ($\rho=0,59$), *Pseudostaurosira parasitica* var. *subconstricta* ($\rho=0,58$) и *Hippodonta hungarica* ($\rho=0,75$). Другие, напротив, лучше развиваются в водоемах с меньшими размерами водной поверхности. Таковыми, например, являются *Neidium bisulcatum* ($\rho=-0,63$) и *Cymbopleura inaequalis* ($\rho=-0,76$), объединенные отрицательной связью с площадью зеркала. *Neidium bisulcatum* также характеризуется сокращением обилия с увеличением объема водной массы озер ($\rho=-0,7$). Помимо этого, с ростом длины береговой линии наблюдается сокращение численности *Diploneis ovalis* ($\rho=-0,59$), *Aulacoseira granulata* ($\rho=-0,64$) и *Staurosirella lapponica* ($\rho=-0,72$), что, по всей видимости, также указывает на благоприятствование для указанных видов условий небольших по площади водной поверхности озер. Стоит отметить, что данные таксоны не объединены общими экологическими предпочтениями по отношению к солености, рН воды или местообитанием внутри водоемов.

Несколько видов демонстрируют связь с изменением значений максимальной глубины без значительных коэффициентов корреляции с характеристиками водной поверхности. При увеличении глубины наблюдается рост относительного обилия *Fragilaria constricta* ($\rho=0,9$), *Pinnularia semicrucata* ($\rho=0,83$), *Gyrosigma attenuatum* ($\rho=0,63$), сокращается доля *Navicula vulpina* ($\rho=-0,76$). Данные виды представлены донными диатомеями и обрастателями, по отношению к солености являются индифферентами. Вид *Hippodonta capitata* отмечен наличием сильной положительной корреляционной связи с длиной озер ($\rho=0,73$) и их показателем удлиненности ($\rho=0,74$). Вероятно, данный таксон лучше развивается в озерах водно-эрозионного типа, нередко характеризующихся значительным превышением длины над шириной. Относительная численность *Rhopalodia gibba* возрастает при увеличении развития береговой линии озер ($\rho=0,83$), что, по всей видимости, создает благоприятные условия для жизни данного вида-эпифита. *Karayevia laterostrata* характеризуется сокращением относительной численности особей при росте удлиненности зеркала ($\rho=-0,76$) и изрезанности берегов ($\rho=-0,79$).

5.4. Взаимосвязь относительного обилия диатомей и гидрохимических параметров озерных экосистем

Установлены статистически значимые средние и сильные корреляционные связи между гидрохимическими параметрами (и прозрачностью воды) и относительной численностью 58 широко распространенных таксонов диатомей рангом ниже рода. Следует подчеркнуть, что все химические параметры воды озерных экосистем (и прозрачность) демонстрируют разнонаправленные (положительные или отрицательные) взаимосвязи с относительной численностью различных видов или разновидностей.

Такая важнейшая характеристика воды, как минерализация, объединена положительными связями с 9 таксонами: *Surirella linearis* ($\rho=0,7$), *Pinnularia brevicostata* ($\rho=0,53$), *Eunotia monodon* ($\rho=0,56$), *E. pectinalis* ($\rho=0,58$), *Denticula kuetzingii* ($\rho=0,54$), *Gomphonema gracile* ($\rho=0,63$), *G. acuminatum* ($\rho=0,73$), *G. clavatum* ($\rho=0,76$) и *G. parvulum* ($\rho=0,52$). *Cavinula jaernefeltii* ($\rho=-0,8$), напротив, характеризуется сокращением относительной численности при росте концентрации растворенных в воде ионов.

Общая жесткость обнаруживает наличие положительных связей с рядом видов диатомей: *Eucocconeis laevis* ($\rho=0,75$), *Epithemia adnata* ($\rho=0,53$), *Sellaphora bacillum* ($\rho=0,5$), *Surirella linearis* ($\rho=0,59$), *Denticula kuetzingii* ($\rho=0,67$), *Pinnularia brevicostata* ($\rho=0,52$), *Eunotia monodon* ($\rho=0,52$), *E. faba* ($\rho=0,54$), *E. pectinalis* ($\rho=0,69$), *Ulnaria ulna* ($\rho=0,51$), *Gomphonema clavatum* ($\rho=0,74$), *G. gracile* ($\rho=0,58$), *G. acuminatum* ($\rho=0,73$), *G. parvulum* ($\rho=0,51$), *Navicula rhynchocephala* ($\rho=0,59$) и *N. radiosa* ($\rho=0,52$). *Cavinula jaernefeltii* демонстрирует сокращение численности при увеличении значений общей жесткости ($\rho=-0,85$).

Разнонаправленные связи существуют между водородным показателем и относительным обилием таких видов, как *Caloneis bacillum* ($\rho=-0,62$), *Neidium ampliatum* ($\rho=-0,52$), *Cavinula pseudoscutiformis* ($\rho=-0,5$), *Encyonema minutum* ($\rho=-0,61$), *Planothidium lanceolatum* ($\rho=0,51$) и *Staurosirella lapponica* ($\rho=0,75$). Концентрация общего железа обнаруживает корреляционные связи с процентными долями *Epithemia adnata* ($\rho=-0,59$), *Aulacoseira valida* ($\rho=-0,84$), *Rossithidium pusillum* ($\rho=-0,57$), *Navicula rhynchocephala* ($\rho=-0,5$), *Hippodonta hungarica* ($\rho=-0,88$), *Meridion circulare* ($\rho=-0,83$), *Pinnularia borealis* ($\rho=-0,77$) и *Eunotia triodon* ($\rho=0,93$).

Выявлена взаимосвязь количеств растворенного в воде кремния и относительного обилия ряда видов диатомей. Так, *Denticula kuetzingii* ($\rho=0,63$), *Fragilaria constricta* ($\rho=0,93$), *Eucocconeis laevis* ($\rho=0,93$), *Encyonema minutum* ($\rho=0,74$), *Gomphonema gracile* ($\rho=0,64$) и *G. acuminatum* ($\rho=0,55$) увеличивают численность при росте значений концентрации кремния. *Karayevia laterostrata* ($\rho=-0,65$), напротив, демонстрирует отрицательную связь с данным параметром.

При увеличении значений прозрачности воды наблюдается сокращение доли таких видов, как *Neidium hitchcockii* ($\rho=-0,67$), *Eunotia faba* ($\rho=-0,52$), *Encyonema alpinum* ($\rho=-0,66$), *Diatoma tenuis* ($\rho=-0,53$), *Cymbella gracilis* ($\rho=-0,61$), *Gomphonema acuminatum* ($\rho=-0,58$), *Nitzschia dissipata* ($\rho=-0,5$), *N. palea* ($\rho=-0,64$) и *Tetracyclus glans* ($\rho=-0,52$). Обратная тенденция установлена для *Fragilaria constricta* ($\rho=0,73$), *Pseudostaurosira parasitica* var. *subconstricta* ($\rho=0,57$) и *Craticula halophila* ($\rho=0,76$).

Относительная численность ряда видов и разновидностей (помимо взаимосвязи с переменными гидрохимии) характеризуется наличием корреляционных связей с

морфометрическими параметрами и местоположением озер. *Fragilaria constricta*, *Hippodonta hungarica*, *Rhopalodia gibba* и *Staurosirella lapponica* обнаруживают значимые коэффициенты Спирмена со всеми указанными группами абиотических факторов. Разветвленная структура связей указывает на сложный характер влияния окружающей среды на относительную численность диатомей.

5.5. Взаимная обусловленность в изменении относительного обилия широко распространенных таксонов диатомовых водорослей

Проведено исследование корреляционных связей между относительной численностью различных видов и разновидностей диатомовых водорослей. Для 79 таксонов диатомей установлены связи во взаимном изменении относительной численности (всего 148 коэффициентов). Наибольшее количество корреляционных связей обнаружено для *Eunotia praerupta* (20 коэффициентов), *Navicula radiosa* (11), *Encyonema silesiacum* (10) и *Stauroneis phoenicenteron* (10). 23 коэффициента Спирмена являются отрицательными, что указывает как на различия в экологических предпочтениях таксонов, так в ряде случаев может быть объяснено существованием межвидовой конкуренции.

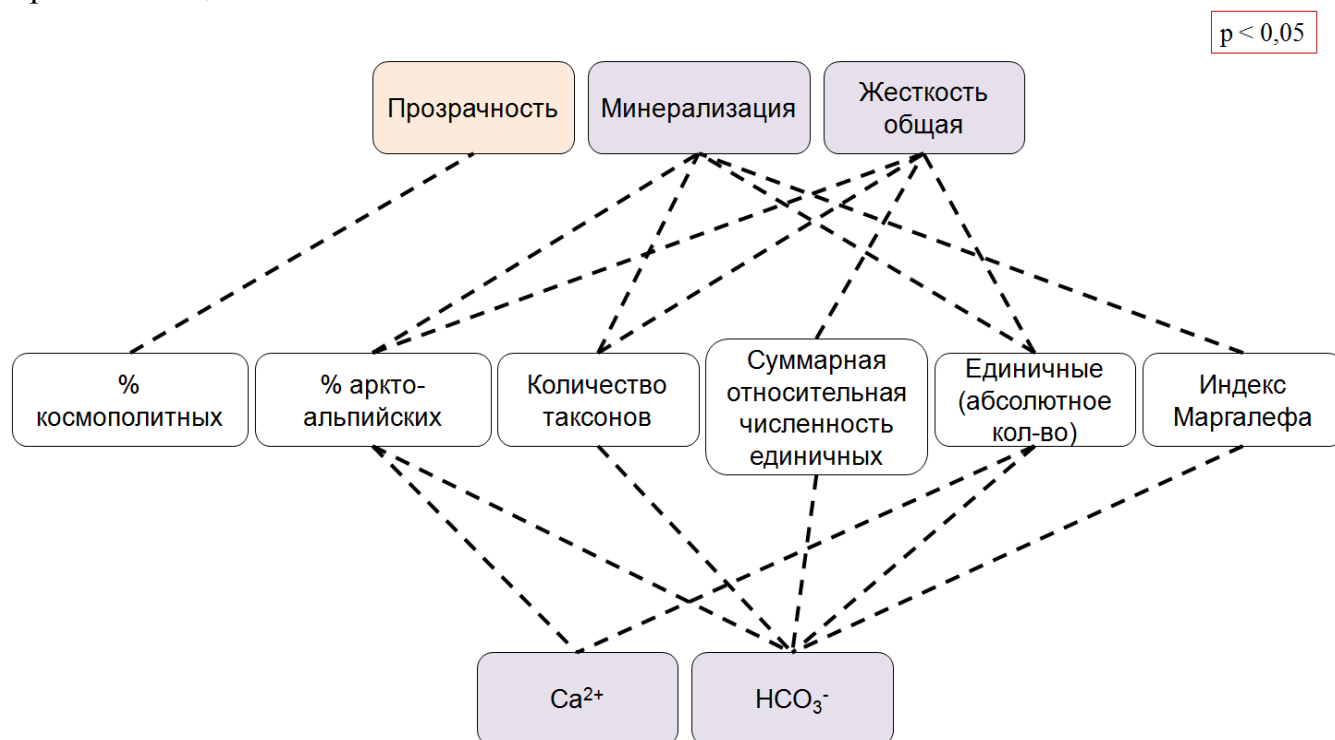
Так, конкурентные взаимоотношения могут, вероятно, присутствовать в следующих парах таксонов (характеризующихся схожими предпочтениями по отношению к местообитанию внутри водоемов): *Fragilaria brevistriata* – *Gomphonema clavatum*; *Eunotia praerupta* – *Fragilaria constricta*; *E. praerupta* – *Staurosira construens*; *E. bilunaris* – *Fragilariforma virescens*; *E. triodon* – *Encyonema silesiacum*; *E. triodon* – *Encyonema mesianum*; *S. construens* – *Encyonema silesiacum*; *Tabellaria flocculosa* – *Cocconeis placentula*; *T. flocculosa* – *Staurosirella lapponica*.

5.6. Факторы среды и обобщающие характеристики диатомовых комплексов озерных экосистем северной части Якутии

В качестве основных обобщающих (интегральных) характеристик выступили процентные доли и абсолютное количество отмеченных в озерных экосистемах особей диатомей различных эколого-географических групп, значения индексов разнообразия, сапробности, общее количество видов и разновидностей диатомей (таксонов). Между указанными интегральными параметрами, переменными местоположения и морфометрии озерных экосистем достоверных средних и сильных корреляционных связей не обнаружено. Установлено, что при снижении минерализации и общей жесткости (рис. 4), а также концентрации главных доминирующих ионов (кальция и гидрокарбонат-анионов) воды наблюдается рост отмеченного в озерах количества таксонов рангом ниже рода, суммарной относительной численности и абсолютного количества единичных видов, процентной доли аркто-альпийских диатомей и разнообразия по индексу Маргалефа (зависит от количества таксонов).

Указанные гидрохимические характеристики в районе исследования демонстрируют широтную зональность в своем изменении и увеличение значений с севера на юг, соответственно противоположные тенденции и прослеживаемая зональность могут быть применены при описании упомянутых интегральных для диатомовых водорослей характеристик. Количество обнаруженных в озерах таксонов отмечено сильными положительными корреляциями с показателями разнообразия, в том числе с индексом

Маргалефа ($\rho=0,99$). Рост прозрачности водных объектов сопровождается сокращением доли космополитов ($\rho=-0,52$), вероятно уступающих место видам, предпочитающим хорошо освещенные местообитания.



**Примечание: штриховая жирная линия - отрицательная средняя ($-0,7 \leq \rho < -0,5$) корреляционная связь*

Рис. 4. Взаимосвязь физико-химических параметров воды и прозрачности с обобщающими характеристиками диатомовых комплексов озерных экосистем

Увеличение общей доли аркто-альпийских форм диатомовых водорослей характеризуется ростом процентного количества галофобов ($\rho=0,56$) (что хорошо объясняет корреляционные связи с гидрохимическими параметрами) и ацидофилов ($\rho=0,64$). Индекс сапробности положительно связан с долей индифферентов ($\rho=0,64$) и алкалифилов ($\rho=0,63$) и отрицательно с процентным количеством галофобов ($\rho=-0,71$) и ацидофилов ($\rho=-0,71$). Возрастание доли индифферентов и алкалифилов в структуре диатомовых комплексов экосистем северных озер Якутии, следовательно, происходит параллельно увеличению уровня органического загрязнения исследуемых озер, и, наоборот, рост доли галофобов и ацидофилов наблюдается по мере увеличения степени чистоты водоемов. Такое положение дел позволяет развить идею о влиянии степени загрязненности воды на изменение количества видов и разновидностей диатомей исследуемых озерных экосистем. Как было отмечено ранее, разнообразие диатомей, связанное с ростом количества таксонов, значительный вклад в которое делают единичные виды, изменяется в противоположность минерализации, общей жесткости и концентраций главнейших ионов, следовательно, повышается в районе исследования с юга на север. Возможную причину такому положению дел можно усмотреть в снижении уровня органического загрязнения озерных экосистем на севере Якутии, что находит косвенное подтверждение в наличии взаимосвязей между индексом сапробности и процентными долями галофобов и ацидофилов, которыми в значительной степени представлена аркто-

альпийская флора диатомей, характеризующаяся схожими изменениями с отмеченными показателями разнообразия диатомей.

ВЫВОДЫ

1. Среди исследуемых озерных экосистем по морфометрическим параметрам в количественном отношении преобладают озера и очень малые водоемы с очень малой глубиной и формой зеркала, близкой к округлой. Вода озер обладает умеренной прозрачностью. По средним значениям концентраций химических компонентов она может быть описана как хлоридно-гидрокарбонатная натриево-магниевая-кальциевая, ультрапресная, очень мягкая, с нейтральным рН. Более половины озер характеризуется превышением ПДК_{в.р.} растворенных в воде фосфатов (для олиготрофных водных объектов) и общего железа.

2. Исследуемые водоемы представлены достаточно большим количеством видов и разновидностей (502 наименования) водорослей 92 родов отдела Bacillariophyta. Наибольшим числом таксонов характеризуются роды *Eunotia* (38 таксонов), *Pinnularia* (33), *Nitzschia* (30), *Navicula* (29), *Gomphonema* (20) и *Achnanthes* (17). Озерные экосистемы обладают достаточно высокой специфичностью (несходством) видового состава диатомей, для которого в роли главного объединяющего компонента выступают общие «массовые» таксоны, хорошо приспособленные к условиям окружающей среды.

3. По местообитанию внутри водоемов диатомовые водоросли представлены (по значениям относительной численности), в основном, эпифитами, в меньшей степени – донными. По отношению к солености и рН воды преобладают соответственно индифференты и алкалофилы. По географическому распространению отмечены примерно равные доли участия космополитных и бореальных форм диатомей.

4. Разнообразие и выравненность диатомовых водорослей озерных экосистем Севера Якутии могут быть оценены как высокие. Средневзвешенные значения индекса сапробности озер по территории района исследования распределены достаточно равномерно и характеризуют их как олигосапробные, или обладающие чистой водой (2 класс качества).

5. Концентрации растворенных в озерной воде кремния, ионов, обуславливающих минерализацию, и значения общей жесткости воды снижаются в районе исследования по мере продвижения с юга на север. Такого рода зональные закономерности являются, вероятно, результатом изменения соотношений количеств выпадающих на территории района осадков и испаряющейся влаги.

6. Для относительной численности 70 видов и разновидностей диатомей установлены различные по направленности и силе статистически значимые связи с отдельными характеристиками местоположения озерных экосистем (для 25 таксонов), их морфометрическими (для 19), гидрохимическими параметрами и прозрачностью воды (для 58). 79 видов и разновидностей диатомовых водорослей объединены положительными (125 ед.) и отрицательными (23 ед.) связями во взаимном изменении относительной численности. Данное обстоятельство указывает на различные экологические предпочтения таксонов диатомей (к величине абиотических факторов) и в ряде случаев на возможное существование межвидовой конкуренции.

7. При снижении минерализации и общей жесткости, а также концентрации кальция и гидрокарбонат-анионов воды наблюдается рост количества встречающихся в озерах таксонов диатомовых водорослей рангом ниже рода, увеличиваются суммарная относительная численность и абсолютное количество единичных видов, процентная доля аркто-альпийских диатомей и разнообразие по индексу Маргалефа. Возможной причиной роста значений отмеченных характеристик водорослей отдела Bacillariophyta является увеличение степени чистоты воды (снижение индекса сапробности) озерных экосистем. Возрастание прозрачности воды, в свою очередь, сопровождается сокращением доли космополитов, вероятно, уступающих место таксонам, предпочитающим хорошо освещенные местообитания.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ АВТОРОМ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ **Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК**

1. **Городничев, Р. М.** Взаимосвязи диатомовых водорослей с морфометрическими, гидрохимическими характеристиками и параметрами местоположения озер Севера Якутии / **Р. М. Городничев**, Л. А. Пестрякова, И. В. Ядрихинский // Вестник СВФУ. – 2015. – № 6 (50). – С. 14-26.
2. **Городничев, Р. М.** Разнообразие диатомовых водорослей водоемов северной части Якутии [Электронный ресурс] / **Р. М. Городничев**, И. М. Спиридонова, Л. А. Пестрякова // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 3. – Режим доступа: <http://www.science-education.ru/123-19641>. – (Дата обращения: 09.06.2015).
3. **Городничев, Р. М.** Сходство таксономического состава диатомовых водорослей озер Севера Якутии [Электронный ресурс] / **Р. М. Городничев**, И. М. Спиридонова, Л. А. Пестрякова // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 3. – Режим доступа: <http://www.science-education.ru/123-20117>. – (Дата обращения: 29.06.2015).
4. Морфометрические и гидрохимические особенности водно-эрозионных озер северных рек Якутии / **Р. М. Городничев**, Л. А. Ушницкая, И. В. Ядрихинский и др. // Вестник СВФУ. – 2014. – Т. 11, № 6. – С. 30-37.
5. **Городничев, Р. М.** Гидрохимическая характеристика водных объектов полуострова Фаддеевский (Новосибирские о-ва) / **Р. М. Городничев**, Л. А. Пестрякова // Наука и образование. – 2014. – № 1 (73). – С. 80-85.

Статьи и тезисы, опубликованные в других изданиях

6. **Городничев, Р. М.** Водоемы п-ова Фаддеевский (Новосибирские о-ва) / **Р. М. Городничев**, Л. А. Ушницкая, Л. А. Пестрякова // Успехи современного естествознания. – 2014. – № 8. – С. 43.
7. Особенности морфометрических и гидрохимических параметров водно-эрозионных озер северной части Якутии / **Р. М. Городничев**, И. В. Ядрихинский, Л. А. Ушницкая и др. // Международный студенческий научный вестник. – 2015. – № 2. – С. 319-320.
8. Предварительная лимнологическая характеристика водоемов полуострова Фаддеевский (Новосибирские острова) / Л. А. Ушницкая, **Р. М. Городничев**, И. М.

Спиридонова, Л. А. Пестрякова // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2013. – № 8. – С. 189-192.

9. **Городничев, Р. М.** Водоемы п-ова Фаддеевский (Новосибирские о-ва) / **Р. М. Городничев**, Л. А. Ушницкая, Л. А. Пестрякова // VI Международная студенческая электронная научная конференция «Студенческий научный форум»: Российская академия естествознания [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.scienceforum.ru/2014/pdf/7690.pdf>. – (Дата обращения: 22.03.2015).

10. Исследование водных объектов полуострова Фаддеевский (о. Котельный, Новосибирские о-ва) / **Р. М. Городничев**, Л. А. Ушницкая, Л. А. Фролова, Л. А. Пестрякова // География: традиции и инновации в науке и образовании. Коллективная монография по материалам ежегодной Международной научно-практической конференции LXVII Герценовские чтения. – СПб.: Изд-во РГПУ им. А. И. Герцена, 2014. – С. 43-46.

11. Колмогоров, А. И. Российско-германский проект по исследованию озер северных экосистем (на примере бассейна реки Хатанга) / А. И. Колмогоров, **Р. М. Городничев** // Материалы XVI международной экологической студенческой конференции «Экология России и сопредельных территорий». – Новосибирск: Новосибирский гос. ун-т., 2011. – С. 128.

12. Колмогоров, А. И. Российско-германский проект по исследованию экосистем северных водоемов (на примере бассейна реки Хатанга) / А. И. Колмогоров, **Р. М. Городничев** // IV Международная студенческая электронная научная конференция «Студенческий научный форум»: Российская академия естествознания [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.rae.ru/forum2012/pdf/3035.pdf>. – (Дата обращения: 20.05.2013).

13. Особенности морфометрических и гидрохимических параметров водно-эрозионных озер северной части Якутии / **Р. М. Городничев**, И. В. Ядрихинский, Л. А. Ушницкая и др. // VII Международная студенческая электронная научная конференция «Студенческий научный форум»: Российская академия естествознания [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.scienceforum.ru/2015/pdf/16375.pdf>. – (Дата обращения: 11.06.2015).

14. Современный российско-немецкий проект по изучению водоемов северных экосистем (на примере бассейна реки Хатанга) / **Р. М. Городничев**, А. И. Колмогоров, Л. А. Пестрякова и др. // Науки о Земле: устойчивое развитие территорий – теория и практика. Сб. материалов междунар. науч.-практ. конф. – Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 2012. – С. 34-35.

15. Черосов, Б. М. Типология озерных источников полигонально-валиковой южной субарктической тундры в долине реки Анабар (стационар «Юрюнг-Хая» СВФУ) / Б. М. Черосов, **Р. М. Городничев**, З. П. Атласова // Конференция «Ломоносов 2012» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://lomonosov-msu.ru/uploaded/800/31439_fbe3.pdf. – (Дата обращения: 23.04.2015).

16. Palynological characterization of the sediment core from the lake 12FAD03 of Faddeyevsky Peninsula, New Siberian Islands) / I. Yadrikhinskiy, N. Rudaya, L. Pestryakova, **R. Gorodnichev** // Paleolimnology of Northern Eurasia. Proceedings of the International Conference. – Petrozavodsk: Karelian Research Centre RAS, 2014. – P. 60-62.

17. Some physical and chemical parameters of water from water objects of Faddeyevsky Peninsula (New Siberian Islands) / **R. Gorodnichev**, L. Ushnitskaya, L. Pestryakova, I. Yadrikhinskiy // *Paleolimnology of Northern Eurasia. Proceedings of the International Conference.* – Petrozavodsk: Karelian Research Centre RAS, 2014. – P. 102-103.

18. The paliolimnological indication of diatoms (Bacillariophyta) from Yakutian lakes (East Siberia) / L. A. Pestryakova, U. Herzsuh, **R. M. Gorodnichev**, S. Wetterich // *Report Series in Aerosol Science (Proceedings of the 1st Pan-Eurasian Experiment (PEEX) Conference and the 5th PEEX Meeting).* – 2015. – № 163. – P. 335-340.

Городничев Руслан Михайлович

ВЗАИМОСВЯЗЬ СОСТАВА ДИАТОМОВЫХ КОМПЛЕКСОВ,
МОРФОМЕТРИЧЕСКИХ И ГИДРОХИМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОЗЕРНЫХ
ЭКОСИСТЕМ СЕВЕРА ЯКУТИИ

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата биологических наук

ИД 05324 от 09 июля 2001 г. Подписано в печать 14.01.2016 г.
Формат 60×84 1/16. Печ. л. 1,5.
Уч.-изд. л. 1,88. Тираж 100 экз. Заказ № 1.

Издательство и типография ФГБУН Институт мерзлотоведения
им. П. И. Мельникова СО РАН.
677010, г. Якутск, ул. Мерзлотная, д. 36, ИМЗ СО РАН.