

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования «Северо-Восточный федеральный университет
имени М.К. Аммосова»

На правах рукописи

Левина Сардана Николаевна

**КЛАССИФИКАЦИЯ ОЗЁР БАССЕЙНА РЕКИ ИНДИГИРКА
И ИХ СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ
(с применением диатомового анализа)**

Специальность 1.6.21 – Геоэкология

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата географических наук

Научный руководитель:
д. г. н. Пестрякова Людмила Агафьевна

Якутск – 2023

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
ГЛАВА 1. ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ И ОБЗОР ИЗУЧЕННОСТИ ВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМ БАССЕЙНА РЕКИ ИНДИГИРКА.....	11
1.1 Географическое положение, геологическое строение и рельеф	11
1.2 Климат, многолетняя мерзлота, почвенный покров и растительность	16
1.3. Обзор изученности водных экосистем бассейна реки Индигирка.....	35
Краткие выводы к главе 1	41
ГЛАВА 2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ	43
2.1 Объект исследования и фактический материал.....	43
2.2 Методы полевых, лабораторных исследований и статистического анализа	54
ГЛАВА 3. ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ВОДОЁМОВ УЧАСТКА (ПОЛИГОНА) КЫТАЛЫК.....	60
3.1 Мониторинг водоёмов на участке Кыталык	60
3.1.1 Динамика изменения некоторых физических параметров мониторингового водоёма IP-1	66
3.1.2 Распределение диатомовых водорослей в фитопланктоне водоёма IP-1	74
3.1.3 Связи между абиотическими параметрами и диатомовыми комплексами водоёма IP-1	81
3.2 Морфометрические и гидрохимические параметры водоёмов участка (полигона) Кыталык	86
3.2.1 Сравнительный анализ морфометрических и гидрохимических параметров водоёмов участка (полигона) Кыталык за 2011 и 2017 гг.....	95
3.3 Диатомовые комплексы, формирующие водоёмы полигона Кыталык	106
3.3.1 Таксономический состав, массовые формы и эколого-географическая структура диатомовых комплексов исследуемых водоёмов	106
3.3.2 Разнообразие диатомовых комплексов с использованием различных индексов и биоиндикационная оценка состояния водных экосистем	115
3.3.3 Сравнение состава диатомовых комплексов водоёмов полигона Кыталык 2011 и 2017 годов	119
3.4 Корреляции морфометрических, физико-химических параметров и диатомовых комплексов водоёмов участка (полигона) Кыталык	128
Краткие выводы к главе 3	134
ГЛАВА 4. ВЫЯВЛЕНИЕ ЛИМНО-ГИДРОХИМИЧЕСКИХ И ЭКОЛОГО- ГЕОГРАФИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ ОЗЁР БАССЕЙНА РЕКИ ИНДИГИРКА.....	137
4.1 Особенности морфометрических показателей	137
4.2 Физические и химические параметры воды.....	143
4.3 Таксономическая и эколого-географическая структура диатомовых комплексов в поверхностных осадках озёр.....	149

4.4 Индексы видового разнообразия диатомовых водорослей и оценка качества озерных вод по сапробности	158
Краткие выводы к главе 4.	162
ГЛАВА 5. ЭКОЛОГО-ЛИМНОЛОГИЧЕСКАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ ОЗЁР БАССЕЙНА РЕКИ ИНДИГИРКА.....	164
5.1 Классификации озёр по авторам	164
5.2 Выявление взаимосвязей параметров озёр бассейна реки Индигирка	178
5.3 Разработка региональной эколого-лимнологической классификации озёр Якутии (на примере бассейна реки Индигирка)	183
5.3.1 Классификация (типизация) озёр бассейна реки Индигирка.....	189
Краткие выводы к главе 5	197
ВЫВОДЫ	199
ЛИТЕРАТУРА	204

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность исследования. Арктический сектор Якутии является одним из самых труднодоступных, суровых и слабоизученных районов России. Обширную часть его западных территорий занимает бассейн реки Индигирка. Здесь, в зоне сплошного залегания многолетнемерзлых горных пород, широко распространены термокарстовые озёра. Развиваясь в экстремальных условиях, они вызывают повышенный интерес со стороны научного сообщества в качестве объекта исследований. Бассейн реки Индигирка в настоящее время изучен слабо, но в тоже время является потенциальным объектом развития промышленности в будущем. Установлено, что глобальное потепление климата будет наиболее ощутимо проявляться в высоких (северных) широтах (IPCC, 2021). В связи с этим для составления прогнозных сценариев глобальных изменений климата необходимо знать современное состояние криолитозоны. Также для изучения путей рационального использования водных ресурсов требуется выделение общих и индивидуальных признаков водных объектов, обусловленных комплексом абиотических и биотических факторов окружающей среды, определенные сочетания которых формируют водоёмы различных типов по генезису, свойствам воды, морфометрии котловин и гидробионтам. Для охвата многообразия водоёмов необходимо учитывать зональные, а зональные и местные факторы, под воздействием которых формируется гидрохимический режим водоёма, обуславливающий особенности протекания в нем продукционных процессов и осадконакопления (Якушко, 1988), что вызывает необходимость и высокую актуальность установления особенностей современного состояния водоёмов слабоизученного в лимнологическом отношении бассейна реки Индигирка, а также проведения их классификации по комплексу основных абиотических и биотических признаков с целью получения обобщенных представлений об их функционировании и развитии.

Цель работы – на основе морфометрических, физико-химических параметров воды и характеристик диатомовых водорослей дать оценку состоянию и произвести классификацию озёр различного генезиса бассейна реки Индигирка.

Для достижения поставленной цели решены следующие задачи:

1) в ходе полевых исследований и геоэкологического мониторинга выявить формы рельефа с определением типов водоёмов на мониторинговом участке бассейна реки Индигирка – полигон Кыталык. Проанализировать водоёмы полигона на изменение структуры биоиндикаторов, морфометрических и гидрохимических показателей;

2) установить особенности морфометрических и физико-химических параметров водоёмов на полигоне Кыталык и на разнотипных озёрах района на основе растительных зон исследования с последующим созданием базы данных;

3) изучить современный таксономический состав и эколого-географические характеристики диатомовых водорослей водоёмов полигона Кыталык и озёр бассейна реки Индигирка;

4) дать оценку современного состояния озёрных вод района исследований с применением диатомовых водорослей как биоиндикаторов изменения окружающей среды;

5) создать региональную классификацию озёр Якутии на примере бассейна реки Индигирка по отдельным лимнологическим параметрам и комплексу показателей.

Объект исследования: водоёмы полигона Кыталык и разнотипные озёра, расположенные в бассейне реки Индигирка.

Предмет исследования: диатомовые комплексы, морфометрические и гидрохимические параметры водоёмов полигона Кыталык и разнотипных озёр района исследований.

Материалы и методы исследования. Основные результаты диссертационной работы получены автором на основе отбора проб в полевых

условиях. В работе применен комплекс лимнологических, гидрохимических, геоинформационных и статистических методов, диатомовый и сравнительно-географический анализ.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Установлены три формы рельефа с указанием 7 типов водоёмов на мониторинговом участке бассейна реки Индигирка – полигон Кыталык: термокарстовые котловины (аласы), едомные возвышенности и пойма реки Бёрёлёх (Елонь). Анализ изученных водоёмов указывает на изменение биоиндикаторов, морфометрических и гидрохимических показателей с характерными особенностями по типам водоёмов.

2. Выявлены природные лимно-гидрохимические и эколого-географические особенности водных объектов бассейна реки Индигирка с физико-химическими показателями зонального характера изменения и классами качества воды по сапробности диатомей в водоёмах полигона Кыталык и разнотипных озёр.

3. Региональная эколого-лимнологическая классификация озёр Якутии, включающая 3 параметра, 18 признаков и 108 показателей, позволяет классифицировать озёра бассейна реки Индигирка с присвоением индивидуальных паспортов водным объектам и выявлением преобладающих классов.

Научная новизна работы состоит:

- в пионерном многоаспектном изучении диатомовых комплексов водоёмов полигона Кыталык арктической территории района исследования во взаимосвязи с абиотическими параметрами среды (морфометрическими, гидрохимическими характеристиками и параметрами местоположения водоёмов);

- в создании информационной базы параметров современного состояния водных экосистем по морфометрическим, физико-химическим показателям водоёмов полигона Кыталык и озёр бассейна реки Индигирка;

- в проведении комплексной оценки качества озёрных вод бассейна реки Индигирка по растительным зонам и по генезису их котловин;

- в разработке региональной многокритериальной эколого-лимнологической классификации озёр Якутии на примере бассейна реки Индигирка.

Теоретическая значимость работы заключается в получении новых сведений о состоянии экосистем водоёмов полигона Кыталык и озёр различного генезиса бассейна реки Индигирка по комплексу абиотических и биотических параметров, отражающих местоположение водных объектов, качество их воды, морфометрические параметры и состав диатомовых комплексов (ДК). Результаты работы могут быть основой для дальнейших исследований водных объектов бассейнов северных рек криолитозоны. Выводы диссертации вносят вклад в понимание общей изменчивости диатомовой флоры и абиотических параметров водной экосистемы в экстремальных условиях окружающей среды Арктики.

Практическая значимость. Материалы работы могут быть применены при проведении на территории района исследования водохозяйственных и природоохранных мероприятий. Свод данных о качестве воды и состоянии диатомовой флоры применимы в качестве информационной основы для организации экологического мониторинга и охраны окружающей среды территории якутской Арктики. Разработанная автором региональная эколого-лимнологическая классификация (РЭЛК) озёр, учитывающая основные компоненты озерной системы, пригодна для решения задач озёрного природопользования разного уровня. Результаты оценки современного состояния разнотипных озёр могут быть использованы при хозяйственном освоении и прогнозирования развития территории в условиях изменяющегося климата.

Степень достоверности и апробация работы. Результаты исследований обсуждались на научно-практических конференциях республиканского, российского и международного уровня: 2-ая

Международная конференция «Палеолимнология северной Евразии» (Якутск, 2016); Ежегодная международная научно-практическая конференция Герценовские чтения «География: развитие науки и образования» (Санкт-Петербург, 2018-2022); XV Международная научно-практическая конференция «Наука и образование сохраняя прошлое» (Пенза, 2018); XXVI Международная научно-практическая конференция «Вопросы современных научных исследований» (Омск, 2018); The 3rd International Conference «Paleolimnology of Northern Eurasia: experience, methodology, current status and young scientists school in microscopy skills in Paleolimnology» (Казань, 2018); Международная научно-практическая конференция «Вопросы современных научных исследований» (Омск, 2018); II Международная научно-практическая конференция «Теоретические и прикладные вопросы комплексной безопасности» (Санкт-Петербург, 2019); VI Международная научно-практическая конференция «Фундаментальные основы инновационного развития науки и образования» (Пенза, 2019); Международная научно-практическая конференция «Системная трансформация – основа устойчивого инновационного развития» (Уфа, 2020); The 4th International Conference «Paleolimnology of Northern Eurasia» (Иркутск, 2020); Международная научно-практическая конференция «Молодёжная наука» (Пенза, 2020); XXI Всероссийская научно-практическая конференция молодых ученых, аспирантов и студентов в г. Нерюнгри, с международным участием (Нерюнгри, 2020); Международный молодежный научный форум «Ломоносов» (Москва, 2021, 2022); Аспирантские чтения-2021 (Якутск, 2021); The 5th International Conference «Paleolimnology of Northern Eurasia and the School of Young Scientists» (Санкт-Петербург, 2022); XIII Всероссийская научно-практическая конференция «Геология и минерально-сырьевые ресурсы Северо-Востока России» (Якутск, 2023).

Основное содержание и научные положения диссертации изложены в **28** печатных работах, из которых **4** опубликованы в изданиях из списка ВАК. Полученные результаты в ходе выполнения диссертационной работы стали

основой 3 свидетельств о регистрации электронных баз данных (РИД) и 1 в международной системе PANGAEA.

Структура и содержание работы. Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, выводов, списка используемой литературы и приложений. Общий объем составляет 227 страниц, включает 77 рисунков, 32 таблицы. Список приложений – 5. Список литературы содержит 213 наименований, из которых 55 на иностранных языках.

Личный вклад автора. Диссертационная работа является самостоятельно выполненным научным исследованием. Автор самостоятельно спланировал полевые работы и выступил руководителем экспедиций по сбору фитопланктонных проб и поверхностных донных отложений (0-1 см) образцов на территории Ресурсного резервата «Кыталык» в 2017 году, а также участвовал в полевых геоботанических исследованиях в окрестностях поселка Чокурдах (Аллаиховский район) в течение 2013-2014 гг. Автор самостоятельно выполнил диатомовый анализ образцов, измерения в полевых условиях быстроизменяющихся физико-химических параметров воды водоёмов полигона Кыталык и озёр. Автором лично составлена база данных морфометрических, физико-химических параметров и диатомовых водорослей, проведена статистическая обработка данных с полным участием в интерпретации всех результатов и формулировок защищаемых положений, а также предложена и разработана РЭЛК озёр региона. Работа выполнена в лаборатории по изучению экологического состояния Арктики (БиоМ) Эколого-географического отделения Института естественных наук ФГАОУ ВО «СВФУ им. М.К. Аммосова» в рамках исполнения проектов РФФИ (№11-04-91332-ННИО; №13-05-00327 и 15-45-05063), проектов Министерства науки и высшего образования 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) в период 2011-2014 гг.; Проектная часть

государственного задания в сфере научной деятельности Министерства науки и высшего образования РФ по заданию №FSRG-2020-0019) и за счет экспедиционных грантов Института полярных и морских исследований имени А. Вегенера (АВИ, Германия).

Благодарности. Автор выражает признательность и благодарность за помощь в подготовке диссертации и наставничеству научному руководителю д.г.н. Пестряковой Людмиле Агафьевне, коллективу лаборатории Биом и Эколого-географического отделения Института естественных наук ФГАОУ ВО «СВФУ им. М.К. Аммосова» за всестороннюю помощь и поддержку в написании работы. Особые слова благодарности автор выражает к.б.н. Р.М. Городничеву и к.г.н. М.С. Васильеву за консультации по статистической обработке фактического материала и интерпретации полученных результатов. Автор признательна за ценные советы сотрудникам Института биологических проблем криолитозоны СО РАН.

ГЛАВА 1. ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ И ОБЗОР ИЗУЧЕННОСТИ ВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМ БАССЕЙНА РЕКИ ИНДИГИРКА

1.1 Географическое положение, геологическое строение и рельеф

Район исследования расположен на территории Северо-Востока Российской Федерации. Река Индигирка протекает по Республике Саха (Якутия) и принадлежит бассейну Восточного Сибирского моря. Водосборный бассейн реки имеет площадь 360 тыс. км² и расположен от южной до северной территории региона. На западе области простирается Верхоянская горная система, а на востоке – Полоусненско-Верхнеколымская, частично занимающая бассейн реки Индигирка (рисунок 1.1.1). С севера исследуемые участки омываются водами Восточно-Сибирского моря. С юга территория отгорожена хребтом Сунтар-Хаята (Левина и др., 2021).

Территория бассейна реки Индигирка принадлежит к Верхояно-Чукотской складчатой области мезозойской складчатости, охватывающей, кроме того, бассейны рек Алазеи, Яны, Алдана и Лены. Эта огромная территория весьма неоднородна по рельефу и геологическому строению и является частью Верхоянско-Колымской горноскладчатой области, которые сформированы плоскогорьями и плато, переходящими в горные хребты, наряду с ними здесь распространены низменные плоские равнины. В сложении горных цепей этой системы существенное участие принимают терригенные отложения палеозоя, триаса и юры, различного возраста и состава вулканогенные породы и гранитоиды, слагающие водоразделы горных хребтов (Основные этапы..., 1963).

Определяющую роль в формировании современного рельефа и речной сети бассейна реки Индигирка сыграли новейшие тектонические движения, а также процессы оледенения. Дифференцированные новейшие движения обусловили, в частности, смену эрозионных циклов и образование в долинах

горных рек большого количества террас высотой от 5 до 500 м (Коржуев, 1974).

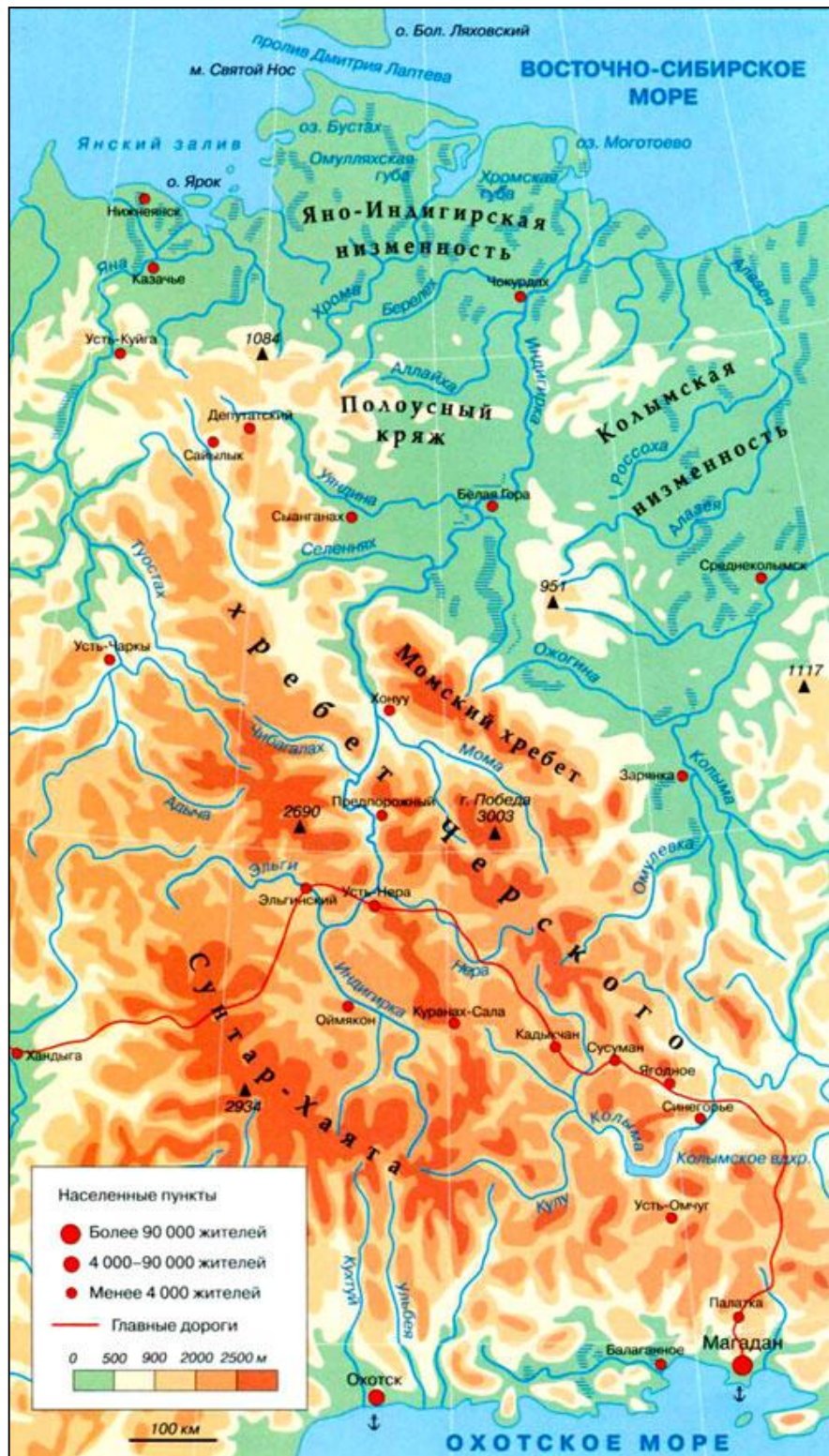


Рисунок 1.1.1 – Карта-схема бассейна реки Индигирка¹

¹ URL: <https://geosfera.org/aziya/russia-aziya/1233-indigirka.html>

В современном рельефе основные структурно-тектонические элементы выражены в виде соответствующих морфоструктурных образований. В общем виде складчатым областям соответствуют нагорья, горные цепи и хребты. Зоны дроблений и разломов выражаются в рельефе в виде интрузивных и блоковых горстообразных хребтов и кряжей, межгорных впадин и грабенов. Таким образом, крупнейшие современные орографические элементы являются одновременно и морфоструктурными (Резанов, 1964).

Тектоника местности определяется расположением на Евроазиатской и Североамериканской тектонических плит, граница между которыми проходит примерно по территории хребтов Черского и Сунтар-Хаята.

Обширная низменная территория района исследований относится к Яно-Индибирской низменности, сложенной главным образом различного рода морскими, речными и озёрными наносами с высоким содержанием подземного льда в силу преобладания многолетней мерзлоты, которая залегает здесь на глубину до 45-50 м. К особенностям современного рельефа Яно-Индибирской низменности относятся многочисленные термокарстовые котловины и равнины, так называемые аласы, заполненные озёрами или обширными болотами. Алас – типичное для равнинной Якутии (Общее мерзлотоведение, 1978) геологическое образование и форма рельефа. В таких аласах местами возвышаются бугры пучения (или по-якутски их называют «булгунняхы») или положительные замкнутые формы криогенного рельефа, которые возникают в криолитозоне в результате неравномерного сегрегационного, инъекционного (диапирового типа) льдообразования, или их сочетания в горных породах (Гляциологический словарь, 1984) (рисунок 1.1.2). Высота бугров пучения составляет от долей метра до 80 метров, а диаметр основания — от нескольких метров до километров. В районах, которые испытали четвертичное оледенение после дегляциации или граничили с краями ледников времени последнего похолодания (то есть образовались в перигляциальной зоне), обнаруживаются сохранившиеся в течение тысячелетий голоценовые бугры пучения. Последнее обстоятельство

не всегда обязательно, поскольку голоценовые полуразрушенные бугры пучения могут свидетельствовать и о наличии в местах их современного распространения многолетнемерзлых пород (ММП), крайне малом количестве атмосферных осадков или просто только мощного сезонномерзлого слоя и малой относительной увлажнённости климата, то есть — о резкоконтинентальных условиях времени их формирования (Рудой, 1988).



Рисунок 1.1.2 – Булгуннях на низовье реки Колыма (фото Ю. А. Мурзина, 1985)

Вдоль южной границы Яно-Индибирской низменности простирается в субширотном направлении от истоков реки Хрома до реки Индигирка горная гряда холмов – Полоусный кряж протяжённостью 175 км, с максимальной высотой — 968 м. На востоке, за долиной реки Индигирка, находится его продолжение — хребет Улахан-Сис (754 м), здесь находится большой останцовый массив, по живописности сравнимый со знаменитыми останцами-киселями на горе Киселях (Верхоянский хребет) – рисунок 1.1.3.



Рисунок 1.1.3 – «Гранитные города» на хребте Улахан-Сис²

² URL: http://www.mountain.ru/article/article_display1.php?article_id=8029

1.2 Климат, многолетняя мерзлота, почвенный покров и растительность

Климат. Район исследования (бассейн реки Индигирка), как и вся северная часть России, включая острова в Северном Ледовитом океане, находится в арктическом и субарктическом климатических поясах (рисунок 1.2.1). При выделении климатических поясов определяющую роль играет влажность воздушных масс (Алисов, Полтараус, 1974). В их пределах находятся и климатические области, где различия формируются за счет температуры, количества тепла и влаги.



Рисунок 1.2.1 – Карта климатических поясов и областей России³

Ниже приведена сводная таблица, сформированная (Пестрякова, 2009) и дополненная автором, где дается краткая характеристика климатических поясов на территории бассейна реки Индигирка (таблица 1.2.1).

Северная часть исследуемой территории узкой полосой расположена в пределах арктического пояса и характеризуется климатом арктических

³ URL: <https://natworld.info/nauki-o-prirode/klimat-rossii-osobennosti-tipy-oblasti-zony-i-regiony>

пустынь и тундр. Эту область также называют Заполярьем или Русской Арктикой.

Таблица 1.2.1 – Некоторые характеристики арктического и субарктического климатического поясов бассейна реки Индигирка

Пояс/Область	Арктический	Субарктический
Географическое положение	Острова Восточно-Сибирского моря и его побережье	Вся остальная территория бассейна реки Индигирка
Условия формирования	Господствует холодный арктический воздух, длинная полярная ночь, антициклоны	Малое испарение
Температура	-24 °С...-30 °С +2 °С...+5 °С	+4 °С...+12 °С
Осадки	200-300 мм/год	200-400 мм/год
Коэффициент увлажнения (K _{увл.})	>1	>1

Термический режим воздуха формируется под влиянием климатообразующих факторов разного масштаба. К макромасштабным факторам следует отнести атмосферную циркуляцию, радиационный режим и характер подстилающей поверхности, определяемые широтой местности, степенью континентальности и макрорельефом. Кроме макромасштабных факторов, на термический режим оказывают влияние местные условия: мезо- и микрорельеф, характер растительности и почв, близость водоёмов и т. д. Размеры страны, неоднородность подстилающей поверхности и возникающее в этих условиях разнообразие циркуляционных процессов приводит к сложной картине пространственно-временного распределения температуры воздуха (рисунок 1.2.2). На Азиатской части России наиболее холодными являются центральные и восточные районы Республики Саха (Якутия). В долинах рек Яна и Индигирка средняя годовая температура составляет -15...-16 °С. Низкие годовые температуры и в Арктическом бассейне. Здесь наиболее высокие средние годовые температуры (-1...-5 °С) отмечаются на крайнем западе

Северного Ледовитого океана, а наиболее низкие ($-13\dots-14\text{ }^{\circ}\text{C}$) на побережьях и островах морей Лаптевых и Восточно-Сибирского (Климат России, 2001).



Рисунок 1.2.2 – Карта среднегодовых температур воздуха на территории России⁴

Климат арктических пустынь имеет низкие температуры воздуха зимой до $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$. Годовая сумма атмосферных осадков до 400 мм. Температурный режим зоны типичной тундры характеризуется средней температурой самого теплого месяца $3-6\text{ }^{\circ}\text{C}$, $7-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ и $10-12\text{ }^{\circ}\text{C}$. Летом почва пропитывается слоями снега и едва оттаявшего льда. Ледяной и снежный покровы держатся почти весь год. Зимой здесь долгая полярная ночь (на 75° с.ш. – 98 суток; на 80° с.ш. – 127 суток; в районе полюса — полгода). Дуют сильные ураганные ветры, часты бураны. Здесь почти нет лета, хотя отмечается круглосуточное освещение (белые ночи). Во время белых ночей солнце не заходит по 20 часов,

⁴ URL: <http://www.lbk.ru/showthread.php?25662-D0%9C%D0%BD%D0%BE%D0%B3%D0%BE%D0%BB%D0%B5%D1%82%D0%BD%D1%8F%D1%8F-%D0%BC%D0%B5%D1%80%D0%B7%D0%BB%D0%BE%D1%82%D0%B0>

но тепла мало, из-за этого почва не успевает полностью оттаять (Новоселова, 2016).

Субарктический пояс на территории России включает в себя северную зону Восточной Сибири, Дальний Восток, некоторые острова Баренцева моря. Погода чуть менее суровее чем в Арктике, зима продолжительная, морозная, с пронизывающими ветрами и снегопадами, температура варьируется от -10°C до -48°C в зависимости от региона. Лето же так же относительно теплее чем в Арктике. Июль самый теплый месяц в году, средняя температура в этом месяце варьирует от $+4$ до $+12$ в зависимости от местности. В летний период также возможны заморозки. Холодный арктический воздух влияет на погоду в зимнее время, умеренные воздушные массы контролируют погоду в летнее время. Осадков здесь выпадает значительно больше, чем в соседней Арктике. Субарктический пояс характеризуется болотистой местностью, причина этому – частые осадки, которые не испаряются из-за недостатка тепла (Павлов, Малкова, 2005).

Яно-Индибирская низменность принадлежит к числу самых суровых регионов российской Арктики. Летом холод приходит с моря Лаптевых и Восточно-Сибирского моря. Зимой стужу приносят ветры, дующие с юга, с нагорий Якутии, где в это время года царят крепкие морозы. Немногие растения способны выжить в таких неблагоприятных условиях, поэтому именно здесь раскинулись самые обширные массивы равнинных и заболоченных тундр Евразии. На Яно-Индибирском нагорье выпадает от 150 до 350 мм, в то время как в высокогорьях (хребты Черского, Момский и т.д.) – от 700 мм и более осадков в год. Большая часть осадков (70–80 %) выпадает летом в виде дождей, носящих обычно обложной характер (Якутия..., 2007).

В Субарктике возрастает влагосодержание воздушных масс, и количество осадков увеличивается с севера на юг и от глубинных континентальных районов к востоку и особенно к западу. Обычно здесь выпадает 300-400 мм за год, что при крайне низкой испаряемости приводит к избыточному увлажнению. Радиационный баланс зимой отрицательный,

число дней со снежным покровом до 260-270 (Исаченко, Шляпников, 1989). Максимальная мощность снежного покрова наблюдается в мае (снежный покров из-за ветров крайне неравномерен). Частые переходы температур через 0 °С способствуют морозному выветриванию. Образуются ледяные клинья путем затекания в морозобойные трещины почв, грунтов в мёрзлом состоянии и талых вод. Летний период продолжается от 30 до 50 дней, температура воздуха устойчиво держится выше 10 °С. Температура воздуха в арктической тундре может достигать 27-28 °С, много тепла затрачивается на оттаивание деятельного слоя и нагревание воздуха ограничивается. Поверхность почвы может сильно нагреваться, но с глубиной температура быстро падает из-за теплоизолирующего действия мохового слоя и торфа. Месячное количество летних осадков 30-50 мм. В зоне лесотундры наблюдаются усиленная континентальность и понижение зимних температур из-за значительной удаленности от океана. Количество осадков за год в среднем на востоке – 350-400 мм, на западе – 500-600 мм, что дает избыточное увлажнение. Годовой радиационный баланс в лесотундре 22-24 ккал/см², температура самого теплого месяца (июля) в северной тайге повышается от 12-14 °С до 17-19 °С. В континентальных районах длительность безморозного периода короче, чем в приморских районах. Зимой температурные условия различаются по долготе более резко. Средняя температура января до –50 °С. За счет усиления суровости зимы нарастает степень континентальности климата. Средняя годовая амплитуда температур в восточноевропейской – 25-35 °С, в западносибирской – 35-45 °С. Количество осадков в северной тайге зависит от циклонов и более резко изменяется по долготе, чем по широте. Характерные годовые величины 600-700 мм. Значительная часть осадков выпадает в твердом виде, снежный покров лежит до 200 и более дней. Коэффициент увлажнения в Восточной Сибири составляет менее 1 мм, однако летом испаряемость превосходит количество осадков, из-за чего происходит дефицит атмосферной влаги. Сумма солнечной радиации составляет 70-100 ккал/см² в год, радиационный баланс 25-30 ккал/см² в год в северной и средней

подзонах. Теплообеспеченность вегетационного периода постепенно возрастает с севера на юг, не обнаруживая существенных различий по долготе (Исаченко, Шляпников, 1989).

Горные районы, для которых характерны значительные изменения климатических условий с высотной поясностью и в зависимости от экспозиции склонов, характерны и для юго-западной части бассейна реки Индигирка. На южных и западных макросклонах межгорных впадин и котловин выпадает относительно больше осадков (350-550 мм), климат избыточно влажный. Восточные и северные макросклоны, межгорные долины и котловины получают мало осадков (120-150 мм), климат здесь засушливый, долина реки подвержена воздействию арктического воздуха. Холодный период длится 7,5-8 месяцев, безморозный период длится 50-70 дней. Средние температуры января ниже -40°C , местами -50°C , температура -65°C обычна; в июле – $12-14^{\circ}\text{C}$, возможны повышения до $20-26^{\circ}\text{C}$. Абсолютный максимум отмечен $+30^{\circ}\text{C}$ и выше. Средние годовые температуры воздуха низкие $-14 - -16^{\circ}\text{C}$. Из-за холодного воздуха с севера и северо-востока лето прохладное. Высота снежного покрова 40-60 см, на Верхоянском хребте на составляет 80 см и более. Среднее годовое количество осадков района составляет 200-300 мм (Витвицкий, 1965; Атлас..., 1989; Гаврилова, 1998). Высокогорная же часть района отличается более мягким климатом и большим количеством выпадающих осадков, которые приходятся в основном на летний период.

Многолетняя мерзлота. Геологическая история развития страны, палеогеографические и современные условия климата способствуют развитию ММП, которые распространены по всей Якутии (Качурин, 1965). Под ММП в настоящее время понимаются такие породы (почвы, грунты), которые в течение длительного периода времени (трех и более лет) имеют отрицательную температуру и в которых вода обычно находится в твердой фазе. Лед в мерзлых породах может быть различен: от больших глыб массивов до микроскопического состояния. ММП встречаются на суше и на континентальных шельфах Северного Ледовитого океана и покрывают около

24 % поверхности суши северного полушария Земли (Brown et al., 1998) (рисунок 1.2.3). Они оказывают влияние на растительность, гидрологию, почвы, морфологию и геоморфологические процессы в значительной степени в качестве ключевого экологического фактора.

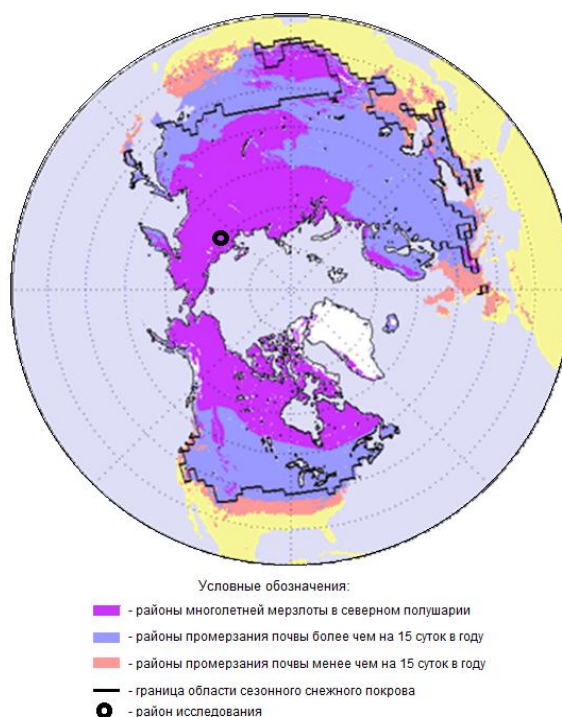


Рисунок 1.2.3 – Карта распространения многолетней мерзлоты в Северном полушарии⁵

На территории Якутии возраст ММП, длительность пребывания мерзлой толщи непрерывно в мерзлом состоянии и в основном составляют от 300 тысяч до 1 миллиона лет. На севере Якутии возраст вечной мерзлоты составил 2 млн. лет (Каплина и др., 1980; Гаврилова, 1998).

В равнинной части бассейна реки Индигирка мощность ММП колеблется от 300 до 500 м (Атлас..., 1981) (рисунок 1.2.4). Здесь распространены булгуньяхи (бугры пучения) с ледяным ядром.

Глубина сезонного протаивания горных пород в равнинных ландшафтах в зависимости от типов подстилающего грунта разная: в торфах – 0,2-0,3 м; в

⁵ URL: <https://ru-static.z-dn.net/files/d17/cae1693156dfa7173ade8c720310c059.jpg>

глинах и суглинках – 0,4-0,6 м; а в песчаных и супесных грунтах (побережье) до 0,8-1,2 м.

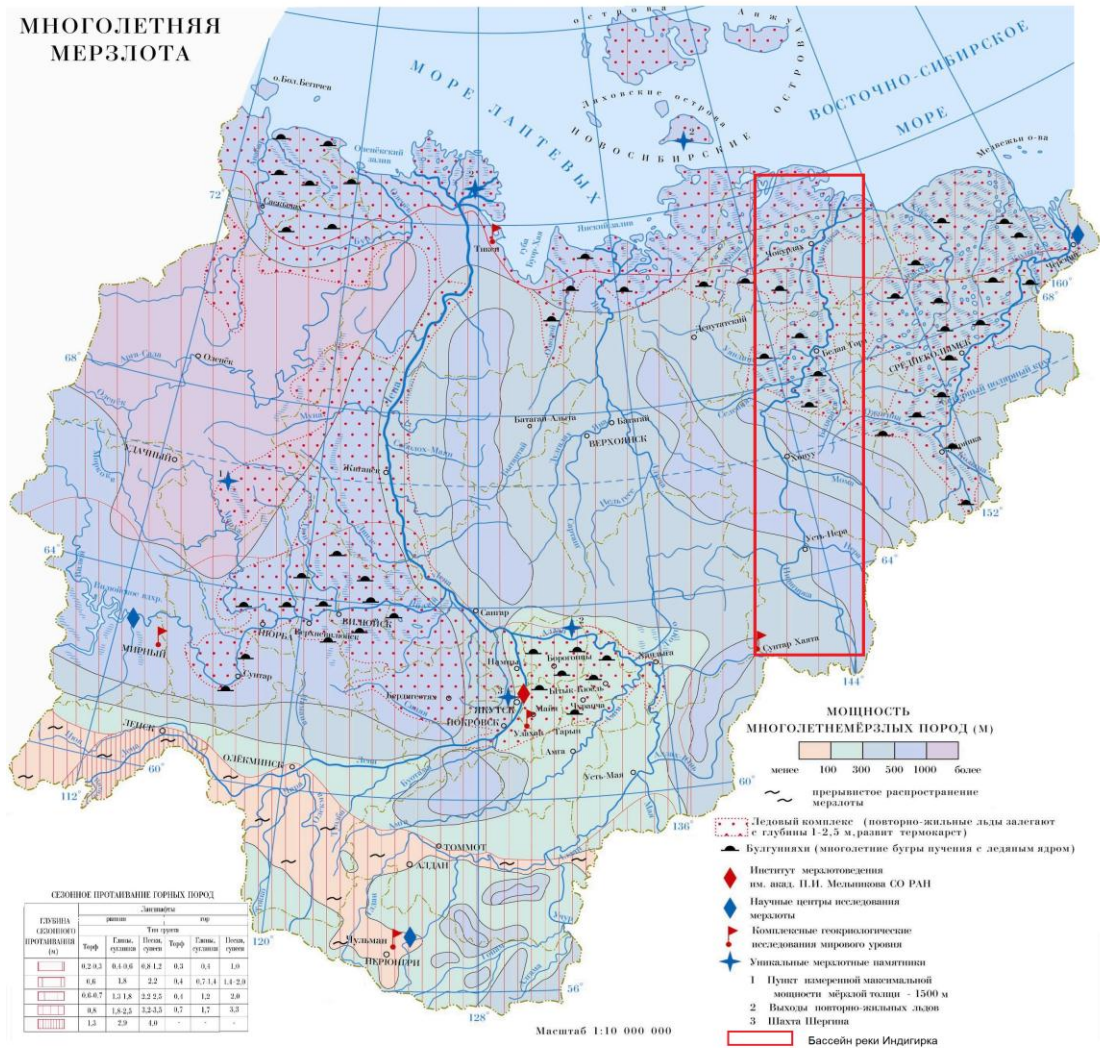


Рисунок 1.2.4 – Карта распространения многолетней мерзлоты на территории Якутии. Источник (Атлас..., 1981)

В горных ландшафтах мощность залегания ММП значительно выше – до 1000 м. Мощность сезонно-талого слоя в среднем 1,2-1,8 м (Федоров и др., 1989; Мерзлотно-ландшафтная..., 2018). Позднеледниковое и голоценовое потепление климата приводит к деградации вечной мерзлоты, характеризующейся повсеместным оседанием поверхности и образованием котловин (термокарста) в арктических низменностях Сибири (Walter et al., 2007, Grosse et al., 2013). В частности, Гроссе и др. (2013) заявили, что образование термокарстовых озёр является доминирующим способом

деградации вечной мерзлоты, влияющим на геоморфологию, гидрологию и среду обитания, характерную для вечномёрзлых низменностей. Например, в Индигирской низменности преобладают крупные термокарстовые котловины (Аласы) и озёра, рассекающие остатки некогда широко распространённых позднеплейстоценовых отложений ледового комплекса (Едома) (Лаврушин, 1963; Каплина и др., 1980).

Едома – это плейстоценовое илистое отложение, богатое органикой, содержащее чрезмерное количество грунтового льда (50-90 % по объёму), включая огромные ледяные клинья (Соловьев, 1959; Романовский, 1993; Геокриологический словарь, 2003; Каплина, 2009; Kanevskiy et al., 2011; *Sedimentary characteristics...*, 2011; *Yedoma: Late...*, 2013). Поскольку Едома распространена в значительной части регионов ММП (Северо-Восточная Россия, Северо-Западная Аляска, центральный Юкон и район через Берингов пролив, называемый «Берингия»), воздействие таяния или эрозии Едомы на связанные экосистемы, включая реки, эстуарии, дельты и моря, широко распространено (рисунок 1.2.5). Едома сложена с поверхности ледовым комплексом (ЛК) – ультральдистой толщей, включающей огромные массы полигональножильных (ПЖЛ) и сегрегационных льдов. Мощность ЛК в разных районах Северной Якутии колеблется от нескольких метров до 40 м (Каплина, 2009). ЛК перекрывает сложный, существовавший до начала его накопления рельеф, о чем свидетельствует установленная радиоуглеродным датированием одновозрастность толщ ЛК на разных гипсометрических уровнях (Васильчук, 2006; Schirrmeister et al., 2008a). ЛК занимает как большие плоские территории, так и пологие склоны возвышенностей (Каплина, 2009).

Мощность многолетней мерзлоты в зоне типичной тундры достигает 300-400 м и более (Орловская, 2001). Она охлаждает почву и замедляет биохимические процессы, препятствует фильтрации поверхностных вод и способствует заболачиванию, резко ограничивает грунтовое питание рек и их эрозионную деятельность.



Рисунок 1.2.5 – Едома на берегу реки Бёрёлёх (фото Л. Ширрмейстера, 2011)

С мерзлотой связаны специфические геоморфологические процессы и формы рельефа – термокарстовые, возникающие при оседании грунта в результате вытаивания подземных льдов; крупнопolygonальные, образующиеся вследствие морозного растрескивания грунта и формирования ледяных клиньев в трещинах, расстояние между которыми достигает 10 м и более; мелкоpolygonальные, связанные с появлением неглубоких трещин усыхания; солифлюкционные. Обилие мерзлотных впадин и бугров, пятен-медальонов, структурных грунтов создает характерную мозаичную структуру тундровых ландшафтов (Исаченко, Шляпников, 1989).

Многолетняя мерзлота распространена по всей зоне, здесь особенно характерны криогенные формы рельефа. Термокарстовые озёра в тундре местами занимают до половины и больше площади. Избыточное увлажнение в сочетании с мерзлотой приводит к интенсивному заболачиванию. Мощность торфа иногда достигает 2-3 м, на юге 5 м и более.

В подзоне северной тайги так же характерно повсеместное распространение ММП. Здесь так же типичны криогенные формы рельефа. Мутность рек северной тайги в районах распространения многолетней

мерзлоты и плотных кристаллических пород не превышает 20 г/м^3 , а модуль твердого стока обычно ниже 5 т/км^2 в год (Реки и озера..., 2007).

Почвенный покров. Почвы района исследований развиваются в условиях сплошного распространения многолетнемерзлых пород. Холодное, короткое лето не позволяет оттаивать почвам достаточно глубоко, и, как следствие этого, деятельный слой почвы имеет гораздо меньшую мощность, чем в Центральной Якутии с большими перепадами годовых температур (Десяткин и др., 2022).

По почвенно-географическому районированию территория бассейна реки Индигирка входит в Восточно-Сибирскую почвенную провинцию и относится к почвенно-климатической фации очень холодных мерзлотных почв Евразийской полярной почвенно-климатической области в тундровой, лесотундровой и северотаежной зонах согласно атласу (Национальный атлас..., 2011).

Специфику мерзлотных почв, которые образуются в условиях развития многолетней мерзлоты, залегающей на небольшой глубине, обуславливают криогенные процессы, такие как термокарст, морозобойное растрескивание, криогенное выветривание и другие. Повсеместное распространение криогенных форм мезо- и микрорельефа придает пестроту почвенному покрову и обуславливает комплексный характер его пространственной структуры при небольшом разнообразии почвообразующих пород (Иванова, Десяткин, 2012). Наиболее ярко они проявляются в трещино- и пятнообразовании, деструкции, формировании пучинно-бугоркового или трещинно-полигонального микрорельефа, термокарства, солифлюкции и т. д. В арктической тундре почвы слабо оглеенные и с небольшой мощностью органогенного горизонта. Они развиты в полигонах, лишенных растительности, под валиками полигонально-валиковых и полигонально-трещиноватых сфагновых и травянисто-моховых тундр, в термокарстовых понижениях. Субарктическая тундра представлена мерзлотными тундровыми глеевыми почвами, расположенными на увалах, их склонах и валиках

полигонально-валиковых болот; мерзлотно-тундровыми подбурами – на увалах с песчано-каменистыми отложениями; мерзлотными-болотными – в депрессиях и мерзлотными пойменными почвами – в поймах рек. Глубина оттаивания составляет 50-100 см (Иванова, Десяткин, 2012).

На границе тундры и леса в равнинной части развиты таежные глеевые торфянисто-перегнойные почвы, а в горной части – подбуры тундровые, таежные глеевые и глееватые тиксотропные, перегнойно-карбонатные тундровые, подбуры тундровые, таежные перегнойно-глеевые. Зональным типом почв в северо-таежных лесах являются мерзлотные северотаежные глеевые тиксотропные почвы. На равнинных территориях распространены таежно-глеевые и глееватые тиксотропные, торфянисто-перегнойные и подзолистые супесчаные и песчаные почвы в комплексе с торфяными болотными (Еловская и др., 1979). В термокарстовых понижениях вокруг озёр и на полигонах полигонально-валиковых болот формируются мерзлотные торфяные болотные почвы. В дельте и поймах реки развиваются мерзлотные пойменные болотные и пойменно-дерново-глеевые почвы (Десяткин и др., 2022).

Крупные горные хребты, плоскогорья и плато с вертикальной зональностью почвенного покрова занимают 58 % площади земной поверхности Якутии (Десяткин и др., 2009). В пределах горной области выделяют три высотных пояса: горных гольцов (каменистых пустынь) и каменистых россыпей (курумников), горных тундр, горных лесов. В первом поясе среди каменистых россыпей и гольцов встречаются незначительные участки с примитивными почвами, в них под небольшой подстилкой расположен мелкоземнисто-дресвяный слой с большим количеством щебня, реже встречаются каменные многоугольники (Еловская и др., 1979; Саввинов, 1989; Оконешникова и др., 2020).

Второй пояс широко представлен мерзлотными тундровыми подбурами, развивающимися в условиях естественного дренажа на каменисто-мелкозернистом элювие, мезозойских и кайнозойских интрузий. Почвы

горных тундр близки по своему строению к тундровым глеевым почвам равнинных территорий. На плоских слабо дренируемых участках формируются мерзлотные горно-тундровые глеевые или перегнойно-глеевые почвы. Большую часть территории третьего пояса занимают криоземы.

Четвертичные отложения Яно-Индибирской низменности отличаются большим своеобразием. Они находятся в мерзлом состоянии и содержат огромное количество подземного льда в виде крупных ледяных жил и мелких линз и прослоев. Свидетельством того, что в четвертичных отложениях острова развиты повторно-жильные льды (разрушающиеся земляные блоки, заключенные между вытаивающими ледяными жилами), являются развитие на территории байджарахов.

В пределах Яно-Индибирской низменности четвертичные отложения представлены аллювиальными, аллювиально-озёрными и прибрежно-морскими отложениями, имеют видимую мощность в пределах 50-60 м, максимальной мощностью, не превышающей 100 м, их распространение подробнее освещено в работах (Кузнецова, Каплина, 1960).

Древняя аллювиальная равнина, сильно расчлененная процессами эрозии и термокарста высотой 30-40 м над уровнем моря. Образование озёр связано с выстаиванием подземных льдов, затем на месте высыхающих и высохших озёр остаются котловины, часто достигающие значительных размеров, особенно в тех случаях, когда происходит слияние нескольких котловин в одну. Котловины, образующиеся в результате вытаивания подземного льда, называются аласами. В них формируются так называемые аласные отложения также с полигонально-жильным льдом, но меньшей мощности.

Аласы – самостоятельный элемент рельефа, которые занимают большие пространства в пределах исследованной территории. Глубина аласов относительно едомы колеблется в пределах от 6 до 10-12 м.

Поймы широко развиты в низовьях рек и занимают огромные площади. В южной части рассматриваемой территории высота высокой пойменной террасы у крупных рек достигает в среднем 8 м над меженным уровнем реки;

ближе к морскому побережью высота ее снижается до 1,5-1,0 м. Кроме высокой поймы прослеживается низкая пойма, имеющая весьма ограниченное распространение. Это бывшие участки береговых отмелей у вогнутых сторон излучин русла, превратившиеся в пойму, чаще всего они имеют высоту от 1,5 до 3,0 м над меженным уровнем реки и ежегодно заливаются (Кузнецова, Каплина, 1960). Возраст современных пойменных отложений относится к голоценовому периоду.

С использованием геоморфологического метода исследования был установлен относительный возраст четвертичных отложений Яно-Индибирской низменности (Втюрин и др., 1957), а палеонтологические и литологические исследования позволили получить дополнительные данные о возрасте и об условиях формирования четвертичных отложений с подземным льдом.

Проведенное расчленение четвертичной толщи по геоморфологическому принципу в пределах исследованной территории позволило выделить следующие комплексы четвертичных отложений (Кузнецова, 1965):

1. отложения древней аллювиальной равнины (возраст – средний и частично верхний плейстоцен);
2. отложения прибрежной морской равнины (возраст – частично средний и верхний плейстоцен);
3. аласные отложения (голоценового возраста);
4. пойменные отложения (голоценового возраста).

Растительность. Вся огромная территория Якутии неоднородна и была изучена многими исследователями как раннего времени, так и в современное время, начиная с работ Н. С. Горохова, Г. Мейделя, И. Д. Черского до С. З. Скрябина (1968), В. И. Перфильевой (1977), В. Н. Андреева и др. (1987), Е. Г. Николина (1992) и др. Первая обобщающая и наиболее полная сводка по разнообразию флоры и микобиоты представлена в коллективной монографии под редакцией Н. С. Даниловой (Данилова, 2005), более позднее обобщение

растительности приведено в работах Е. И. Троевой и др. (Troeva et al., 2010), «Флора Якутии: географические и экологические аспекты» (2010), В. И. Захаровой (2014), А. А. Егоровой (2013, 2016), «Определитель высших растений Якутии» (2020). Работы по бассейну реки Индигирка геоботанический обзор – Телятников и др. (2015), флористический обзор – «Флора Якутии: географические и экологические аспекты» (2010), Королева и др. (Новые находки..., 2015).

Растительный покров исследуемого региона относится к арктической и бореальной группе типов растительности, данная территория отличается наиболее суровыми климатическими условиями, характеризующимися продолжительными периодами с низкими температурами и повсеместно распространенной многолетней мерзлотой (рисунок 1.2.6.).

Арктическая группа включает в себя территорию арктических пустынь и полупустынь, арктической и субарктической тундры, растительность речных долин и побережий в пределах области. Растительность данной группы формируют 550 видов сосудистых растений, с преобладанием арктических и арктоальпийских видов (в том числе 15 эндемичных и субэндемичных видов). Южные границы тундровой зоны и нижние границы горных тундр характеризуются появлением арктоальпийских видов. Ввиду многих факторов арктическая растительность очень чувствительна и сильно реагирует на воздействие природных явлений и воздействиям антропогенного характера.

Зона субарктической тундры характеризуется разнообразием флоры до 200-250 видов, увеличением рода кустарников и единичных деревьев. Широко распространены влагилицнопушицевые кочкарные и бугорковые тундры, с доминированием *Vaccinium vitis-idaea*, *V. uliginosum*, *Ledum palustre*. Редкокустарниковые тундры главным образом представлены *Salix pulchra* (кустарниковая ива) на севере и *Betula exilis* на юге. Так же здесь господствуют *Aulacomnium turgidum*, *Hylocomium splendens* var. *alaskanum*, *Cetraria cucullata*. Южная полоса так же богата лишайниками.

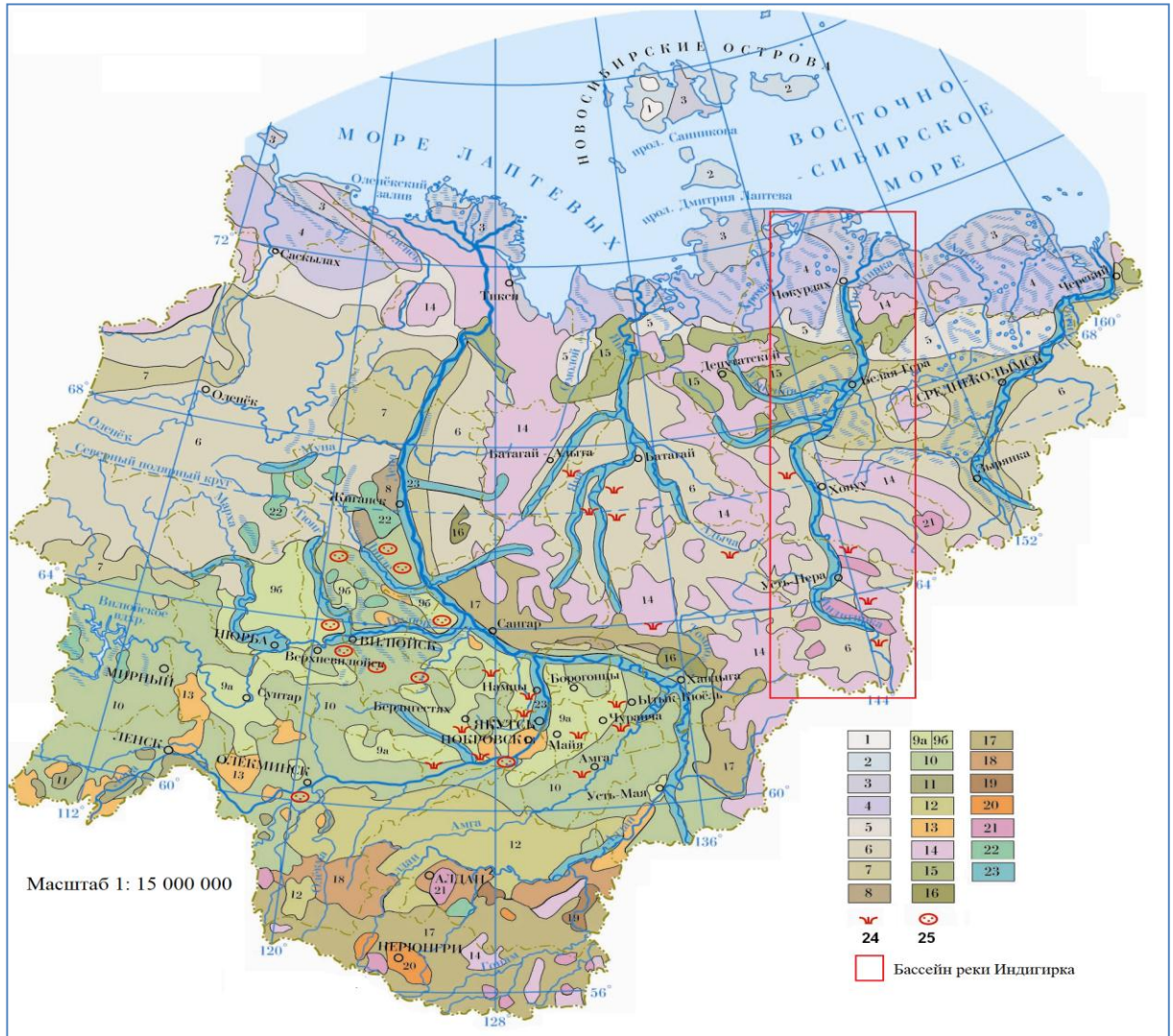


Рисунок 1.2.6 – Карта растительности Якутии (Атлас., 1981)

Условные обозначения. **РАСТИТЕЛЬНОСТЬ РАВНИН:** *Тундровая растительность:* 1) арктические пустыни и полупустыни; 2) арктические моховые тундры и тундроболота; 3) субарктические моховые тундры и тундроболота; 4) субарктические кустарничковые моховые и лишайниковые тундры. *Таежная растительность:* притундровые редколесья – 5) лиственничные редколесья моховые в сочетании с тундрами и тундроболотами. *Северотаежные редкостойные леса* – 6) предгорные лиственничные зеленомошно-лишайниковые, кустарничковые зеленомошно-лишайниковые в сочетании с ерниками; 7) лиственничные кустарничково-моховые в сочетании с болотами и мелкодолинными лугами; 8) лиственничные кустарничково-лишайниковые в сочетании с зарослями кедрового стланика и сосняками. *Среднетаежные леса. Лиственничные:* 9) а – разнотравно-брусничные в сочетании с аласами; б – разнотравно-брусничные и брусничные; 10) лиственничные кустарничковые и зеленомошные в сочетании с мелкодолинными лугами; 11) лиственничные с примесью ели и кедра бруснично-зеленомошные; 12) предгорные лиственничные кустарничковые и зеленомошные;

предгорные лиственничные с сосной, кустарничковые зеленомошные в сочетании с сосновыми даурско-рододендроновыми брусничными лесами; 13) сосновые толокнянковые и брусничные. **РАСТИТЕЛЬНОСТЬ ГОР.** *Горнотундровая растительность:* 14) лишайниковые каменистые пустыни, зеленомошные и лишайниковые горные тундры; *Горнотаежная растительность:* Притундровые редколесья – 15) лиственничные редколесья моховые в сочетании с горными тундрами с ерником. *Северотаежные редкостойные леса:* 16) лиственничные редкостойные моховые и лишайниковые в сочетании с зарослями кедрового стланика. *Среднетаежные леса:* 17) лиственничные кустарничковые зеленомошные леса; 18) лиственничные с примесью ели, реже кедра и березы каменной, зеленомошные леса в сочетании с зарослями кедрового стланика; 19) лиственничные с примесью ели аянской зеленомошные леса в сочетании с аянскими ельниками и каменноберезняками; 20) сосновые с кедровым стлаником и рододендроном даурским брусничные леса; 21) заросли кедрового стланика кустарничково-лишайниковые. **БОЛОТА:** 22) травяные болота в сочетании с лиственничными рединами. **РАСТИТЕЛЬНОСТЬ РЕЧНЫХ ДОЛИН:** 23) долинные леса в сочетании с лугово-болотными и лугово-степными комплексами; 24) участки степной растительности; 25) разреженная травянистая растительность на незакрепленных песках (тукуланах).

В речных долинах, дельтах и озёрных котловинах развиты полигонально-валиковые и тундроболотные комплексы, поверхность которых расчленяется сетью морозобойных трещин, в которых образуются ледяные клинья. Пониженные полигоны (прямоугольной или шестигранной формы, 8x12 м) ограничивают валики, высотой 20-40 см, шириной до 1 м и более. На этих самым валиках развиваются *Carex stans*, *Salix reptans*, мхи, на юге – *Eriophorum vaginatum* с кустарничками, кустарниками, лишайниками, мхами и ближе к границе леса появляется лиственница. На самих полигонах распространены болота с *Carex stans*, *Eriophorum polystachion*, *Calamagrostis neglecta*. Старые валики обычно сильно разрастаются, полигоны приобретают корытообразную и часто залиты водой. Поймы рек покрыты небольшими площадями злаково-разнотравных и хвощевых лугов, зарослями ив. Озёрные районы заняты прибрежно-водной растительностью с доминированием *Arctophila fulva*.

Бореальная группа условно делится на притундровые, северотаежные, среднетаежные и горные леса. Характеризуется повсеместным распространением светлохвойных, лиственничных лесов (с преобладанием *Larix gmelinii* (или *Larix dahurica*) и *L. cajanderi*), наличием кустарниковых зарослей, болот, прибрежно-водной растительности. Климат данного региона более благоприятный, чем арктический – наблюдается увеличение периода с температурой выше 0 °С, так же увеличивается амплитуда температур, отражая континентальность климата. Растительность группы формируют более 1500 видов сосудистых растений (в т. ч. 50 эндемиков и субэндемиков). Бореальные виды более устойчивы, но вместе с тем антропогенное воздействие на данную группу гораздо велико.

В низовьях реки Индигирка сравнительно четко отмечается граница притундровых лесов с субарктической тундрой. Они характеризуются редкостойностью, развитием травяно-кустарничкового яруса и сходством с ассоциациями субарктических тундр, с обилием *Salix pulchra*, *Betula exilis* высотой до 1 м. Так же здесь распространены *Vaccinium vitis-idaea*, *V. uliginosum*, *Ledum palustre*, *Aulacomnium turgidum*, виды рода *Sphagnum*, *Cetraria*, встречаются влагилицно-пушицевые кочкарники. Северотаежные леса характеризуются увеличением высоты деревьев до 15-18 м, сомкнутостью крон и уменьшением влияния нижних ярусов. Преобладают лиственничные редкостойные леса с *Betula exilis*, *B. divaricata*, *Salix pulchra*, *Ledum palustre*, *Vaccinium vitis-idaea*, зелеными и сфагновыми мхами. Часты лишайниковые покровы из *Cetraria cucullata*, *Cladina arbuscula*.

По геоботаническому районированию регион исследования бассейна реки Индигирка включает в себя арктическую и бореальную группу типов растительности, охватывая зону тундр (включающую одну Восточносибирскую провинцию) и зону тайги (включающую Якутскую провинцию) (Основные особенности..., 1987).

Подзона субарктической тундры включает Яно-Колымскую субарктическую подпровинцию, с широким развитием кочкарных и

мелкобугровых тундр с низкорослыми кустарниками. В составе данной подпровинции Индигирский округ характеризуется наиболее резко выраженной континентальностью климата, широчайшим развитием тундровых и болотных комплексов на мерзлотных формах микрорельефа, относительно слабым развитием кустарников и мхов.

Неширокая подзона притундровых лесов представлена Северо-Восточной подпровинцией с горными и равнинными лесами из *Larix gmelinii* (*dahurica*), в составе подпровинции Омолой-Индигирского округа, для которого характерно чередование облесенных и безлесных площадей, связанное с особенностями рельефа. Редкий подлесок образуют *Pinus pumila*, *Betula divaricate*, *B. exilis*, *Salix pulchra*. Специфичны приналедная растительность с *Equisetum variegatum* и фрагменты криофильных степей.

Подзона северотаежных лесов представлена так же Северо-Восточной северотаежной подпровинцией с преобладанием горных лесов *Larix cajanderi*. В составе данной подпровинции территория исследования охватывает Индигирский округ, большая часть которого покрыта горными хребтами и плоскогорьями, здесь сохранились остаточные ледники. Становление растительности происходит на территориях, недавно переживавших оледенение. Наблюдается обилие кустисто-лишайниковых покровов, часты криофильные степи.

1.3. Обзор изученности водных экосистем бассейна реки Индигирка

Несмотря на активные научно-исследовательские работы по изучению водоёмов Севера России за последние десятилетия, арктические территории все еще остаются слабоизученными, особенно восточная часть Якутии. В целом ранние работы, посвященные исследованию абиотических параметров водных объектов Якутии, тесно связаны с изучением распространения ММП. Актуальность исследования ММП связана с тем, что они являются одной из особенностей природы данной территории. Так же особое внимание было уделено исследованию вопросов генезиса озёр авторами (Жирков, 1977; Любомиров, 1990) и распространению на территории исследования термокарстовых процессов (Качурин, 1961; Мухин, 1974а, б).

Большой вклад в изучение происхождения озёрных экосистем было вложено И. И. Жирковым (Жирков, 1983; Реки и озера..., 2007), которым в 1983 году была предложена морфогенетическая классификация озёр Якутии. В данной классификации было выделено 14 типов и 29 подтипов озерных котловин. Согласно классификации И.И. Жиркова, была сформулирована точка зрения, о том, что озёра разных типов обладают собственными средними значениями основных морфометрических характеристик (Пестрякова, 1983).

Исследования широко распространенных в нижнем течении реки Индигирка так называемых полигональных водоёмов интересны тем, что эти мелкие водоёмы, сливаясь, могут образовывать крупные водные объекты. Изучение первоначальных параметров полигональных водоёмов представляют интерес в лимнологии и природопользовании (Ядрихинский, 2017). Химический состав поверхностных вод бассейна реки был исследован в диссертации В. П. Волковой (Волкова, 1978) «Особенности формирования химического состава природных вод и льдов в условиях сплошного распространения низкотемпературных мёрзлых толщ (на примере мерзлотно-гидрогеологических структур Яно-Индигирского междуречья)».

Ранние исследования альгофлоры бассейна реки Индигирка.

Диатомовые водоросли, которые являются основными созидателями органического вещества в воде, играют очень большую роль в жизни водоёмов. Богатая водными объектами разного типа территория Якутии исследовалась далеко не полно и неравномерно. Одним из первых сводных трудов, включающих все известные сведения о водорослях Якутии в целом, в том числе в частности о диатомовых и сине-зеленых водорослях, является монография авторов Л. Е. Комаренко и И. И. Васильевой (1975а). Данная монография состоит из трех частей, в которых приведены сведения о природных условиях Якутии, краткие физико-географические характеристики некоторых исследованных водоёмов, история, материалы и методика исследования флоры водорослей Якутии. Вторая часть монографии посвящена исследованию отдела диатомовых водорослей. Приведен краткий анализ диатомовой флоры Якутии, морфология и систематика. Для всех видов разновидностей диатомей даны оригинальные размеры, экология, особенности распространения и иллюстрированы рисунками. В основу систематической части диатомовых водорослей была взята система Хустедта (Hustedt, 1927-1966), с учетом изменений внесенных А. В. Топачевским (Топачевский, Оксийук, 1960), М. М. Голлербахом, В. И. Полянским (Определитель пресноводных..., 1951).

Комплексные исследования флоры и почвенно-растительного покрова тундровой зоны были проведены в 1970-1990 годах. Оценка таксономического, экологического и географического разнообразия водорослей представлена в монографии А. А. Егоровой и др. (1991), где указано, что флора тундровой зоны Якутии насчитывает 2467 видов растений, в том числе водорослей – 958, лишайников – 403, мохообразных – 447, сосудистых – 659. Выявлены ведущие семейства, роды и редкие виды. Проведен анализ флористического состава в целом для тундровой зоны и ее подзон.

Водорослям наледей Момского района посвящена статья И. И. Васильевой в сборнике «Растительность Якутии и ее охрана» (Растительность Якутии..., 1981). В статье приведена информация о происхождении, режиме, размерах наледей. Работы по изучению наледей в бассейне реки Момы, крупного притока реки Индигирка, проводились сотрудниками Института мерзлотоведения СО АН СССР в августе 1969 года (Никитина, Толстихин, 1969). Альгологический анализ был проведен И. И. Васильевой и Л. Е. Комаренко (Комаренко, Васильева, 1975а), были получены данные по экологии, местообитанию и распространению диатомовых водорослей. Таким образом, для наледей бассейна реки Момы было зарегистрировано 83 вида и разновидностей водорослей, относящихся всего к 2 отделам и к 26 родам, среди которых 9 видов и форм сине-зелёных и 73 диатомовых водорослей.

Современные исследования на территории бассейна реки Индигирка.

На протяжении последних 15 лет комплексные исследования водоёмов бассейна реки Индигирка были проведены в рамках международного сотрудничества Северо-Восточного федерального университета и Института полярных и морских исследований им. Альфреда Вегенера⁶ с участием РГПУ им. А. И. Герцена⁷, МГУ им. М. В. Ломоносова⁸, КФУ⁹, которые были начаты с 2007 года. Исследования донных отложений полигональных водоёмов достаточно подробно были изучены исследователями Института полярных и морских исследований им. Альфреда Вегенера, растительный и животный мир в окрестностях поселка Чокурдах Аллаиховского района были исследованы российскими учеными в рамках совместных экспедиций, в том числе с СВФУ им. М.К. Аммосова¹⁰, так же были проведены комплексные исследования особо охраняемых территорий озёр Сутуруоха и Ожогоино.

⁶ URL: <https://www.awi.de/en/>

⁷ URL: <https://www.herzen.spb.ru/>

⁸ URL: <https://www.msu.ru/>

⁹ URL: <https://kpfu.ru/>

¹⁰ URL: <https://www.s-vfu.ru/>

В 2013 году были проведены полевые работы по исследованию озёр на мониторинговых участках «Чокурдах» (70°37'60.00" с.ш., 147°55'0.00" в.д.) и «Русское Устье» (71°7'53.36" с.ш., 149°16'56.16" в.д.). Предварительные результаты лимнологических исследований некоторых озёр бассейна реки Индигирка приведены в работе И. В. Ядрихинского и Л. А. Пестряковой (Ядрихинский, Пестрякова, 2014; Ядрихинский, 2017).

Так же на данной территории в работе М. Ю.Телятникова и др. (Телятников и др., 2015) авторами было приведено описание растительности реки Индигирка в окрестностях посёлка Чокурдах и села Русское устье, а также в северо-западной части Кондаковского плоскогорья. В это же время исследования ценопопуляций некоторых видов растений южной субарктической тундры окрестностей поселка Чокурдах были выполнены С. Н. Левиной и М. М. Черосовым (Левина, Черосов, 2014). Авторами было впервые определены типы жизненных стратегий *Pyrola rotundifolia* (грушанка круглолистная), *Valeriana capitata* (валериана лекарственная), *Pedicularis sudetica* (мытник судетский), *Arctagrostis latifolia* (арктагrostис широколистный), *Ledum palustre* (багульник болотный) и *Rubus chamaemorus* (малина) с использованием системы Раменского-Грайма.

Результаты исследования планктона бассейна реки Индигирка были приведены в монографии В. А. Габышева и О. И. Габышевой (Габышев, Габышева, 2018), где были приведены таксономический состав, эколого-географическая и биоиндикационная оценка водоёмов.

Комплексные исследования озера Сутуруоха и Ожогоино. В августе 2015 года в рамках РФФИ проекта «Палеоэкологические исследования голоценовой истории озёр бассейна реки Индигирка» (руководитель Л. А. Пестрякова) были проведены полевые работы по комплексному исследованию озера Сутуруоха, расположенного на водосборном бассейне реки Сутуруоха – левого притока реки Индигирка, с целью выявления изменения экологических условий и для реконструкции климатических характеристик прошлого озера. Были выполнены батиметрическая съёмка озера, геоботаническое описание

водосборного бассейна и сбор гидробиологического материала (фитопланктон, зоопланктон и зообентос) озера. Впервые для территории бассейна реки Индигирка получены ненарушенные колонки донных отложений длиной до 2 м (Пестрякова и др., 2015).

Некоторые сведения о морфометрических, гидрохимических показателях и диатомовой флоре поверхностных осадков озера Ожогоино представлены в работе С. Н. Левиной и др. (Левина и др., 2021).

Комплексные исследования на полигоне Кыталык. С 2010 года, достаточно широко по направлениям, включающим растительность, ландшафт, почвы, диатомовые комплексы (далее ДК), фитопланктон, зоопланктон, зообентос, морфометрические и гидрохимические параметры водоёмов и озёр, была изучена территория ключевого участка на территории государственного природного заказника Кыталык (70.827232° с.ш., 147.490542° в.д.), расположенного на правом берегу реки Бёрёлёх. К данным работам главным образом были привлечены исследователи из Германии, Голландии, Японии и России. Территория участка Кыталык для многих групп ученых является мониторинговым участком (полигоном), где исследования проводились не один год. Они показывают, например, новые результаты по динамике питательных веществ, текущей и прошлой динамике растительности и морфологии полигонов.

Согласно исследованиям, проведенным немецкими и российскими учеными на станции Кыталык в 2011 году, были охарактеризованы климат, рельеф, растительность, мощность многолетнемерзлого грунта, почвы. Были исследованы керны, состав зообентоса (хирономид) (Nigamatzyanova et al 2018), пресноводных остракод (Freshwater ostracods..., 2016), раковинных амёб (Testate amoebae..., 2013), диатомовых водорослей (Спиридонова, Пестрякова, 2014) морфометрические и гидрохимические параметры 27 водоёмов (Schirrmeister et al, 2018; Ядрихинский, 2017; Schirrmeister et al, 2022).

Экстремальное наводнение в бассейне реки Индигирка, вызванное сильным снегопадом. Весной-летом 2017 года на Северо-Востоке Сибири в низменности реки Индигирка произошло сильное наводнение, в результате которого была затоплена большая территория. В работе японских исследователей Ш. Тей и др. (An extreme..., 2020) с использованием результатов полевых наблюдений, спутниковых снимков и набора данных для анализа климата были исследованы масштабы и климатические факторы наводнения, а также были обсуждены возможные последствия этого явления для экосистемы. Так, было описано, что в 2017 году значительная площадь низменности площадью около 16 016 км² была покрыта водой даже в июле, что на 5 217 км² (около 4 % от общей площади) больше, чем площадь, покрытая водой в 2015 году, когда наблюдались обычные гидрологические условия в этом районе. Исследования показали, что большое количество талого стока в июне и июле 2017 года привело к покрытию водой большой площади суши и необычно высокому уровню воды в реке, который продолжался до лета. Глубина снежного покрова с зимы по весну была наибольшей в 2017 году за период с 2009 по 2017 годы, а поверхность нижней части низменности была частично покрыта снегом даже в конце июня из-за сильных снегопадов, которые произошли в октябре 2016 года. Такие необычные гидрологические условия привели к затоплению большинства деревьев в низменности, что привело к серьезному разрушению экосистемы и изменениям в круговороте материалов. Кроме того, в исследованиях Й. Иижима с соавторами (Iijima et al., 2007) приводятся сведения, что в последние годы над Восточной Сибирью часто наблюдались сильные штормы и проливные дожди. В этом отношении арктическая зона Восточной Сибири считается одним из регионов с наибольшим риском ущерба, наносимого наводнениями экосистемам и средствам к существованию местных жителей.

Краткие выводы к главе 1

Обзор физико-географических условий района исследований показал, что территория бассейна реки Индигирка занимает обширные неоднородные участки. С юга, запада и востока район окружен горами, на севере расположены обширные низменные территории, ограниченные Восточно-Сибирским морем. Природно-климатические особенности бассейна реки Индигирка, обусловлены:

- принадлежностью к Верхоянско-Колымской горноскладчатой области, охватывающей бассейны рек Алазеи, Яны, Алдана и Лены;
- неоднородным рельефом, геологическим строением и вхождением в состав Верхояно-Чукотской области мезозойской складчатости, которые сформированы плоскогорьями и плато, переходящими в горные хребты, сменяющимися низменными плоскими равнинами;
- определяющей ролью новейших тектонических движений и процессов оледенения в формировании современного рельефа и речной сети бассейна;
- особенностями современного рельефа Яно-Индигирской низменности с многочисленными термокарстовыми западинами (аласами), заполненными озёрами или обширными болотами и полигональными водоёмами;
- суровыми природными условиями, формирующимися, прежде всего, под воздействием резко континентального климата с максимальными для северного полушария годовыми колебаниями температуры при сравнительно малом количестве выпадающих осадков;
- расположением бассейна реки в пределах двух климатических поясов субарктического и арктического, при этом таежная зона отличается континентальностью, а тундровая – подвержена влиянию океана;

— повсеместным распространением многолетнемерзлых пород, залегающих на небольшой глубине и обуславливающих криогенные процессы.

ГЛАВА 2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

2.1 Объект исследования и фактический материал

Участки тундровых ландшафтов на севере Якутии, состоящие практически из ровных многоугольных полигонов, опускаются из-за таяния многолетней мерзлоты, постепенно наполняясь водой. С течением времени таких подтаявших участков становится все больше. Так постепенно формируются комплексные полигональные водоёмы, которые затем могут объединиться в большое термокарстовое озеро. Все этапы формирования таких водоёмов сопровождаются изменениями в составе грунта, гидрохимических характеристиках и амплитуде температурных колебаний воды в течение дня. Это, естественно, влияет и на видовой состав их обитателей, в частности диатомовых водорослей.

Объектами исследования данной работы являются водоёмы на участке (полигоне) Кыталык и разнотипные озёра, расположенные в бассейне реки Индигирка.

Первый объект исследования – водоёмы на участке (полигоне) Кыталык. При этом выбор изучения полигональных водоёмов был продиктован:

1) типичностью и многочисленностью подобных образований в тундровых ландшафтах в бассейнах северных рек (Анабар, Лена, Индигирка, Колыма и др.);

2) изменением площади термокарстовых озёр, характерных для районов распространения многолетней мерзлоты, которое может рассматриваться как важный индикационный признак реакции ландшафтов на климатические изменения (Кравцова, Быстрова, 2009), а обитающие в них организмы, особенно диатомовые водоросли, могут служить биоиндикаторами влияния различных факторов природного и/или антропогенного характера, в том числе климатических параметров;

3) мелкие водоёмы на примере полигона Кыталык могут служить объектом геоэкологического мониторинга стадий развития озёр.

В наше исследование включены 35 водоёмов на участке (полигоне) Кыталык, расположенные в бассейне реки Бёрёлёх (Елонь) – левого притока реки Индигирка (28 км от поселка Чокурдах Аллаиховского улуса (района) (Гидрохимические параметры..., 2019; Levina, Pestryakova, 2022) (рисунок 2.1.1).

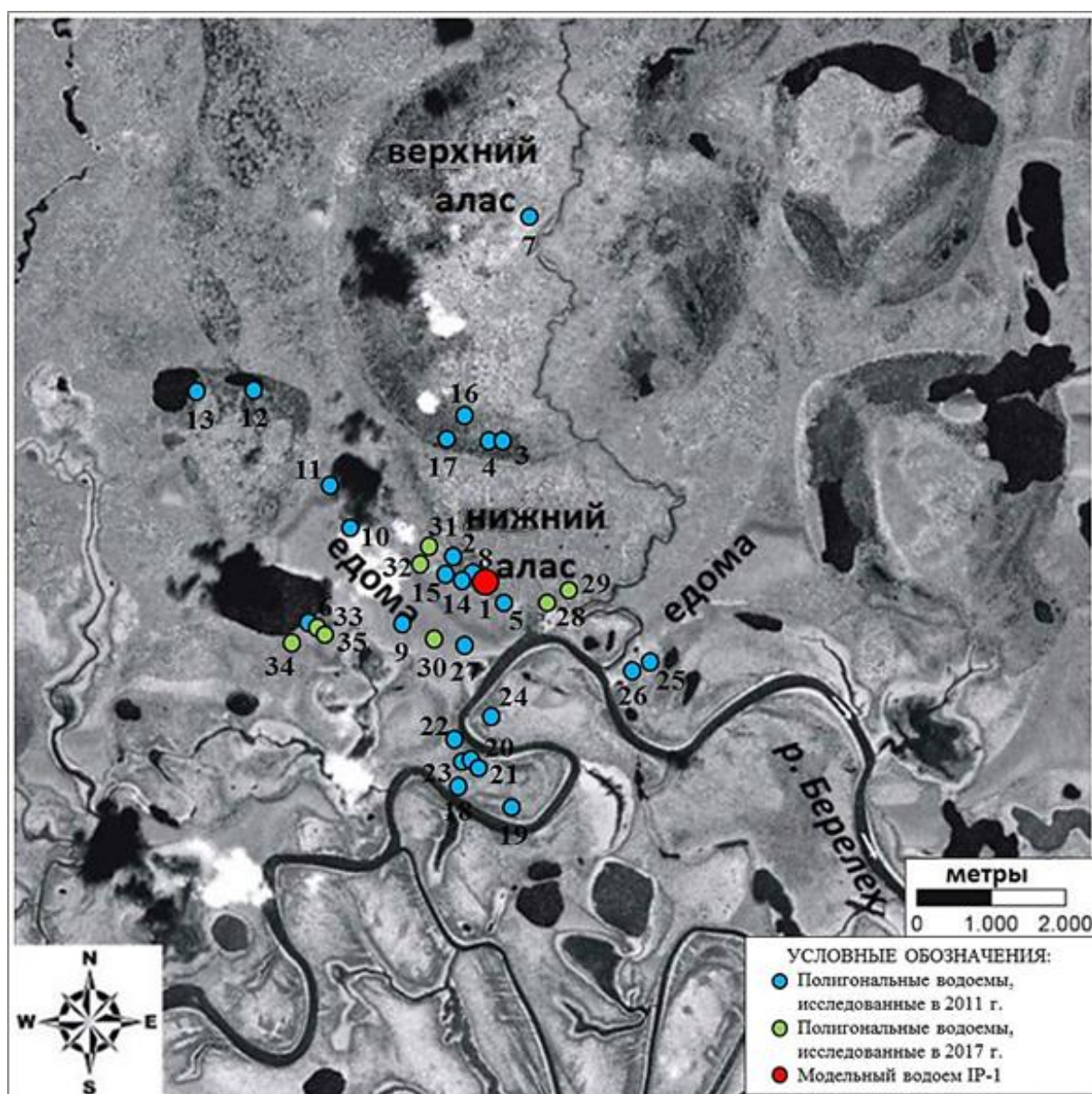


Рисунок 2.1.1 – Карта-схема расположения исследуемых водоёмов полигона Кыталык

Второй объект исследования – разнотипные озёра, их лимно-экологические параметры и биоразнообразие ДК. В диссертацию включены материалы исследований 42 озёр, относящихся к различным типам происхождения, в том числе: термокарстовых – 36 %; водно-эрозионных – 21 %; эрозионно-термокарстовых – 19 % и ледниковых – 24 % (Морфометрические параметры..., 2020) (рисунок 2.1.2).

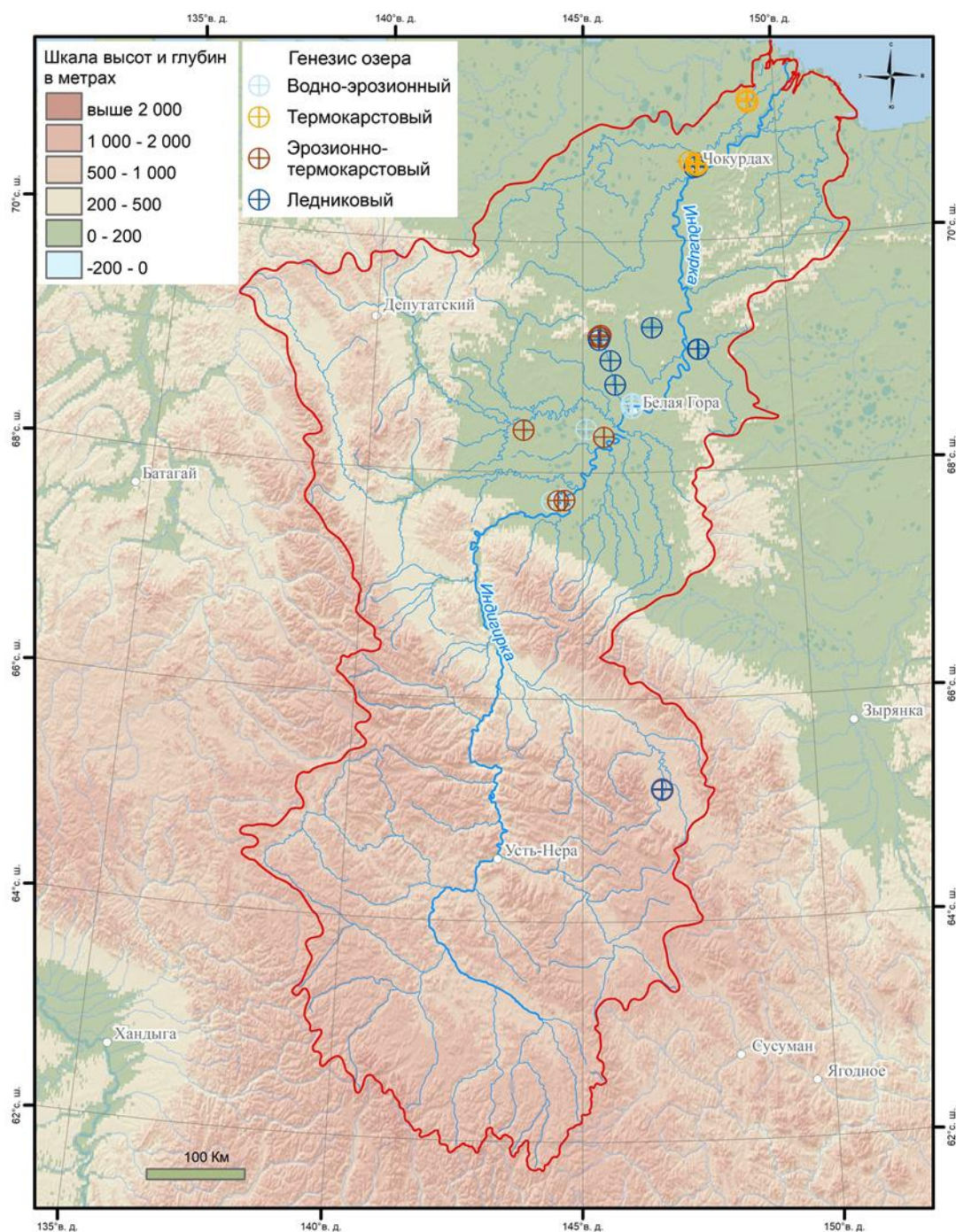


Рисунок 2.1.2 – Карта расположения исследуемых озёр

Изученные объекты расположены между $65^{\circ}10'$ – $71^{\circ}10'$ с.ш. и $143^{\circ}36'$ – $149^{\circ}19'$ в.д., на территории бассейна реки Индигирка, простирающейся на 202 км с запада на восток и на 694 км с севера на юг. Абсолютные высоты месторасположения озёр и водоёмов полигона Кыталык находятся в пределах от 4 (Яно-Индигирская низменность) до 596 м (Момский хребет) над уровнем моря (Левина и др., 2021). Основная масса изученных озёр приурочена равнинным территориям обширной Яно-Индигирской низменности.

Пространственное объединение (группировка) изученных озёр проведено согласно геоботанической карте (Атлас сельского ..., 1989), основанной на районировании по В. Н. Андрееву с соавторами (Основные особенности..., 1987). В результате изученные озёра нами объединены на группы по растительным подзонам (с севера на юг), которые в последующих главах данной работы автором условно названы как: озёра субарктической тундры или типичной тундры (ТТ) – 47 %; озёра лесотундры (ЛТ) – 21 %; озёра северной тайги (СТ) – 32 %.

Сбор фактического материала, использованного для написания диссертационной работы, осуществлялся в ходе проведенных ранее экспедиционных работ (в период с 2004-2018 гг.) при непосредственном участии автора диссертации (полевые работы, диатомовый анализ, все расчетные параметры абиотических и биотических характеристик водоёмов, статистический анализ).

Этап сбора полевых данных выполнен при реализации проектов, которые проведены сотрудниками лаборатории БИОМ¹¹ совместно с российскими коллегами из Казанского федерального университета⁹, Московского государственного университета⁸, Российского государственного педагогического университета им. А. И. Герцена⁷ и иностранными коллегами из Института им. Альфреда Вегенера – Центра полярных и морских исследований Гельмгольца (AWI)⁶. Все полевые исследования проводились в

¹¹ URL: <https://www.s-vfu.ru/universitet/rukovodstvo-i-struktura/strukturnye-podrazdeleniya/dnii/aic/lb/biom/>

летний период (в период положительных температур атмосферного воздуха в районах исследования).

За 2011 год в рамках совместного российско-немецкого исследовательского проекта DFG – РФФИ «Полигоны в болотах тундры: динамика и ответ на изменчивость климата в полярных регионах» (2011-2013 гг.) был проведен мониторинг водных объектов и определено место создания участка мониторинга тундровых экосистем в районе участка (полигона) Кыталык по специальной программе (Schirrmeister et al, 2012) (таблица 2.1.1).

В ходе исследований были отобраны пробы воды, донных осадков (0-1 см) и фитопланктон из 27 полигональных водоёмов.

Таблица 2.1.1 – Перечень объектов исследований, виды работ и измеряемые параметры

пп	Объект	Вид исследования	Параметры измерения
1	Модельный полигональный водоём (IP-1)	Мониторинг (установка логгеров), измерение данных с частотой каждые 7-10 дней по схеме «воздух–почва–вода»	Температура, рН, удельная электропроводность, гидрохимический состав воды
2		Диатомовый анализ фитопланктона	Таксономический состав, выявление массовых таксон, эколого-географический анализ
3	Водоёмы на участке (полигоне) Кыталык (n=35)	Географические и лимнологические параметры	Набор географических (координаты, высота над уровнем моря, расстояние от моря с ю на с) и морфометрических (длина, ширина, ср. ширина, макс. глубина, длина береговой линии, показатель удлиненности, развитие (изрезанность) береговой линии, площадь водного зеркала, приблизительный объем) переменных
4		Гидрохимические и физические параметры	Набор гидрохимических и физических переменных (прозрачность, рН, жесткость общая, удельная электропроводность, минерализация, катионы, анионы)

Продолжение таблицы 2.1.1

5		Диатомовый анализ	Таксономический состав, выявление массовых таксон, эколого-географический анализ, анализ индексов разнообразия и оценка сапробности
6	Водоёмы на участке (полигоне) Кыталык (n=27)	Мониторинг за 2011 и 2017 гг.	Широта, долгота, размер водоёма, глубина протаивания ММП у уреза воды, максимальная глубина воды, флора высших растений, температура воздуха и воды, удельная электропроводность, рН, ион аммония, нитраты, фосфаты, растворенный кислород, щелочность, кислотность, общая жесткость, диатомовый анализ.

Для проведения мониторинга современных условий водных объектов из 27 водоёмов был выбран участок (модельный водоём) IP-1, расположенный на низком аласном уровне ($70^{\circ}83'12.1''$ с.ш., $147^{\circ}48'29.9''$ в.д.). Участок мониторинга занимает площадь примерно 30 x 50 м (рисунок 2.1.3). В непосредственной близости водоёма существуют другие полигональные сухие депрессии и водоёмы различных размеров, форм и типов происхождения.

Наблюдения мониторингового участка проводились через каждые четыре дня, где собраны следующие данные и образцы (рисунок 2.1.4, 2.1.5):

- температура воды и воздуха;
- глубина протаивания мерзлого слоя;
- глубина воды;
- пробы воды на химический анализ (для измерений щелочности, кислотности, содержания кислорода, общей жесткости, электропроводности, рН, катионов, анионов, изотопного состава и питательных веществ);
- остракоды, ризоподы, макрозообентос, фитопланктон и зоопланктон.

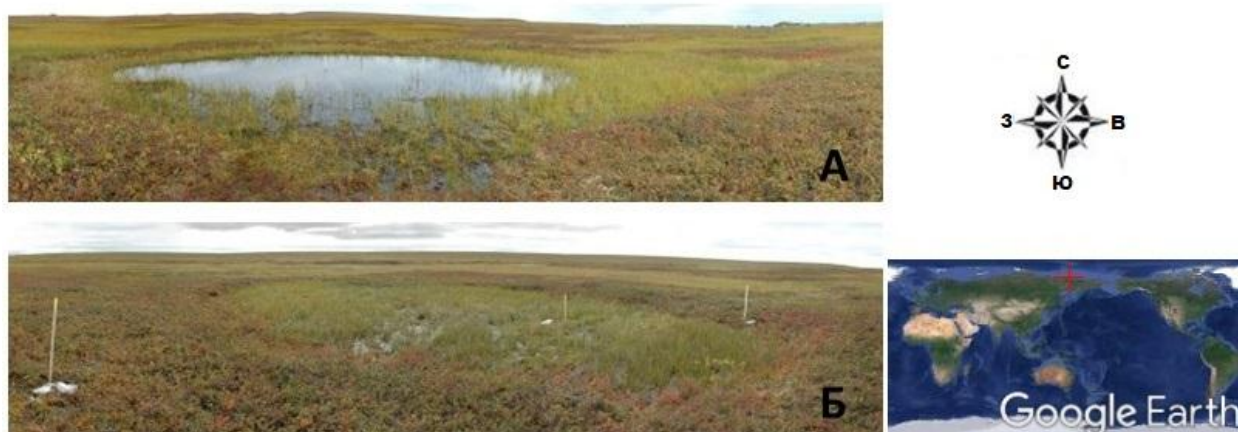


Рисунок 2.1.3 – Мониторинговый участок, где А – модельный полигональный водоём IP-1, Б – сухой участок (депрессия) (фото Ширрмейстера, 2011)

Кроме того, были установлены логгеры (регистраторы) различных данных в конкретных точках в период с **19 июля** и с **20 до 26 августа 2011 года** для того, чтобы получить непрерывный набор данных по тем или иным измеряемым параметрам (таблица 2.1.2).

По описанию производителя фирмы НОВО, установленные логгеры являются непромокаемыми и устойчивы к перепадам температуры в пределах от -30 до $+50$ °С (Schirrmeister et al., 2014). Все же для предотвращения любого рода потери данных из-за технических проблем кабели и разъемы были завернуты в пластиковые мешки и фиксировались дополнительно изолентой.

В конце полевого сезона работы в 2011 году снимались данные из регистраторов температуры на точках T_1 и T_2 и их оставляли до лета 2012 года. Все другие регистраторы данных снимали в конце полевого сезона.

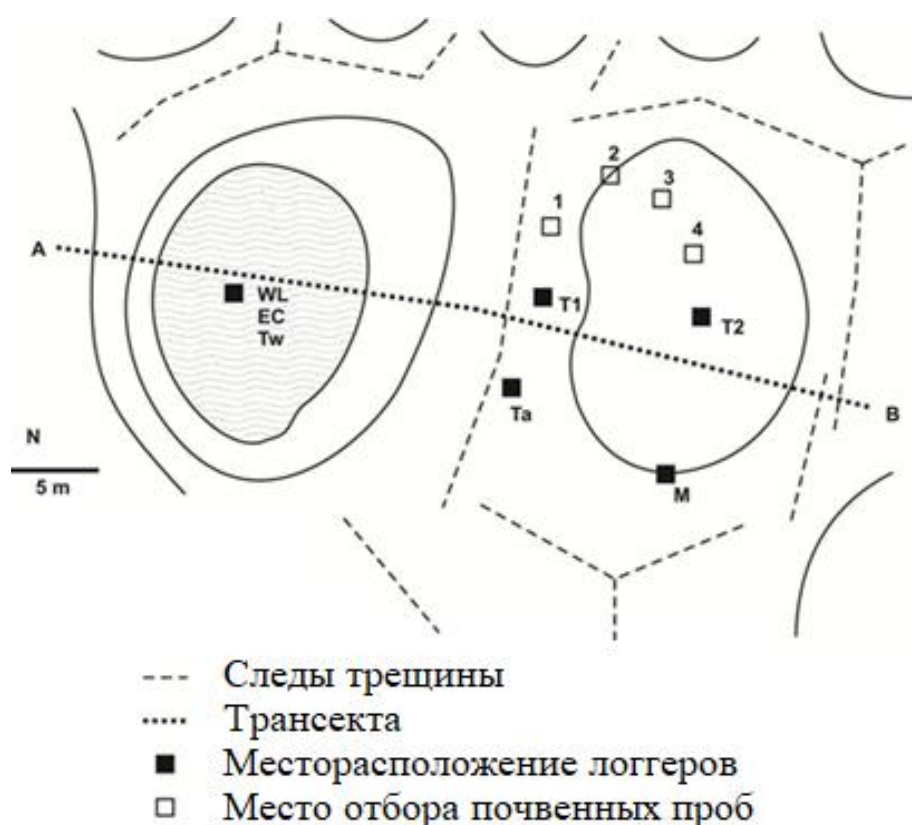


Рисунок 2.1.4 – Схема расположения мониторингового участка IP-1

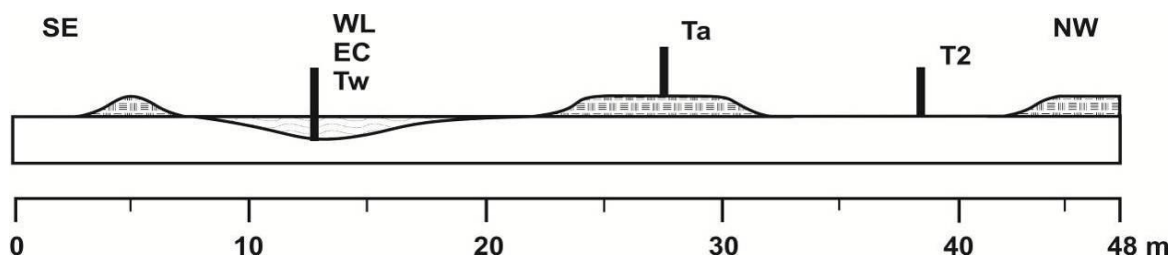


Рисунок 2.1.5 – Вид поперечного разреза мониторингового участка IP-1 с указанием мест установки логгеров (трансект А – В)

Таблица 2.1.2 – Измеряемые объекты, места установки логгеров, их типы и период измерения данных, 2011 г.

Название	Место	Типы логгеров	Период измерения
<i>Регистраторы данных, установленные в центре сухого полигона:</i>			
Приземная температура (T ₁)	Полигональный валик, глубина: 5; 10; 15; 20 см	HOBO Micro Station; HOBO 12-Bit Temperature Smart Sensor	19.07. - 26.08.
Приземная температура (T ₂)	Полигональный валик, глубина: 10; 15, 20; 30 см	HOBO Micro Station, HOBO 12-Bit Temperature Smart Sensor	19.07. - 26.08.

Продолжение таблицы 2.1.2

Влажность почвы (M)	Полигональный валик, глубина: 12; 22; 27; 30 см	HOBO Micro Station, Soil Moisture Smart Sensor	19.07. - 26.08.
<i>Регистраторы данных, установленные в модельном полигональном водоёме:</i>			
Удельная электропроводность (EC)	Центр водоёма	HOBO U24 Conductivity Logger	20.07. - 26.08.
Уровень воды (WL) относительно поверхности дна	Центр водоёма	HOBO Water Level/ Temp (U20-001-04)	20.07. - 26.08.
Температура воды (T _w)	Центр водоёма	MinidanTemp 0.1, ESYS	20.07. - 26.08.
<i>Регистратор данных, установленный на валике между двумя полигонами:</i>			
Температура воздуха (T _a)	На 2 м над поверхностью земли	MinidanTemp 0.1, ESYS	20.07. - 26.08.

Для измерения температуры приземного слоя грунта были установлены датчики на двух участках (T₁ и T₂) и датчики влажности почвенных условий (M) на одной из сухих депрессий (рисунок 2.1.6). В водной среде водоёма IP-1 были установлены датчики для измерения удельной электропроводности, уровня воды и температуры воды. Температура воздуха (T_a) была измерена в 2 м высоты на месте между обоими полигонами.

Все регистраторы данных автоматически измеряют конкретные значения каждые 30 минут для обеспечения ежедневного состояния. Приборы для измерения температуры предварительно были откалиброваны в Институте полярных и морских исследований им. А. Вегенера⁶ в Потсдаме, поместив их в ледяную воду на сутки (Schirrmeister et al., 2014).

Для измерения влажности почвы были установлены 4 логгера, расстояние между каждым датчиком примерно было по высоте 5 см друг от друга (рисунок 2.1.7). Самый нижний логгер был установлен непосредственно на границе ММП 19 июля 2011 года.

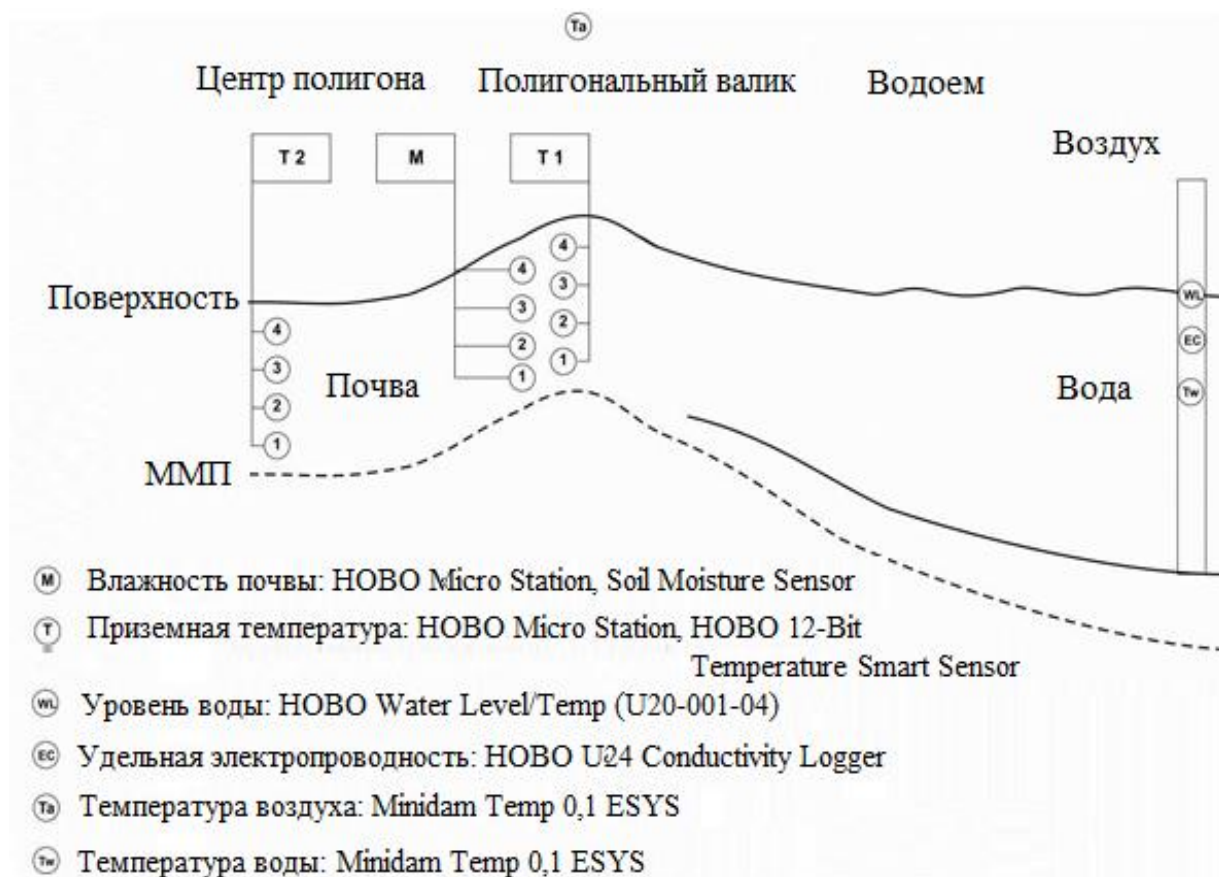


Рисунок 2.1.6 – Установка датчиков измерения данных, 2011 г.

В 2017 году нами повторно проведены полевые работы (отбор проб воды на гидрохимический и фитопланктонный анализы, образцы донных отложений на диатомовый метод и другие) на полигоне Кыталык с целью проведения мониторинга ранее изученных 27 водных объектов.

В следствие экстремального наводнения по материалам Ш. Тей и др. (An extreme..., 2020), ввиду поднятия уровня воды 11 водоёмов пойменной части реки Бёрёлёх были затоплены. Дополнительно мы обследовали еще 8 водоёмов.

В работе нумерация водоёмов за 2011 год отмечены от IP1 до IP27. Повторно измеренные в 2017 году водоёмы пронумерованы с добавлением «17», например, IP1-17 и так далее.

Сроки полевых работ совпадают с исследованиями 2011 года.



А) датчик для измерения температуры воздуха



Б) датчик для измерения параметров почвы



В) датчик для измерения влажности почвы

Рисунок 2.1.7 – Установка логгеров для получения данных по воздуху и почве (фото Ширрмейстера, 2011)

2.2 Методы полевых, лабораторных исследований и статистического анализа

В диссертационной работе использованы материалы более 200 образцов, отобранных с поверхностного слоя (0-1 см) донных осадков разнотипных озёр и фитопланктонных проб водоёмов мониторингового участка Кыталык бассейна реки Индигирка.

Отбор проб производился в летнее время с лодки (на озёрах) дночерпателем Ленца фирмы Гидро-Биос и грунтовой трубкой ÜWITEC (Австрия) из глубоких частей, а в водоёмах с центральной части. Прозрачность воды определена с использованием диска Секки. Глубина водоёма – портативным эхолотом Echotest II (Япония); координаты фиксировались портативным GPS-навигатором Garmin 62s.

В полевых условиях из каждого озера отбирались пробы воды на гидрохимический анализ с глубины 0,5 м, а из водоёмов полигона с глубины 0,1 м. В каждой пробе определялись содержание растворенного кислорода, рН, прозрачность (по диску Секки), удельная электропроводность (величина, обратная сопротивлению), содержание железа по стандартным методикам с помощью сертифицированного многопараметрового электрохимического прибора (WTW Multi 340i, номер по ГосРеестру: 47448-11).

Гидрохимические параметры воды измерены с помощью общепринятых сертифицированных методик на базе структурных подразделений ИЕН СВФУ¹⁰ и Института им. Альфреда Вегенера⁶ – Центра полярных и морских исследований Гельмгольца. По результатам анализа построены треугольные диаграммы ионного состава вод, выполненные в программе Grapher версия 12.2.14 (2014).

Количественный учет фитопланктона из мониторингового водоёма IP-1 производился при помощи планктонной сетки с размером ячейки 5 мкм и пробы воды определенного объёма, затем образец осаждался путем добавления 1–2 капель формалина.

Количественные параметры площади водной поверхности, длина, максимальная ширина, длина береговой линии были измерены с использованием программы Google Earth Pro (время обращения август-сентябрь 2017 г.) и уточнены по топографическим картам масштаба 1:50000-1:200000. Для водоёмов полигона морфометрические параметры были определены во время полевых работ. Такие параметры, как средняя ширина, развитие береговой линии, показатель удлинённости, приблизительный объём воды в водоёме были установлены расчетным путем с использованием формул, приведенных в таблице 2.2.1 (Городничев и др., 2015).

Таблица 2.2.1 – Количественные морфометрические показатели водного объекта и их расчет

пп	Морфометрические параметры	Формула расчета
1	Длина (L), км	расчет
2	Ширина максимальная (B_{max}), км	расчет
3	Ширина средняя (B_{cp}), км	$H_{cp} = \frac{F}{L}$
4	Максимальная глубина (h_{max}), м	измерение
5	Длина береговой линии ($L_{б.л.}$), км	расчет
6	Показатель удлинённости ($K_{уд}$)	$K_{уд} = \frac{L}{H_{cp}}$
7	Развитие береговой линии (K)	$K = (L_{б.л.})/\sqrt{F\pi}$
8	Площадь водной поверхности (F), км ²	расчет
9	Приблизительный объём воды (V), км ³	$V = 2/3 Fh$

Методика выполнения диатомового анализа верхнего неконсолидированного слоя (0-1 см) осадков озёр подробно описана в статье автора с соавторами (Левина и др., 2021). Постоянные препараты (слайды) изучались под световым микроскопом Axio Imager.A2 (фирмы Carl Zeiss) с использованием иммерсионного объектива ахромат 100x/1.25 (окуляр П1 10x/23). Для выявления структурных особенностей диатомовых комплексов водоёмов определялось процентное содержание особей каждого вида в выборке из 500 и более створок, подсчитанных по горизонтальному ряду в средней части препарата. По относительному обилию виды диатомовых подразделялись на доминанты (встреченные в пробах в количестве 10 % и более) и субдоминанты (от 5 до 10 %), составляющие «массовые» виды.

Обычными видами считались таксоны, насчитывающие от 1 до 5 %, единичные или редкие – менее 1 % общей численности особей диатомей. При составлении таксономического списка водорослей учитывались современные номенклатурные разработки с учетом системы Round, Grawford, Mann (Round et al., 1990; Krammer, 2000, 2002, 2003; Lange-Bertalot, 1993, 1996, 1999, 2001; Nekansson, 2002 и др.). Номенклатура таксонов диатомовых водорослей приведена согласно международной базе данных AlgaeBase¹².

Анализ изменения разнообразия биотических группировок выполнен с использованием различных индексов (Shannon, 1948; Shannon, Weaver, 1949; Simpson, 1949; Pielou, 1975; Животовский, 1980), определяющих степень видового богатства, разнообразия и доминирования сообществ диатомовых водорослей, в т. ч.:

Индекс Шеннона-Уивера (H)	$H = - \sum_1^S p_i \ln (p_i)$
Индекс выравненности Пиелу (E)	$E = H' / H \max = H' / \ln S$
Мера доминирования Симпсона	$C = \sum_1^S p_i^2$
Индекс видового богатства Симпсона (D)	$D = 1 / C$
Индекс Маргалефа (k)	$k = \ln (S) / \ln (N)$
Индекс видового разнообразия Менхиника (D_{mn})	$D_{mn} = S / \sqrt{N}$
Индекс Животовского (μ)	$\mu = [\sum_1^S \sqrt{p_i}]^2$
Доля редких видов (h)	$h = 1 - \mu / S$

где $p_i = N_i / N$, где N_i – число особей i – вида, N – размер пробной выборки, а i пробегает значения от единицы до полного числа видов S (N), обнаруженных в пробе.

Для оценки современного состояния и выявления уровня трофности озёр применен метод Пантле-Букка в модификации В. Сладечека (Sládeček, 1973, 1986), где определяется частота встречаемости (h) организмов в комплексе. Обе величины входят в формулу для вычисления индекса сапробности: $\text{Ind } S = \sum (Sh) / \sum h$. Принадлежность диатомей-индикаторов к той или иной зоне сапробности определялась по спискам сапробных организмов (Макрушин, 1974а, 1974б; Унифицированные методы..., 1976, 1977; Denus L., 1991; Баринава, Медведева, 1996 и др.). Перечисленные характеристики зон

¹² URL: <https://www.algaebase.org/>

сапробности также включены в ГОСТ 17.1.3.07-82, в экспертную систему определения класса качества вод и широко применяются в практике экологических оценок.

Для выявления влияния близлежащих морей на озёрные экосистемы нами введен дополнительный параметр – расстояние от объекта исследования до моря в направлении с юга на север, которое высчитывалось от места отбора проб (как при измерении кратчайшей дистанции до моря) строго в направлении на север (по прямой) приблизительно до линии контакта суша–море. А также добавлен второй показатель для характеристики каждого озера – ближайшее расстояние до самой близкой реки, измеренное от точки береговой линии озёра (линия, разграничивающая сушу и водную поверхность), расположенной ближе всего к обозначенной реке (Городничев, 2016).

Статистическая обработка данных. Подготовка данных и их первичная обработка были выполнены с использованием программы Microsoft Excel (Городничев и др., 2019). Кластерный и корреляционный анализ исследуемых параметров проведен в программе PAST Ver. 2.17c (Hammer et al., 2001) методом невзвешенного попарного среднего арифметического. В качестве меры близости использовано евклидово расстояние. Для снижения отклоняющего воздействия данных все числовые характеристики перед проведением процедур кластерного анализа были подвергнуты z-стандартизации: от каждого отдельного значения характеристики вычли среднее значение, затем разделили полученную разность на стандартное отклонение.

В работе применен корреляционный анализ с использованием коэффициента ранговой корреляции Спирмена (при $p < 0,05$). Расчетные процедуры выполнены в PAST 4.0. Все значимые коэффициенты были проверены графическим способом, путем построения двумерных графиков рассеивания.

Графические изображения, составленные по результатам кластерного анализа по морфометрии, гидрохимии и прозрачности воды, построены в программах Statistica и растровом графическом редакторе Microsoft Paint.

Кластерный анализ озёрных экосистем по морфометрическим, физико-гидрохимическим параметрам выполнен в программе Statistica (Ver. 8.0). Кластерный анализ выполнен методом Варда для всего набора данных (69 объектов). В качестве меры дистанции использовано Евклидово расстояние:

Евклидово расстояние $d(A, B)$, которое определяется как корень квадратный из суммы квадратов разностей координат двух объектов (объекты $A(x_A; y_A; z_A \dots; k_A)$ и $B(x_B; y_B; z_B \dots; k_B)$), что находит отражение в выражении

$$d_{ab} = \sqrt{(x_a - x_b)^2 + (y_a - y_b)^2 + (z_a - z_b)^2}$$

Корреляционный анализ выполнен с вычислением коэффициента ранговой корреляции Спирмена (Spearman, 1904) ρ (при $p < 0,05$). Достоинства данного расчетного показателя в том, что он не требователен к условию обязательной нормальности распределения признаков, а также более устойчив к выбросам, нежели традиционный линейный коэффициент Пирсона. Коэффициент Спирмена (ρ) позволяет установить взаимосвязи в изменениях переменных и рассчитывается по нижеследующей формуле:

Коэффициент Спирмена, где A_x и B_x – это ранги каждой пары сопоставляемых значений признаков (переменных) A и B объектов исследования; n – количество значений переменных (должно быть одинаковым для A и B).

$$\rho = 1 - \frac{6[(A_1 - B_1)^2 + (A_2 - B_2)^2 + (A_3 - B_3)^2 + \dots + (A_k - B_k)^2]}{n(n^2 - 1)}$$

Если имеют место повторяющиеся ранги, то в формулу вводятся поправочные коэффициенты. Поправочные коэффициенты вычисляются следующим образом:

Поправочные коэффициенты X (для признака A), Y (для переменной B), где a_x – количество одинаковых рангов в группе значений признака A , имеющих данный ранг. Для второго признака (для переменной B) поправочный коэффициент вычисляется аналогично A

$$X = \frac{(a_1^3 - a_1) + (a_2^3 - a_2) + \dots + (a_i^3 - a_i)}{12}$$

Индекс под количеством рангов указывает на количество таких групп с повторяющимися рангами (в случае наличия повторяющихся рангов).

Следовательно, финальная формула коэффициента Спирмена принимает следующий вид:

<i>Коэффициент Спирмена</i>	$r=1-\frac{6(A_1-B_1)^2+(A_2-B_2)^2+(A_3-B_3)^2+\dots+(A_k-B_k)^2}{n(n^2-1)}+X+Y$
---------------------------------	---

Для кластеризации озёр в качестве основных анализируемых морфометрических показателей нами выбраны площадь водной поверхности, длина и ширина озера, его максимальная и средняя глубины. На основе указанных параметров рассчитывались коэффициент удлиненности и степень развития береговой линии (Григорьев, 1959). При классификации озёр по площади водного зеркала использована классификация П. В. Иванова (Иванов, 1948).

В настоящей работе применены широко используемые в Российской Федерации классификации озёр по максимальной глубине (Китаев, 2007), площади зеркала П. В. Иванова, форма поверхности озёрной котловины (Григорьев, 1959) приводится по Н. В. Мякишевой (Мякишева, 2009).

При построении диатомовых диаграмм использовался пакет программ TILIA, TILIA-GRAF, TGView версии 1.7.16 (Grimm, 2011), а визуальное разделение на локальные зоны в диаграммах поддерживалось программой CONISS.

Картосхемы района исследования и сопредельных территорий составлены с применением атласов Якутии (Атлас сельского..., 1989; Атлас Якутской..., 1981; Мерзлотно-ландшафтная..., 2018 и др.).

Графические изображения, составленные по результатам кластерного анализа по морфометрии, гидрохимии и прозрачности воды построены в программах Statistica и растровом графическом редакторе Microsoft Paint.

ГЛАВА 3. ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ВОДОЁМОВ УЧАСТКА (ПОЛИГОНА) КЫТАЛЫК

3.1 Мониторинг водоёмов на участке Кыталык

Пресноводные водоёмы в побережье Восточно-Сибирского моря имеют свои специфические особенности. Участки тундры, так называемая полигональная тундра (прямоугольные или многоугольные полигоны) — это результат систематического чередования циклов таяния и замерзания многолетней мерзлоты, вызывающих такую эрозию на поверхности почвы. Таким образом образуются полигонально-валиковые болота, разделенные между собой морозобойными трещинами, вдоль которых возвышаются валики торфяного грунта, выпученного под воздействием мерзлоты. Благодаря валикам вода задерживается в полигонах, способствуя постоянно их обводнению и торфонакоплению. Возраст этих болот может достигнуть от 500 до 5000 лет (Ядрихинский, 2017). В районах с хорошо выраженным континентальным или морским климатом грунт, оказывается разбитым системами перпендикулярных трещин таким образом, что на местности становится хорошо видна полигональная, четырехугольная или другая структура. Размеры этих полигонов могут быть самыми разными: от нескольких десятков сантиметров до 20-30 м (Котляков, 2017). Образование морозобойных трещин неизбежно приводит к возникновению полигонально-жильных структур различных типов. Наиболее важными из них представляются повторно-жильные льды — ПЖЛ, шире всего развитые в северных районах криолитозоны. ПЖЛ образуются либо после формирования мерзлых пород, и тогда они называются эпигенетическими, либо одновременно с ними — сингенетические.

Полигонально-жильные структуры – широко распространенная по площади система жильных льдов или грунтовых жил, образующихся в районах с вечномерзлыми грунтами на основе морозобойного растрескивания,

проявляющаяся на поверхности в виде тетрагональных полигонов (при однородных породах) и в виде неправильной случайной формы (на неоднородных породах). Как правило, полигоны имеют поперечник от 6–8 до 20–30 м (ВСН 014-89, 1990).

Со временем таких подтаявших участков становится все больше. Так постепенно формируются комплексные полигональные водоёмы, которые затем могут объединиться в большое озеро. Все этапы формирования таких водоёмов сопровождаются изменениями в составе грунта, гидрохимических характеристиках и амплитуде температурных колебаний воды в течение дня, что влияет и на видовой состав их обитателей, в частности диатомовых водорослей.

Объектами нашего исследования послужили водоёмы полигона Кыталык. Формы рельефа участка представлены поймами и террасами; едомами, представленными плейстоценовыми ледовыми комплексами; аласами с первоначальными и вторичными термокарстовыми озёрами, образовавшимися в позднеледниковье, которые в течение голоцена были связаны с формированием аласных комплексов (Schirrmeister et al., 2012).

На участке Кыталык нами выделены три основные формы рельефа, с которыми связаны изученные водоёмы: термокарстовые котловины (алас), едомные возвышенности (едома) и пойма реки Бёрёлёх (Елонь) (пойма) (рисунок 3.1.1).

Термокарстовые котловины представлены двумя типами: котловины с первично-термокарстовыми озёрами (исходные термокарстовые озёра, существование которых, собственно, и привело к образованию котловин) и дренированные термокарстовые котловины (полностью или частично это, собственно, аласы). Выделенные нами «аласные водоёмы» расположены на дренированных термокарстовых котловинах, которые превратились в настоящее время в аласы. А первично-термокарстовые озёра, вероятно, полностью окружены едомой, следовательно, их можно отнести к озёрам в пределах едомных возвышенностей (на карте 9, 10, 27 и 30). Так же имеется

промежуточный тип водоёмов (6 и 32): часть их находится в пределах аласа, а часть вгрызается в склон едомы.

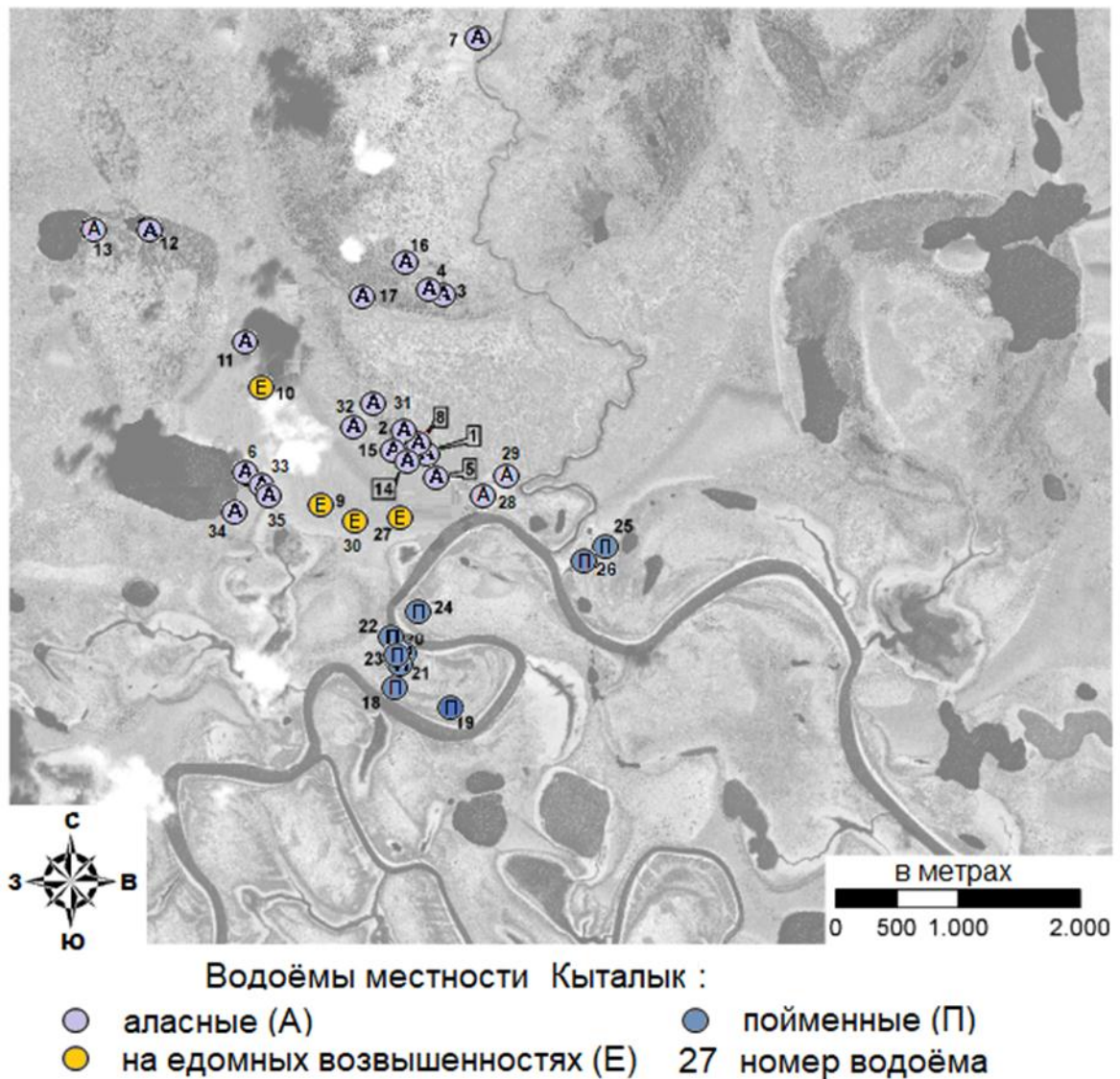


Рисунок 3.1.1 – Карта-схема расположения водоёмов участка Кыталык

В пределах аласов существует полигональная сеть, то можно говорить о пяти типах водоёмов (рисунок 3.1.2): внутрполигональные; межполигональные водоёмы в понижениях над протаивающими ПЖЛ; водоёмы межполигональные в понижениях над протаивающими ПЖЛ со сложной конфигурацией; водоёмы на деградирующих полигонально-валиковых образованиях ПЖЛ; остаточные термокарстовые озёра (оставшиеся после дренирования первичного озера или возникшие вновь).



1 тип – водоёмы
внутриполигональные (n=26)



2 тип – водоёмы
межполигональные в понижениях
над протаивающими ПЖЛ (n=2)



3 тип – водоёмы сложные
межполигональные в понижениях
над протаивающими ПЖЛ (n=2)



4 тип – водоёмы на
деградирующих полигонально-
валиковых образованиях ПЖЛ
(n=3)



5 тип – остаточное
термокарстовое озеро (n=2)

Рисунок 3.1.2 – Типы аласных водоёмов

Водоёмы на едомных возвышенностях представлены одним типом – на первичных термокарстовых западинах (рисунок 3.1.3).



б – водоёмы на первичных термокарстовых западинах (n=7)



Рисунок 3.1.3 – Тип водоёмов на едомных возвышенностях

Принципиальное отличие пойменных водоёмов от первых двух групп – меняющийся гидрологический режим, периодическое затопление во время половодий и паводков, хотя часть водоёмов на аласах также затапливается во время разливов рек. Первые два типа пойменных водоёмов – внутри полигона и между полигонами – в целом идентичны таковым на аласах, разница только в геоморфологической приуроченности. Также выявлен термокарстово-эрозионный тип водоёмов, хотя их можно было отнести просто к пойменным озёрам или озеркам (рисунок 3.1.4).



1 тип – водоёмы
внутриполигональные (n=3)



2 тип – водоёмы межполигональные в понижениях над протаивающими ПЖЛ (n=4)



3 тип – озёрки пойменные термокарстово-эрозионные (n=2)

Рисунок 3.1.4 – Типы пойменных водоёмов

Таким образом, изученные водные объекты на полигоне Кыталык по выявленным трем формам рельефа были отнесены к 7 типам водоёмов.

В пределах аласа: А-I - внутриполигональные, А-II - межполигональные водоёмы в понижениях над протаивающими ПЖЛ, А-III - водоёмы сложные межполигональные в понижениях над протаивающими ПЖЛ, А-IV - водоёмы на деградирующих полигонально-валиковых образованиях ПЖЛ, А-V - остаточное термокарстовое озеро).

На едомных возвышенностях: Е-VI - водоёмы на первичных термокарстовых западинах.

На пойме реки Бёрёлёх: П-I - внутриполигональные водоёмы, П-II - межполигональные водоёмы в понижениях над протаивающими ПЖЛ, П-VII - пойменные термокарстово-эрозионные озёрки.

3.1.1 Динамика изменения некоторых физических параметров мониторингового водоёма IP-1

Выбор полигонального водоёма для мониторинговых исследований был обусловлен тем, что водоём имел ярко выраженную полигональную форму в виде «водной ванны». Для проведения мониторинга современных условий полигональных водоёмов из 27 объектов был выбран участок в пределах полигона Кыталык с водоёмом IP-1, расположенный на низком аласном уровне (А-I) ($70^{\circ}49'52.36''$ с.ш., $147^{\circ}28'58.76''$ в.д.). Участок проведения мониторинга занимает площадь примерно 30 x 50 м (рисунок 3.1.1.1).

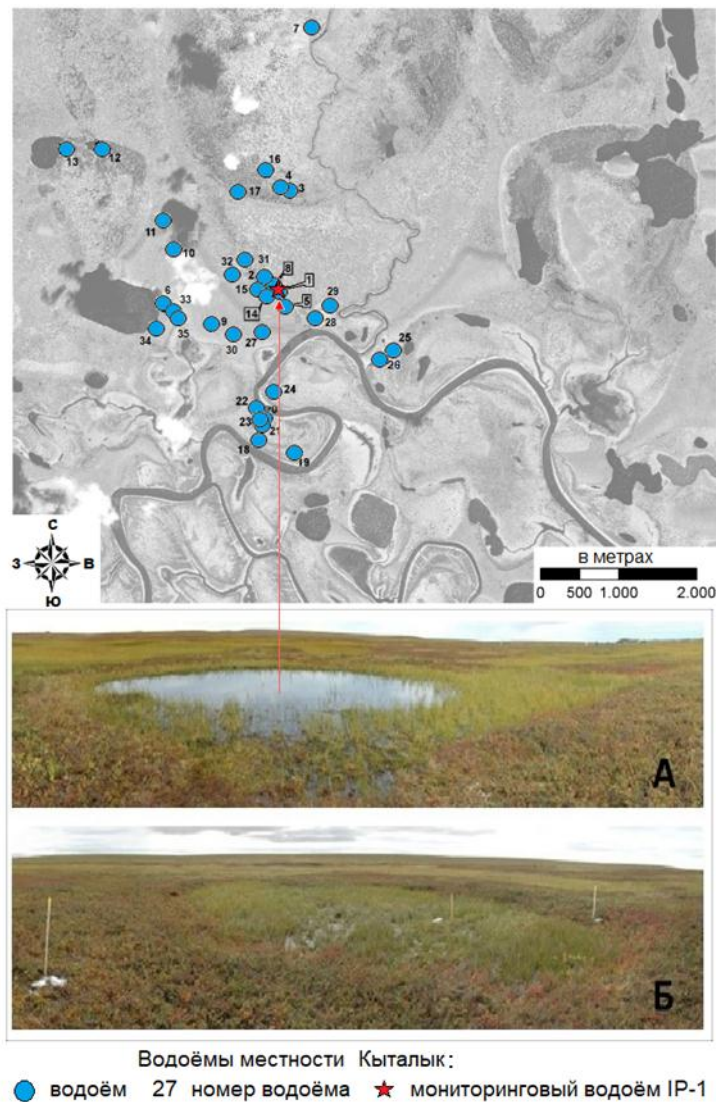


Рисунок 3.1.1.1 – Участок проведения мониторинга: А – водоём IP-1, Б – сухой участок депрессии

В результате проведения исследований были измерены глубина водоёма, температура воды и воздуха, рН, прозрачность (по диску Секки), кислород, удельная электропроводность, глубина сезонно-талого слоя (СТС). На участке Кыталык полигональные формы значительно более обводнены, однако на многих участках идет рост ПЖЛ. Параметры решетки – около 20 м. Более высокие уровни на аласах являются более старыми и на них развитие полигонального микрорельефа привело к более сложному строению верхних горизонтов мерзлых пород и взаимоотношениям между повторно-жильными льдами и валиковыми формами микрорельефа (Schirrmeister et al, 2012).

Температура воздуха (T_a). В период с 20 июля по 26 августа 2011 года установленный на высоте 2 м от поверхности Земли логгер типа MinidanTemp 0.1, ESYS произвел всего 3549 записей, в том числе за сутки 72 измерения и за 1 час по 4 измерения (т. е. через каждые 15 минут).

На рисунке 3.1.1.2 приведен график изменения усредненных данных T_a за период обследования (с 20 июля по 26 августа 2011 г.). Как видно из рисунка, наиболее значительные перепады суточной температуры воздуха произошли 22-23 июля. Например, температура воздуха 00:07 ч. была равна +20,5 °С, а в 18:37 ч. понизилась до +4,8 °С.

Тенденция понижения температуры были отмечена, начиная с 29 июля, когда амплитуда значений менялась в пределах от 11,3 °С (07:07 ч.) до 5,9 °С (в 21:52 ч.). В августе отмечается устойчивая тенденция снижения температуры. Причем понижение температуры ниже нуля градусов отмечено 13 августа. В этот день с 16:37 часов до 20:37 ч. отмечено понижение температуры от -0,1 до -0,3 °С. Также 22 августа с вечера 19:22 ч. (-0,2 °С) установилась минусовая температура до 21:22 ч. (до -0,3 °С), в этот день самый минимум температуры отмечен 20:22 ч. до -1,4 °С.

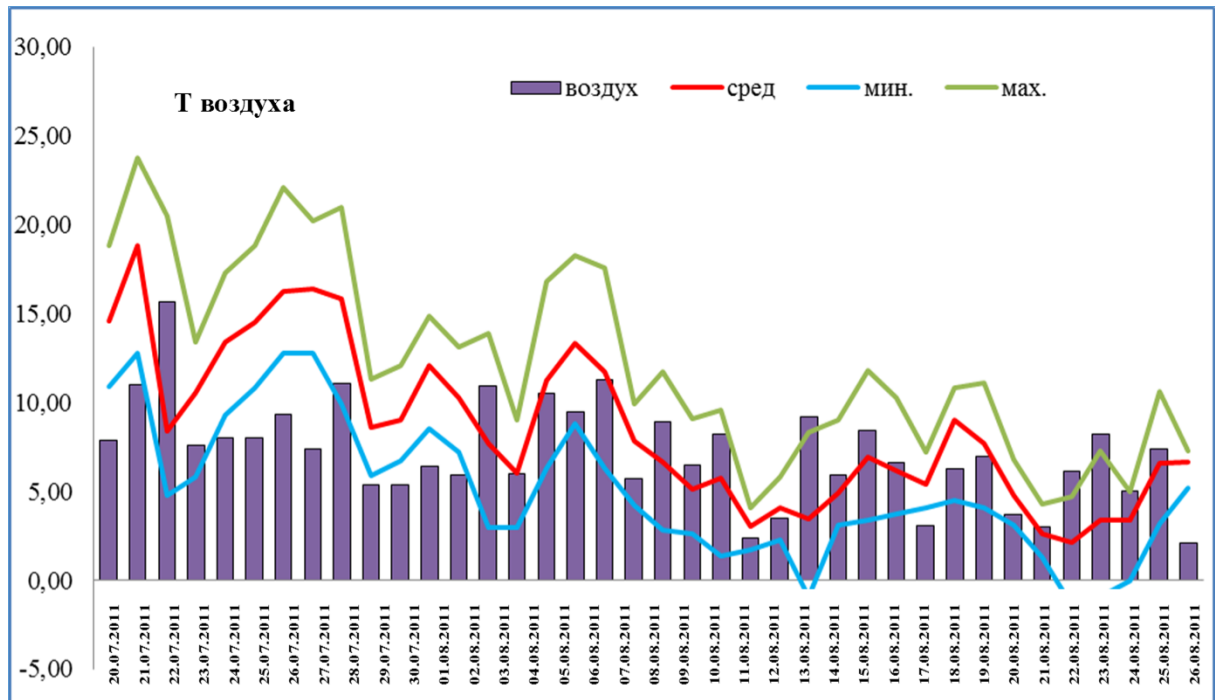


Рисунок 3.1.1.2 – График изменения T_a на участке IP-1

Температура воды (T_b). Измерение температуры воды с помощью датчиков было осуществлено в период с 20 июля по 26 августа 2011 года на глубине 30 см в центре мониторингового водоёма IP-1. Логгер типа MinidanTemp 0.1, ESYS произвел всего 1776 записей, в том числе за сутки 40 измерений, т. е. через каждые 30 минут.

На рисунке 3.1.1.3 приведена динамика изменения усредненных данных температуры воды за период обследования с 20 июля по 26 августа. Как видно из рисунка, значительные понижения температуры воды водоёма приходятся на 21 и 24 числа июля; в августе месяце наблюдается постепенное направленное понижение температуры воды. Наиболее критическими являются 7 августа и 18 августа. Однако при понижении температуры воздуха ниже нуля градусов (13 и 22 августа) в температурном режиме водоёма существенных изменений не происходило, температура воды оставалась относительно стабильной.



Рисунок 3.1.1.3 – График изменения T_v на участке IP-1

Благодаря термической инерции воды, ход температуры поверхности водоёма запаздывает по сравнению с ходом T_a . Весной T_v ниже T_a , а летом и осенью выше. Таким образом, по полученным данным колебания T_a выше, чем колебания T_v (рисунок 3.1.1.4). В больших озерах, как правило, колебания T_v и T_a в течение суток бывают аналогичными (Пестрякова, 2008).

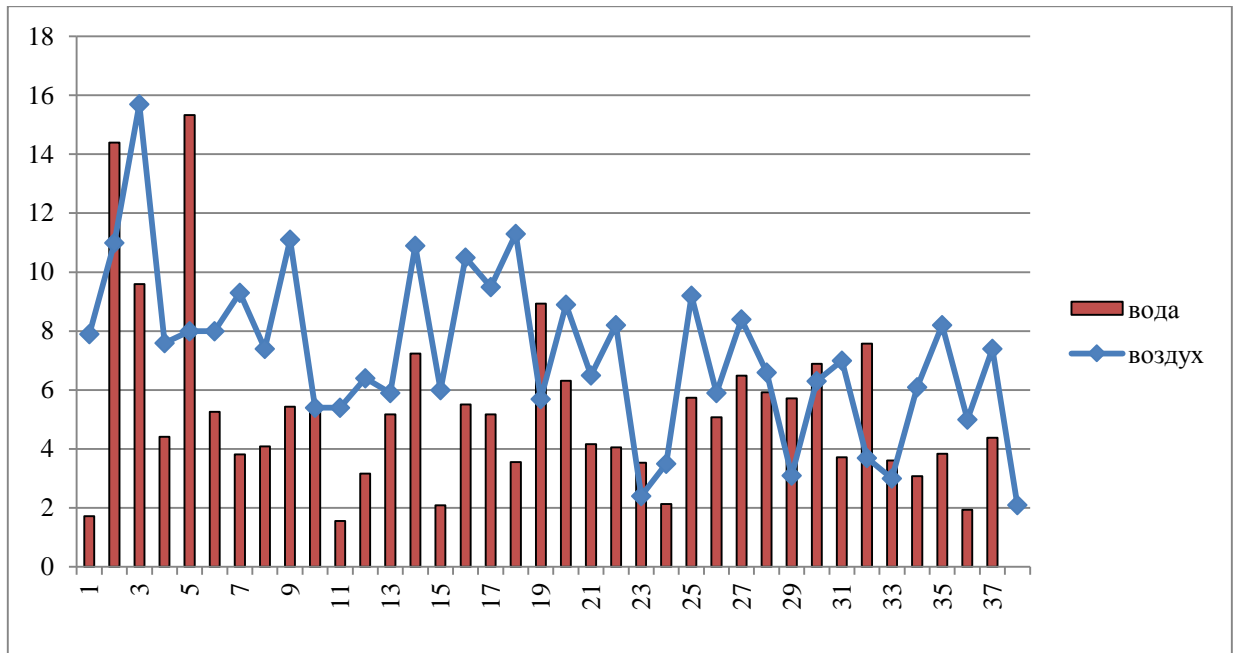
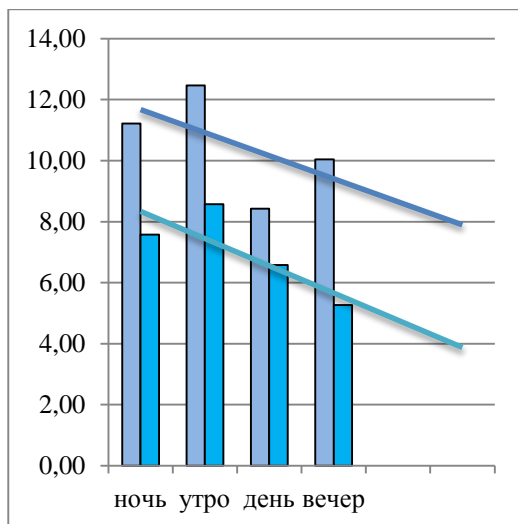
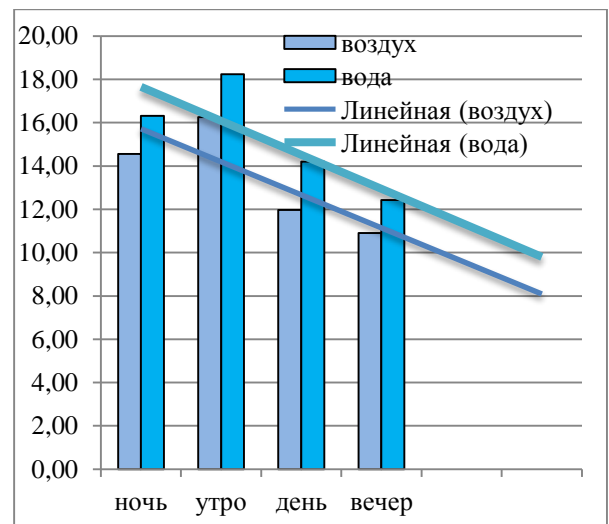


Рисунок 3.1.1.4 – Колебание T_a и T_b в водоёме IP-1

Однако в небольших водоёмах полигональной тундры, где глубина воды не превышает 0,5 м, суточный ход T_b значительно ниже, чем воздуха. Например, 23 июля T_a менялась с $+5,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ (15:37 ч.) до $+13,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ (09:22 ч.). В этот день вода в водоёме IP-1 холоднее воздуха днем с разницей до $1,85\text{ }^{\circ}\text{C}$, а вечером и утром амплитуда разницы заметно возрастает $4,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ и $3,9\text{ }^{\circ}\text{C}$, соответственно (рисунок 3.1.1.5).



23 июля 2011 г.



24 июля 2011 г.

Рисунок 3.1.1.5 – Суточная амплитуда изменения T_a и T_b на участке IP-1

Через день (24 июля) амплитуда колебания T_a значительно возросла и изменилась от $+9,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ (с 18:52 до 19:22 ч.) до $+17,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ (9:52 ч.). А T_b остается стабильно высокой.

Таким образом, зарегистрированные T_a и T_b (рисунок 3.1.1.6) меняются параллельно и показывают аналогичные ежедневные закономерности в течение указанного периода времени. Тенденция общего охлаждения к концу сезона очевидна.

Уровень воды. Данные, полученные из датчиков изменения уровня воды водоёма IP-1, показаны на рисунке 3.1.1.5. Как видно из рисунка, уровень воды в первой половине полевого сезона (в июле) был относительно низким (среднее значение $0,37\text{ м}$), затем в первой половине августа отмечается повышение уровня воды (до $0,51\text{ м}$) за счет дождей.

В целом, T_a и T_b , существенно влияют на изменения уровня воды и незначительные вариации удельной электропроводности мелкого водоёма IP-1.

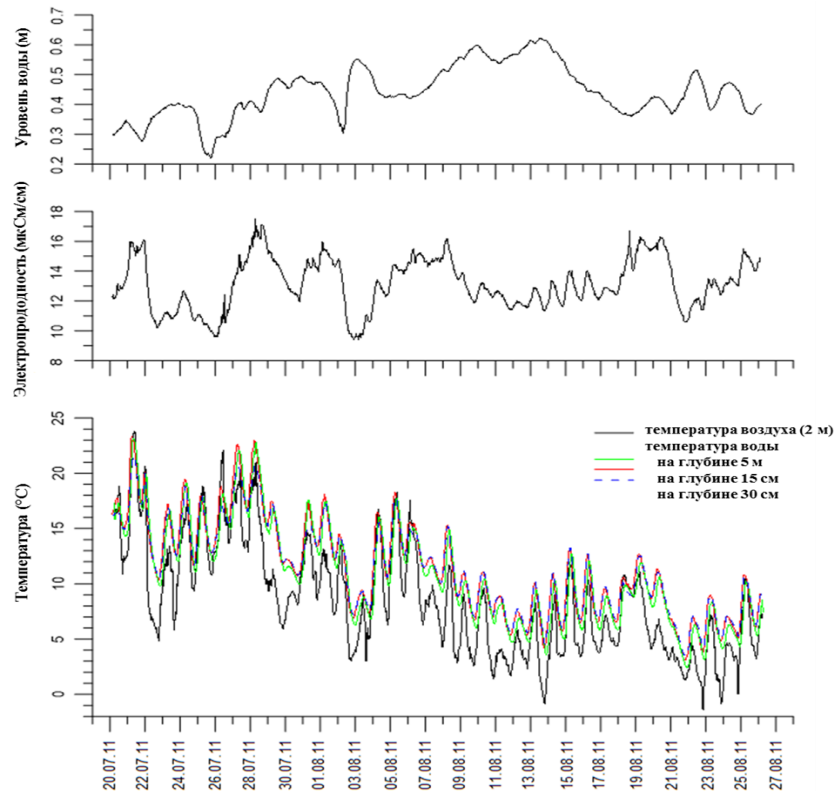


Рисунок 3.1.1.6 – Динамика изменения T_a и T_b и электропроводности на участке IP-1

Данные по почве. Данные, полученные из датчиков влажности почвы, показаны на рисунке 3.1.1.7 Они представляют в основном изменение показателей влажности при дифференциации в активном слое. Верхний датчик (на 12 см) показывает условия сухости, где прерваны некоторые краткосрочные изменения, которые указывают на внезапное увеличение поверхностной влаги (за счет осадков). Они были также зарегистрированы как слабые сигналы на датчиках из глубокой части почвы.

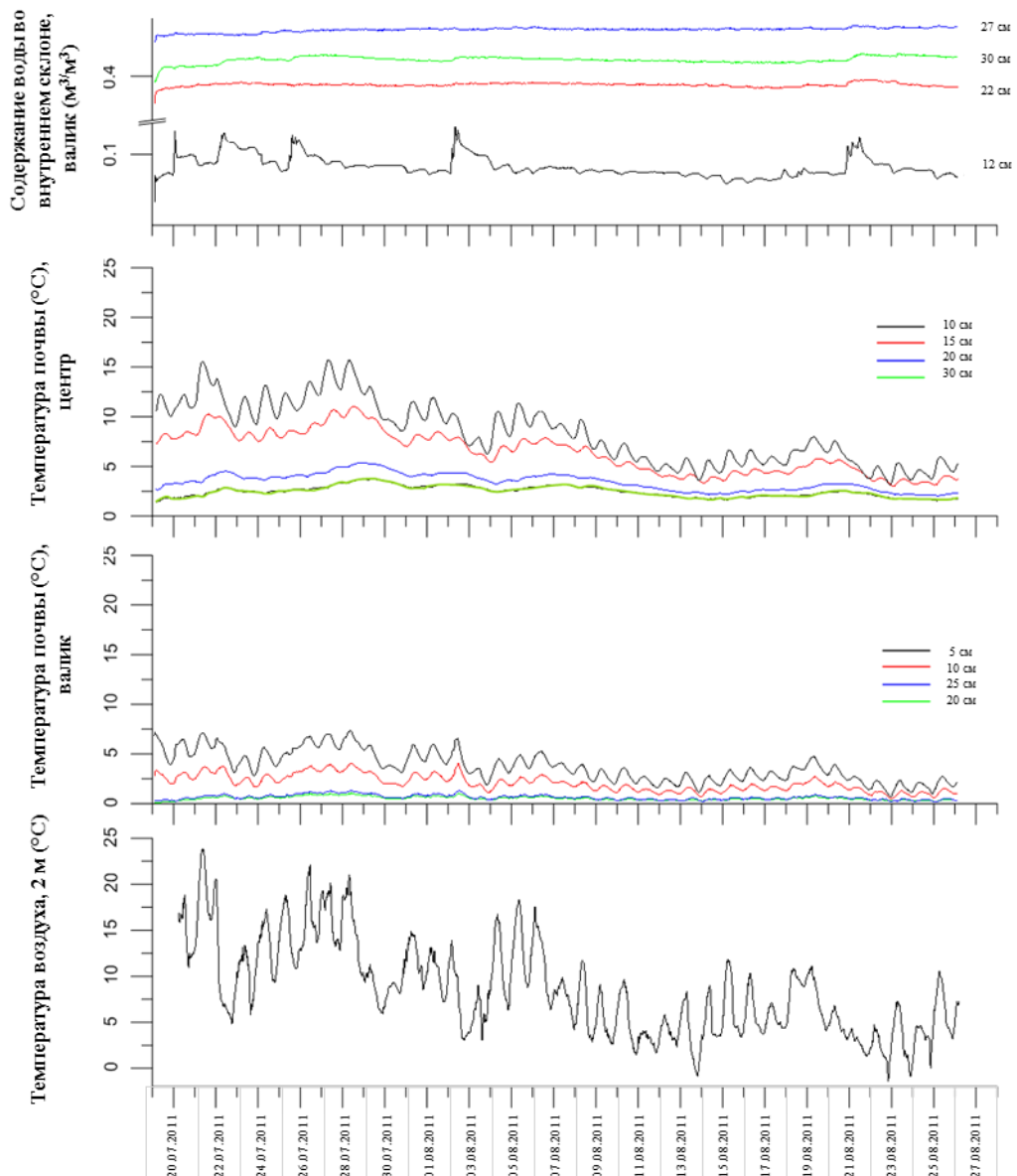


Рисунок 3.1.1.7 – Изменение T_a и наземных температур и влажности почвы в центре двух полигонов (с 19 июля до 26 августа 2011 г.)

Нижний датчик, который был расположен близко к границе многолетней мерзлоты, не реагировал на изменение показателей влажности в почве. Следовательно, для дальнейшей работы на мониторинговых участках следует учитывать эти моменты (Schirrmeister et al., 2014).

Записи температуры грунта, скорее, также связаны с температурой воздуха (рисунок 3.1.1.7). Наблюдается явная тенденция охлаждения к концу сезона. Кроме того, присутствует термическая дифференциация активного слоя (см. рисунок 3.1.1.6, 3.1.1.7). Основные пики и провалы следуют за температурой воздуха даже в самой низкой и холодной части активного слоя. По сравнению с записью датчика близкой к границе многолетней мерзлоты термическая дифференциация в полигональной депрессии более отчетлива в нижней части и демонстрирует более широкий диапазон температур.

Данные, полученные с помощью датчиков влажности почвы, не характеризуются значительной закономерностью. Они представляют собой в основном постоянную дифференциацию влажности в активном слое. Верхний датчик показывает самые сухие условия, прерываемые некоторыми кратковременными событиями, которые указывают на резкое увеличение поверхностной влажности (осадки). Они также были зарегистрированы в виде более слабого сигнала на более глубоких участках. Самый нижний датчик (на 30 см), который был расположен близко к уровню многолетней мерзлоты, не измерял наибольшее содержание воды. Оно было зарегистрировано вторым самым низким датчиком, расположенным на три сантиметра выше, и совпадает с данными полевых наблюдений.

3.1.2 Распределение диатомовых водорослей в фитопланктоне водоёма IP-1

По результатам мониторингового исследования водоёма IP-1 в фитопланктоне за период наблюдения (с 19.07 по 24.08.2011) был зафиксирован 41 вид (в т. ч. 1 разновидность) диатомей, относящихся к 16 родам, 13 семействам и двум классам отдела Bacillariophyta (см. Приложение 1). Из них самый многочисленный класс Bacillariophyceae включает 39 видов из 41 (что составляет 95 % от всей флоры), класс Coscinodiscophyceae состоит лишь из одного рода *Aulacoseira*, представленного двумя видами (*A. distans* и *A. sp.*). В диатомовом комплексе преобладают виды (13 видов и одна разновидность) рода *Eunotia*, что составляет 34,1 % от общего количества видов. Затем роды *Neidium* и *Pinnularia*, представлены четырьмя видами, а роды *Gomphonema* и *Stauroneis* имеют по три вида. Остальные (68,8 %) относятся к родам с одним-двумя видами.

Комплексы массовых форм (более 5 %), выявленные с применением процентного соотношения от общей численности встреченных створок (клеток) диатомей, насчитывают 11 видов, в том числе доминанты представлены шестью видами, субдоминанты пятью видами (таблица 3.1.2.1, рисунок 3.1.2.1). Из них только *Eunotia bilunaris* и *Tabellaria flocculosa* занимали первые ранговые места во всех исследованных пробах, варьируя от 8,5 до 23 % и от 15 до 30 % соответственно.

Эпифитный вид *Eunotia bilunaris* максимального развития достиг на 24 июля, 01 и 13 августа (IP1-2, IP1-4, IP1-7). Вид имеет широкое географическое распространение и среду обитания в эпифитных и эпилитных участках (Furey et al., 2011), водно-болотных угодьях (Burge, 2014), озёрах (Antoniades et al., 2008) и реках Квебека-Лабрадора (Fallu et al., 2000).

Таблица 3.1.2.1 – Изменение массовых видов диатомей в фитопланктоне водоёма IP-1 в период наблюдений.

Точки/дни отбора проб фитопланктона		Доминанты, более 10 %				Субдоминанты, менее 5 %					
IP1-1	19.07.2011	<i>Pinnularia brevicostata</i> *		<i>Eunotia bilunaris</i> **	<i>Tabellaria flocculosa</i>		<i>Rhopalodia gibba</i>		<i>Eunotia paludosa</i>		
IP1-2	24.07.2011						<i>Stauroneis phoenicenteron</i>			<i>Eunotia septentrionalis</i>	
IP1-3	28.07.2011										
IP1-4	01.08.2011						<i>Pinnularia brevicostata</i>	<i>Sellaphora pupula</i>	<i>E. paludosa</i>	<i>E. septentrionalis</i>	
IP1-5	05.08.2011	<i>Pinnularia brevicostata</i>				<i>Eunotia paludosa</i>	<i>S. phoenicenteron</i>				
IP1-6	09.08.2011		<i>Stauroneis phoenicenteron</i>					<i>Neidium ampliatum</i>	<i>Pinnularia subcapitata</i>		
IP1-7	13.08.2011							<i>P. brevicostata</i>	<i>Pinnularia subcapitata</i>	<i>E. minor</i>	<i>E. septentrionalis</i>
IP1-8	17.08.2011						<i>Eunotia septentrionalis</i>			<i>E. paludosa</i>	
IP1-9	21.08.2011								<i>P. subcapitata</i>		
IP1-10	25.08.2011	<i>Pinnularia brevicostata</i>									<i>E. septentrionalis</i>

*Примечание: Желтым цветом отмечены донные формы, ** зеленым – эпифитные формы диатомей

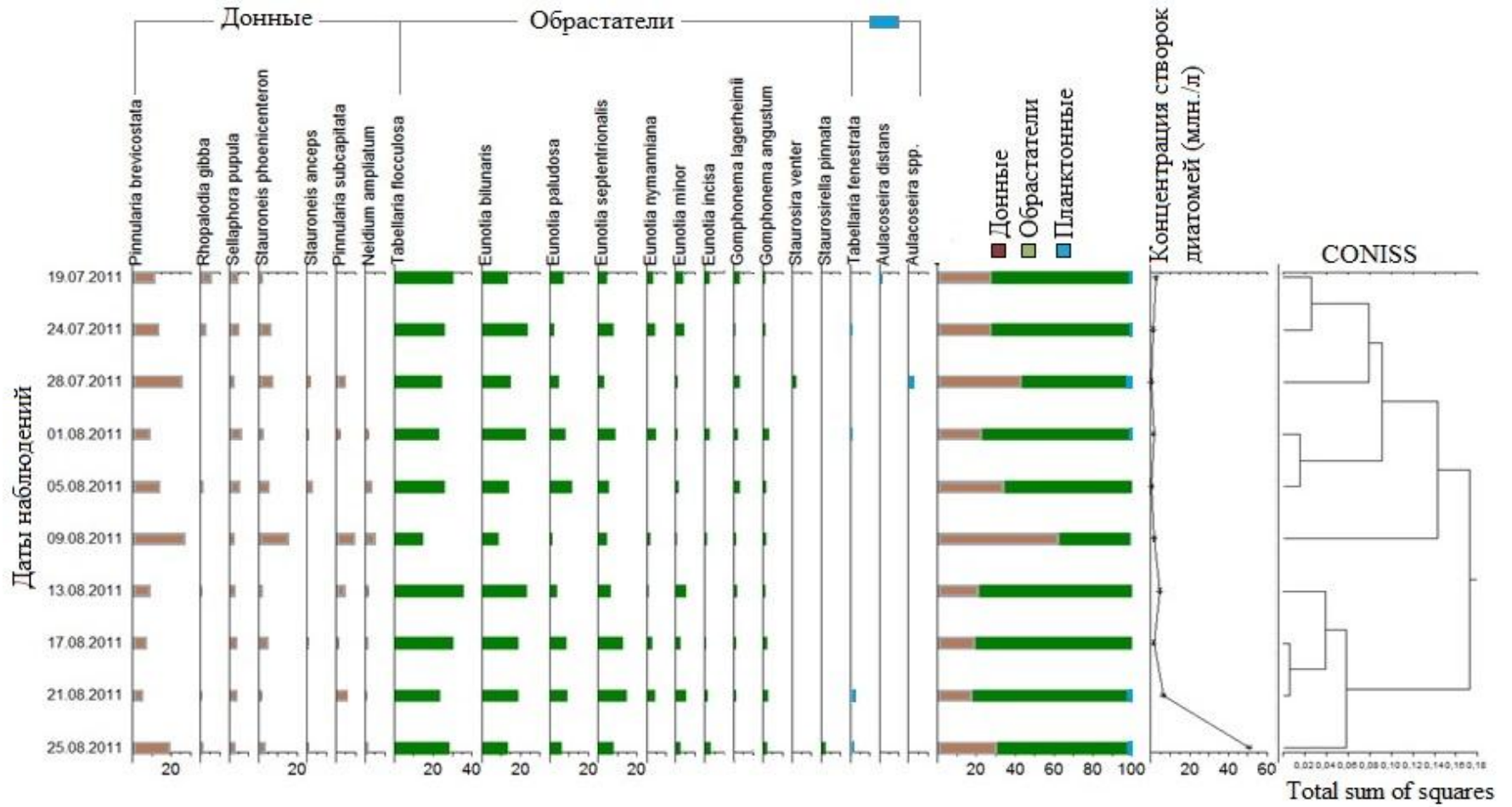


Рисунок 3.1.2.1 – Массовые виды диатомей в водоёме IP-1 за период наблюдения (2011 г.)

В Европе *E. bilunaris* встречается в умеренно дистрофных водах с повышенным содержанием сульфатов (Alles et al., 1991). В якутских озёрах *E. bilunaris* встречается повсеместно (Пестрякова, 2008б).

Второй вид *Tabellaria flocculosa* максимального развития в мониторинговом водоёме достигает в начале (19 июля) и почти в конце (17 августа) наблюдения. При этом вид абсолютно доминирует и по численности (по количеству створок в 1-м литре воды). *T. flocculosa* – типичный представитель для торфяных болот, сфагнофил, эвритермный, олигосапробный, ацидофильный вид, часто встречается на орошаемых скалах и в моховых подушках. Широко распространен на Севере и в горах (Определитель..., 1951). В Якутии вид встречается во всех природных зонах, но абсолютно доминировал в арктических, субарктических и в горных озёрах (Пестрякова, 2008б). Виды *Pinnularia brevicostata* (27 % в IP1-6), *Stauroneis phoenicenteron* (16 % в IP1-6), *Eunotia paludosa* (11 % в IP1-5), *E. septentrionalis* (15 % в IP1-9) являются доминантами и субдоминантами в большинстве исследованных проб.

Полученные количественные данные по экологическим предпочтениям местообитаний в мониторинговом водоёме показывают, что в изученных диатомовых комплексах за весь период наблюдения количество видов обрастателей значительно преобладает над донными формами (от 37 до 80 % и 18 до 63 %, соответственно) (рисунок 3.1.2.2). Участие планктонных диатомей в полигоне не значительно.

По системе галобности Кольбе (Прошкина-Лавренко, 1953) состав флоры водоёма в подавляющем большинстве является ультрапресноводным, со значительным преобладанием индифферентов (61 %), предпочитающих воды с содержанием солей 0,2-0,3 ‰. К этой группе относятся большинство массовых диатомей. Среди них виды: *Eunotia bilunaris*, *E. minor*, *Pinnularia brevicostata*, *P. subcapitata*, *Stauroneis phoenicenteron*, *Rhopalodia gibba*. Также отмечено значительное участие галофобов (15 %): *Neidium ampliatum*, *N. iridis*, *Eunotia monodon*, *E. praerupta*, *Tabellaria flocculosa*, *T. fenestrata*. Группа галофилов представлена всего двумя видами: *Sellaphora pupula* и *Eunotia paludosa*.

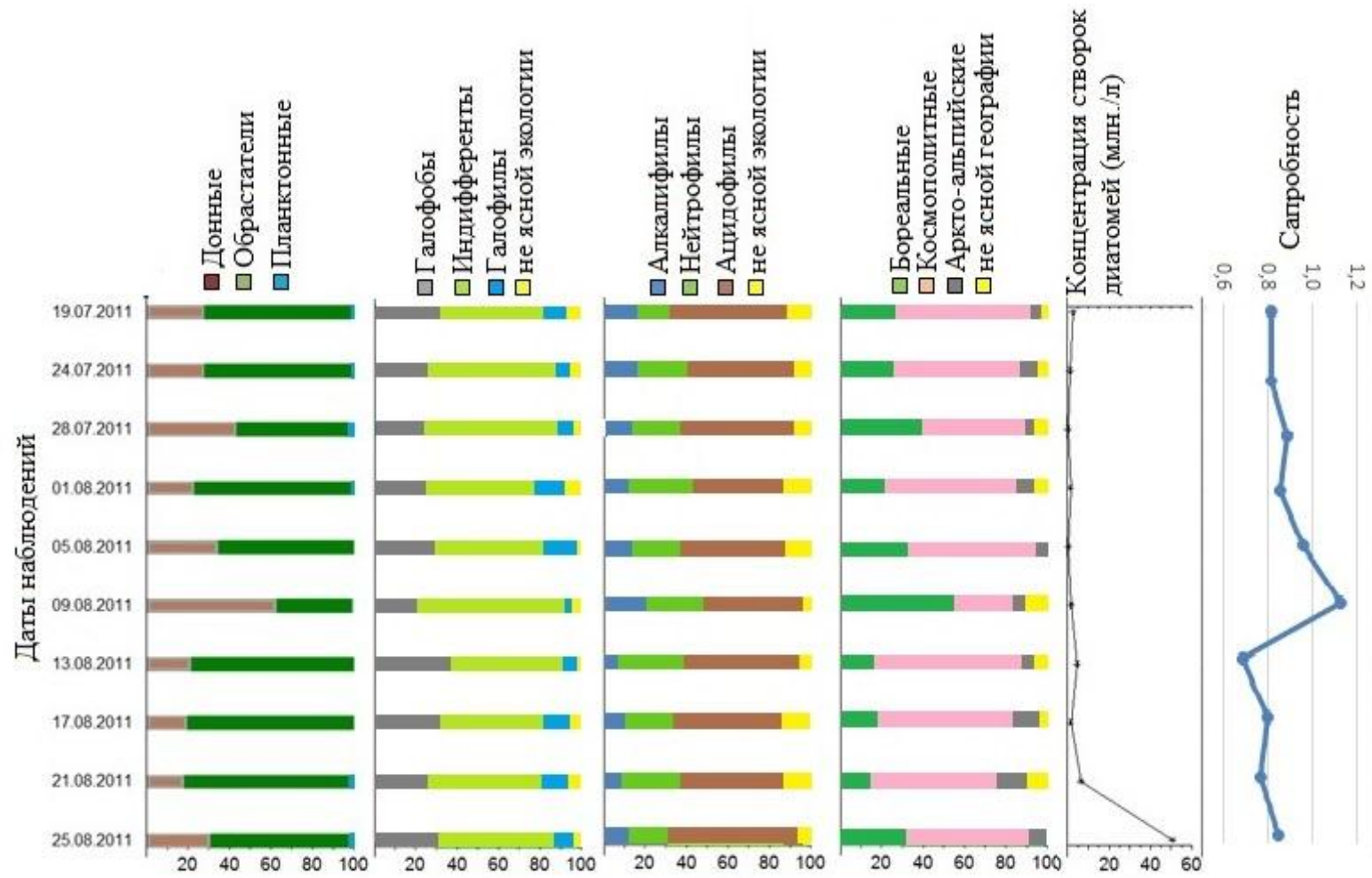


Рисунок 3.1.2.2 – Изменение эколого-географических показателей (%) диатомей, их концентрация и интегральный индекс сапробности в водоёме IP-1 за период наблюдения 2011 г.

По отношению к рН воды наиболее широко во флоре представлена группа ацидофилов, к которым относятся 14 видов (34,1 %). Из них наиболее многочисленны в количественном выражении за период наблюдения следующие: *Eunotia bilunaris*, *E. minor*, *E. septentrionalis*, *Pinnularia brevicostata* и *Tabellaria flocculosa*.

Участие нейтрофилов выражено 10 видами (24,4 %). Алкалифильная группа содержит 8 видов (*Amphora ovalis*, *Encyonopsis cesatii*, *Gomphonema angustum*, *Navicula cryptocephala*, *Sellaphora pupula*, *Stauroneis phoenicenteron*, *Staurosira venter*, *Staurosirella pinnata*). Отношение к рН не установлено для 7 таксонов (17 %): *Aulacoseira sp.*, *Cymbopleura tynni*, *Encyonema paucistriatum*, *Eunotia denticulata*, *E. flexuosa*, *E. nymanniana*, *E. paludosa*. Все перечисленные таксоны встречаются с частотой «единично» и «обычно», кроме *E. paludosa* (от 1,1 до 11 %).

В составе географических элементов флоры около 46,3 % составляют космополиты, широкого температурного предпочтения. В период наблюдения в фитопланктоне они достигали от 29 до 71 %. Из числа массовых – обростатели *Eunotia bilunaris*, *E. paludosa* и *Tabellaria flocculosa*. Остальные виды этой группы встречены «единично» и «часто». Довольно многочисленны во флоре бореальные виды, но они значительно уступают в количественном отношении. Пик роста для данной группы отмечен с 8 по 9 августа 2011 г., что, вероятно, связано с относительным повышением T_a .

Группа арктоальпийских диатомей в водоёме IP-1 представлена всего тремя таксонами (7,3 %): *Cymbopleura tynni*, *Eunotia denticulata* и *E. septentrionalis*.

С целью определения качества воды исследуемых озёр произведены расчеты индексов сапробности с использованием 41 вида диатомей-индикаторов сапробности. Из них 9 видов характеризуют олигосапробную зону, 5 – бета-мезосапробную, 4 – ксеносапробную и 1 – альфа-мезосапробную. Расчетные индексы сапробности по диатомеям для изученных озёр колеблются от 0,6 до 1,1, т. е. по уровню загрязненности относятся к I классу «очень чистым» и II классу качества вод «чистым». При этом относительно высокий индекс сапробности был отмечен на 09.08, когда все измеренные параметры воды были высокими.

В целом таксономический и эколого-географический анализы диатомового комплекса фитопланктона полигонального водоёма IP-1 показали, что изученное сообщество является довольно бедным и характерно для ультрапресных кислых вод дистрофного типа.

Также следует отметить, что состав доминирующего ДК полигонального водоёма IP-1 с преобладанием «пионерных» видов «фрагиляриевых» и обилие видов *Eunotia*, предпочитающих кислую среду, аналогичен нижним слоям донных отложений (начальный этап развития) озёр Якутии в голоцене и позднем плейстоцене (Pestryakova et al., 2012).

3.1.3 Связи между абиотическими параметрами и диатомовыми комплексами водоёма IP-1

Концентрация створок диатомей в воде водоёма IP-1 в период наблюдения менялась от 0,3 до 50,9 млн/мл.

Анализ сравнения соотношений между концентрацией створок диатомей в фитопланктоне с физическими параметрами воды (температурой воды, pH, удельной электропроводностью и концентрацией кислорода) модельного водоёма, измеренные в полевых условиях при помощи логгеров, приведен на рисунке 3.1.3.1.

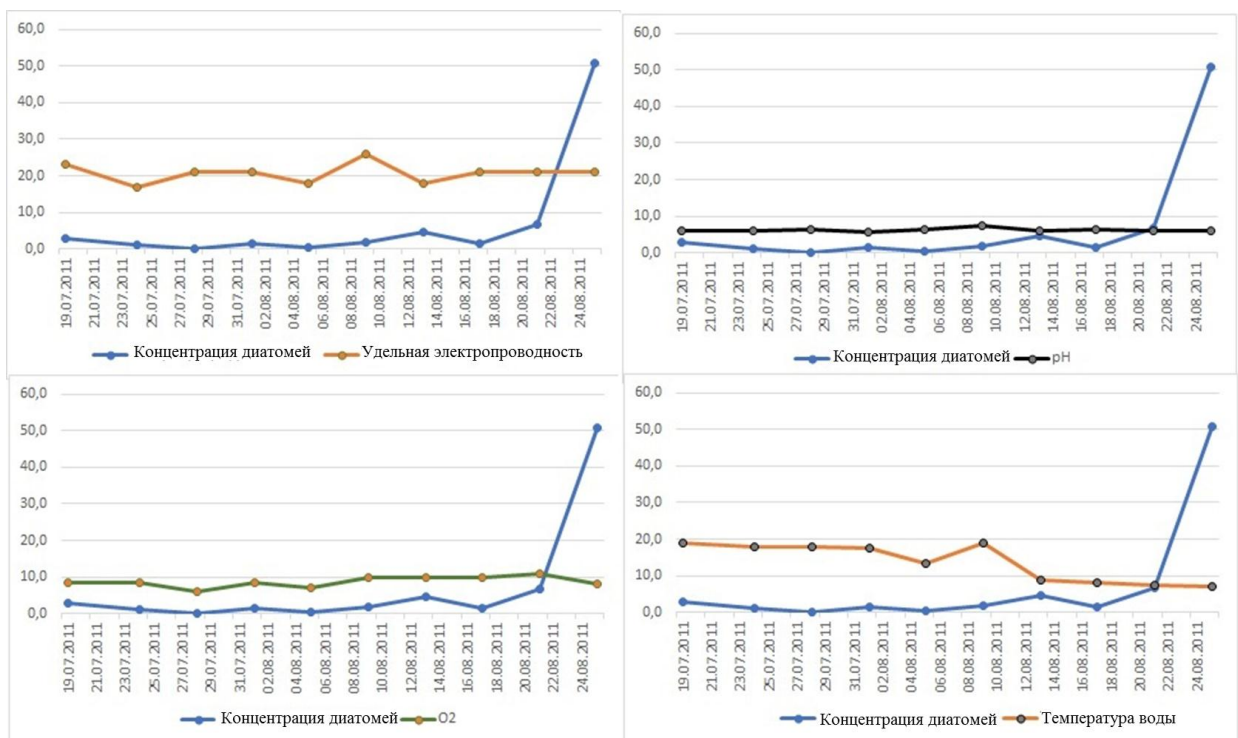
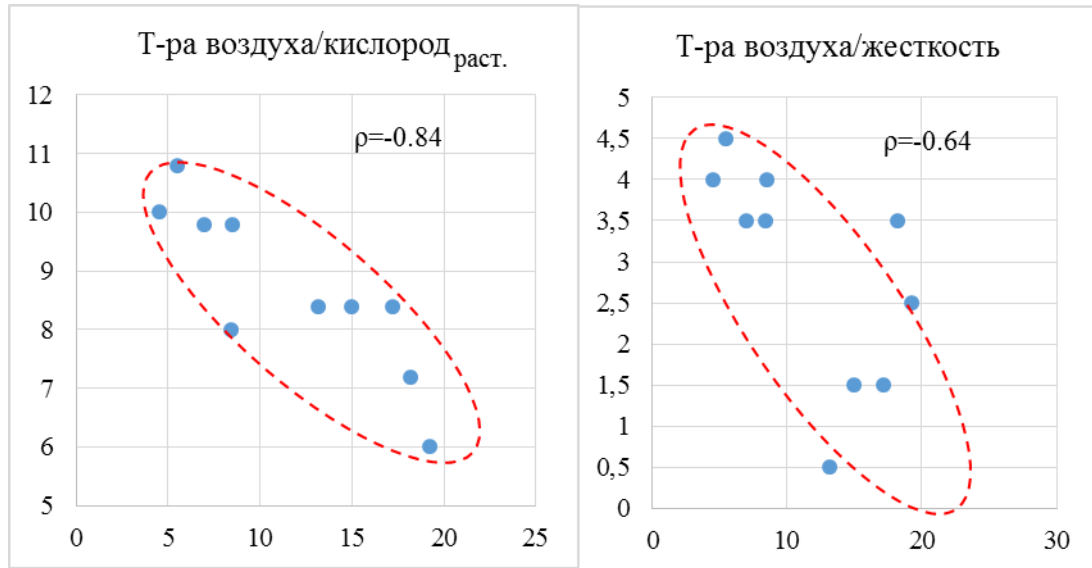


Рисунок 3.1.3.1 – Соотношение физических параметров воды с концентрацией диатомовых водорослей в водоёме IP-1

Судя по графикам, все измеренные показатели достаточно равномерно соотносятся между собой. Можно увидеть, что значение концентрации створок относительно хорошо реагирует на изменение температуры воды – с уменьшением показателя температуры увеличивается количество зарегистрированных створок. Это может говорить о том, что в полигональных водоёмах Арктики обитают преимущественно холодноводные виды, при температуре воды 7,2 °C (одно из

минимальных значений по всей выборке) концентрация створок достигла значения 50,9 млн/л, в то время как при максимально высоком значении температуры до 19 °С концентрация створок была равна 2,8 и 1,8 млн/л.

Температура воздуха (T_a) в месте расположения мониторингового водоёма обнаруживает отрицательные взаимосвязи с концентрацией кислорода ($K_{\text{раст.}}$) и общей жесткостью ($J_{\text{общ.}}$) воды (рисунок 3.1.3.2).

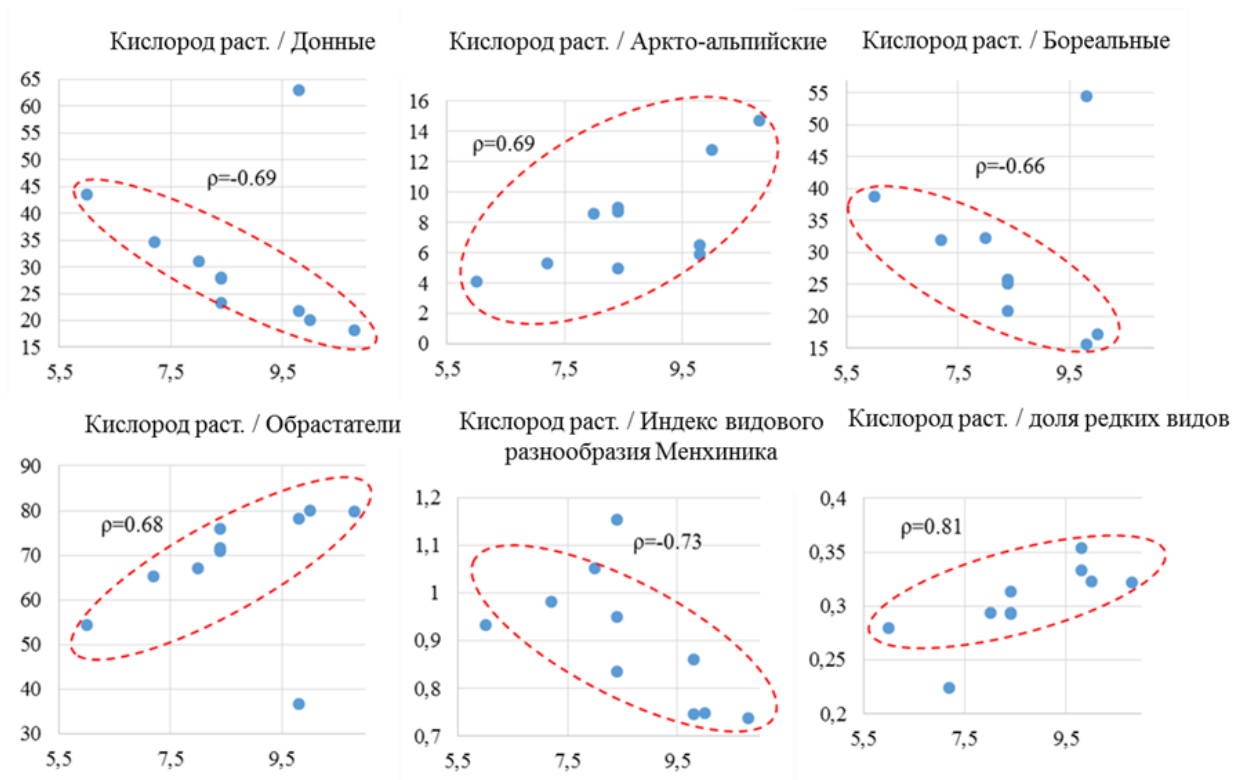


***Примечание:** ρ – коэффициент ранговой корреляции Спирмена; температура в °С; кислород – мг/л; общая жесткость – мг-экв/л.

Рисунок 3.1.3.2 – Взаимные связи T_a с $K_{\text{раст.}}$ и общей жесткостью воды в воде водоёма IP-1

Возрастание T_a сопровождается закономерным снижением концентрации $K_{\text{раст.}}$ в воде. Данная закономерность является естественной, так как при повышении T_a , возрастает температура воды (T_v), в результате чего снижается растворимость кислорода в воде. Также кислород расходуется на процессы жизнедеятельности организмов, которые более интенсивно протекают в теплое время года.

Значительное количество взаимосвязей обнаружено между концентрацией $K_{\text{раст.}}$ и некоторыми эколого-географическими характеристиками диатомовых комплексов (рисунок 3.1.3.3).



***Примечание:** кислород – мг/л; группы диатомей – %.

Рисунок 3.1.3.3 – Взаимные связи растворенного кислорода в воде с эколого-географическими показателями диатомей водоёма IP-1

В частности, рост концентрации $K_{\text{раст.}}$ сопровождается сокращением доли донных диатомей, что, вероятно, объясняется усилением процессов жизнедеятельности эпифитных организмов (обрастателей) и снижением прозрачности воды, необходимой для благополучного развития донных форм. Рост содержания $K_{\text{раст.}}$ также приводит параллельно к снижению бореальных форм, что объясняется тем, что большая часть особей донных диатомей являются бореальными таксонами, предпочитающими умеренный температурный режим.

Сильная корреляционная связь присутствует между двумя указанными экологическими группами водорослей. Рост концентрации $K_{\text{раст.}}$ сопровождается возрастанием арктоальпийских диатомей, предпочитающих холодноводную среду. В то же время снижение донных в условиях пониженной прозрачности (высокого кислорода) будет являться благоприятным условием для арктоальпийских диатомей, представленных, главным образом, обрастателями (*Eunotia septentrionalis*, *E. denticulata* и *Cymbopleura tynni*).

Возрастание $K_{\text{раст}}$ сопровождается также сокращением индекса разнообразия Менхиника (D_{mn}) и возрастанием доли редких видов (h), что свидетельствует о тенденции на сокращение общего числа видов диатомей и общего количества отмечаемых особей диатомей при возрастании его концентрации.

Относительно высокая численность бореальных диатомей сопровождается сокращением обилия космополитов и арктоальпийских групп (рисунок 3.1.3.4). При этом значительная часть особей бореальных форм представлена донными алкалифилами и бета-мезосапробными диатомеями. Возрастание процентного обилия бореальных форм ведет к увеличению индекса сапробности воды исследуемых водных объектов.

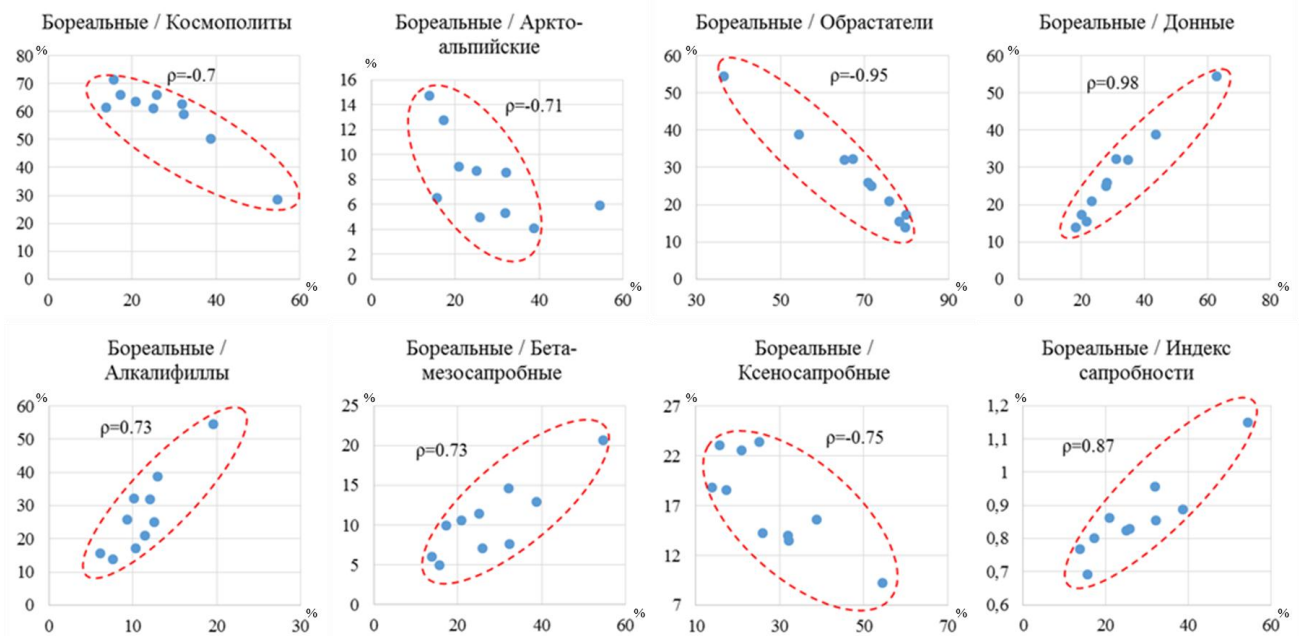


Рисунок 3.1.3.4 – Взаимные связи бореальных диатомей с иными экологическими группами

Космополитные особи диатомей в значительной степени представлены обрастателями и галофобами, предпочитающими олигосапробные условия (рисунок 3.1.3.5).

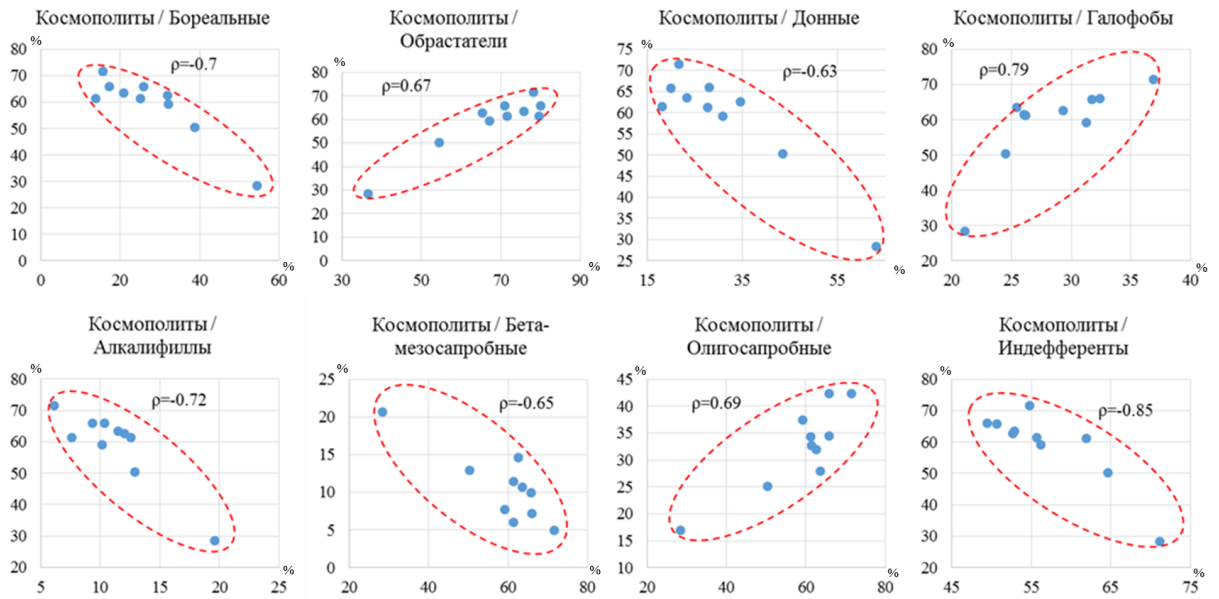


Рисунок 3.1.3.5 – Взаимные связи космополитов с иными экологическими группами

В целом изменение концентрации $K_{\text{раст.}}$ в воде сопровождается значительными сдвигами состава диатомовых комплексов исследуемого водоёма IP-1. При этом наиболее вероятным является не непосредственное влияние зафиксированной концентрации кислорода на состав сообществ диатомей, а ее изменение параллельно факторам, оказывающим прямое воздействие на водоросли отдела *Vacillariophyta*.

Таким образом, концентрация $K_{\text{раст.}}$ объединена корреляционной связью с T_a , которая оказывает влияние на температурные условия водоёма, также связана с другими климатическими и гидрохимическими параметрами.

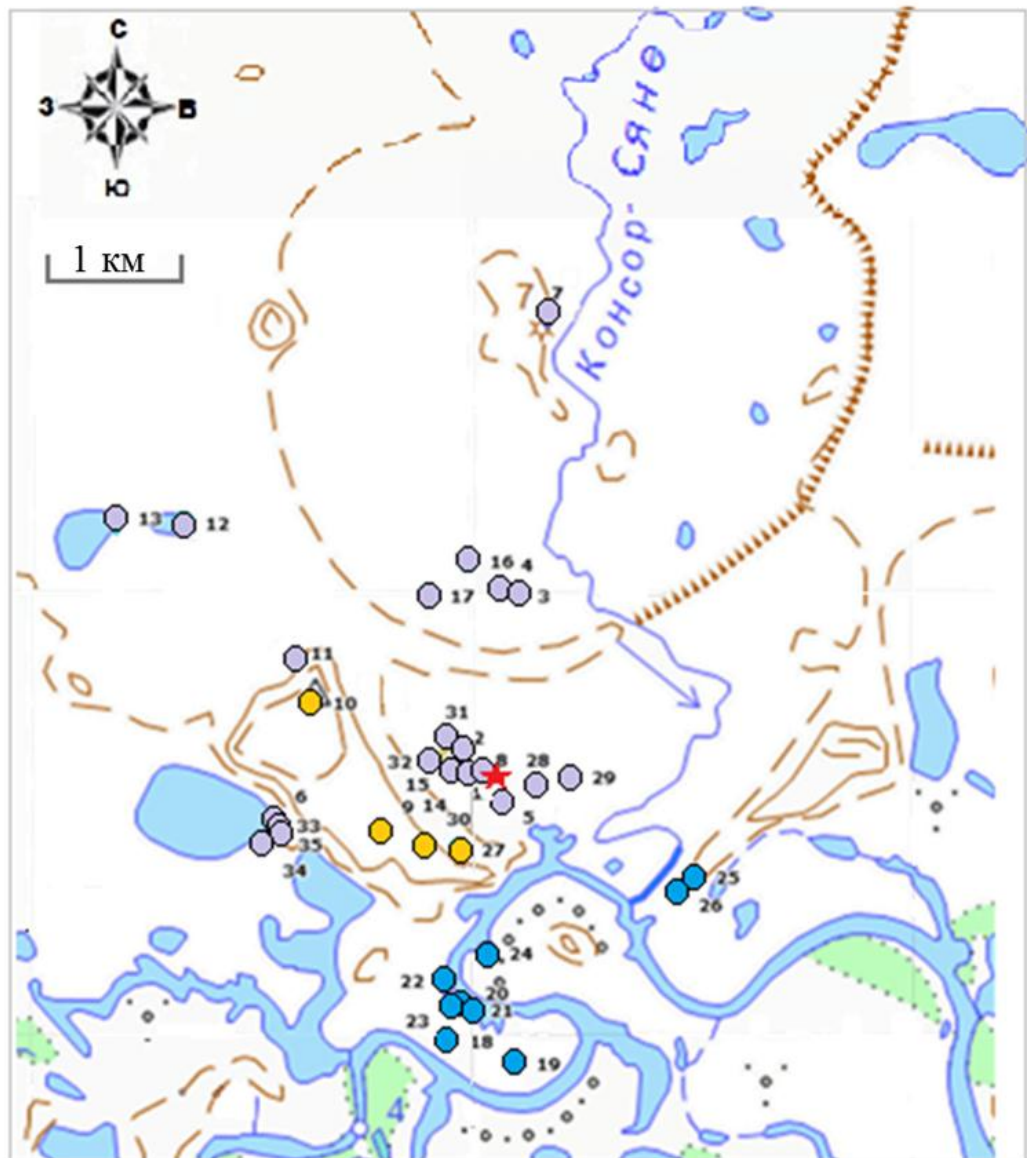
3.2 Морфометрические и гидрохимические параметры водоёмов участка (полигона) Кыталык

Мониторинговый участок (далее полигон) Кыталык ($70^{\circ}49'35.83''$ с.ш., $147^{\circ}29'18.82''$ в.д.; Н абс. – 5 м). Государственный природный заказник (изначально ресурсный резерват) Кыталык был образован на территории Аллаиховского улуса постановлением Правительства Республики Саха №337 от 12 августа 1996 года. Площадь заказника составляет 1607 тыс. га (Постановление ..., 1996). Ресурсный резерват (РР) был создан при поддержке WWF–Германия с целью защиты восточной популяции стерха – сибирского белого журавля. Сибирский белый журавль – редкий исчезающий вид, отсюда название резервата Кыталык. РР был создан также для сохранения других видов редких и хозяйственно важных животных, среды их обитания, а также обеспечения развития традиционного природопользования для коренных народов севера. На территории резервата обитает свыше 120 видов позвоночных животных и 90 видов птиц. В категорию государственного природного заказника Республики Саха (Якутия) резерват был переведен в 2014 году в соответствии с Федеральным законом от 14 марта 1995 г. №33-ФЗ «Об особо охраняемых природных территориях», Законом Республики Саха (Якутия) от 1 марта 2011 г. 910-3 №352 «Об утверждении Типового положения о государственных природных заказниках Республики Саха (Якутия)», в целях сохранения природных комплексов в естественном состоянии, поддержания экологического баланса (Постановление..., 2015).

Объектами нашего исследования послужили водоёмы полигона Кыталык. Формы рельефа участка представлены поймами и террасами; едомами, представленными плейстоценовыми ледовыми комплексами; аласами с первоначальными и вторичными термокарстовыми озёрами, образовавшимися в позднеледниковье, которые в течение голоцена были связаны с формированием аласных комплексов (Schirrmeister et al., 2012) (рисунок 3.2.1).

Территория расположения исследуемых водоёмов находится на Нижнеиндигирской озёрно-термокарстовой провинции сплошного

распространения ММП в пределах типичной подзоны тундровой зоны Северо-Восточной Сибири (Мерзлотные ландшафты..., 1989). Высота над уровнем моря составляет 5 м по всей территории исследования, мощность СТС достигает 0,6 м. Вокруг и на территории полигона Кыталык характерны бугры пучения – булгуняхи высотой 5-7 м, едомы и аласные депрессии.



Условные обозначения:

- | | |
|-----------------|------------------------------|
| ○ водоёмы Аласа | ★ мониторинговый участок IP1 |
| ● водоёмы Едомы | 31 – номер водоёма |
| ● водоёмы Поймы | |

Рисунок 3.2.1 – Карта-схема мониторинговых исследований водоёмов полигона Кыталык

Морфометрические показатели исследованных водоёмов приведены в таблице 3.2.1. Площадь водного зеркала для всех водоёмов полигона Кыталык очень маленькая, достигая максимальных размеров 50 x 39 м за счет аласных (до 1,5 м²) и пойменных озёр (до 1,96 м²), а водоёмы на едомных возвышенностях значительно меньше (до 13,5 x 10 м). Исследованные водоёмы по длине береговой линии и максимальных глубин особо не отличаются. Глубина для таких водоёмов относительно небольшая, что типично для тундры.

Таблица 3.2.1 – Морфометрические параметры водоёмов полигона Кыталык

Форма рельефа	Алас (n=35)	Едома (n=7)	Пойма (n=9)
Форма и тип водоёмов	A-I*, A-II, A-III, A-IV, A-V	E-VI	II-I, II-II, II-VII
Длина (м)	<u>7,6 – 50,1</u> 21,2	<u>5,9 – 13,5</u> 9,1	<u>7,0 – 50,0</u> 18,3
Ширина (м)	<u>5,5 – 30,0</u> 12,8	<u>1,5 – 10,0</u> 4,7	<u>4,0 – 39,2</u> 12,4
Максимальная глубина (м)	<u>0,1 – 0,8</u> 0,4	<u>0,2 – 0,6</u> 0,4	<u>0,1 – 0,7</u> 0,4
Длина береговой линии, км	<u>0,02 – 0,2</u> 0,1	<u>0,02 – 0,2</u> 0,1	<u>0,02 – 0,2</u> 0,1
Показатель удлиненности, м	<u>0,5 – 4,8</u> 1,7	<u>1,1 – 6,8</u> 2,9	<u>1,2 – 2,5</u> 1,6
Развитие (изрезанность) береговой линии	<u>0,4 – 4,1</u> 1,4	<u>1,1 – 8,3</u> 2,8	<u>0,2 – 4,9</u> 1,6
Площадь водного зеркала, м ²	<u>0,1 – 1,5</u> 0,3	<u>0,02 – 0,11</u> 0,04	<u>0,04 – 1,96</u> 0,37
Расстояние от моря с Ю на С, км	<u>167,0 – 173,0</u> 170,8	<u>169,0 – 173,7</u> 170,8	<u>171,0 – 172,0</u> 171,8
Ближайшее расстояние до Восточно-Сибирского моря, км (по прямой линии)	<u>122,0 – 142,7</u> 125,3	<u>125,0 – 126,0</u> 125,1	<u>124,0 – 126,0</u> 125,6
Ближайшее расстояние до реки Бёрёлёх, км	<u>0,4 – 4,1</u> 1,6	<u>0,3 – 1,9</u> 1,0	<u>0,1 – 0,2</u> 0,1
СТС (см)	<u>12 – 65</u> 28,3	<u>19 – 40</u> 31,6	<u>45 – 55</u> 50,2

***Примечание:** А-I и II-I – водоёмы внутрполигональные, А-II и II-II – водоёмы межполигональные в понижениях над протаивающими ПЖЛ, А-III – водоёмы сложные межполигональные в понижениях над протаивающими ПЖЛ, А-IV – водоёмы на деградирующих полигонально-валиковых образованиях ПЖЛ, А-V – остаточное термокарстовое озеро, E-VI – водоёмы на первичных термокарстовых западинах, II-VII – пойменные термокарстово-эрозионные озёрки. Здесь жирным текстом и серым цветом отмечены максимальные значения по выборке.

По показателю удлиненности большинство водных объектов отнесены к водоёмам округлой формы (62 %), по степени развития (изрезанности) береговой линии абсолютно доминировали круглые водоёмы (82 %). Преобладание таких форм закономерно, так как она напоминает одну из ячеек полигонально-жильной структуры, а две другие формы (близкая к овальной и овально-удлиненная) в сумме занимали всего 12 %. Они, как правило, характерны для водоёмов, заполняющих межполигональные трещины повторно-жильных льдов (Ядрихинский, 2017) (таблица 3.2.2, 3.2.3). Обычно для районов с континентальным климатом размеры сторон полигонов составляют от 0,5-2 до 10-12 м; для менее континентальных условий – 20-40 м, а иногда 50-80 м. При этом в однородных породах образуются гексагональные (шестигранные) и ортогональные (прямоугольные) системы трещин, в неоднородных – ортогональные. Трещины глубоко проникают в мерзлые породы, их глубина может достигать 3—4 м и более. Ширина трещин на поверхности обычно не превышает 5—10 см (Романовский, 1977).

Таблица 3.2.2 – Формы водного зеркала водоёмов полигона Кыталык (по С.В. Григорьеву)

Форма водоёма	Водоёмы (n)
Круглая ($K_y=1$)	–
Округлая ($K_y < 1,5$)	32
Близкая к округлой ($K_y=1,5-3,0$)	13
Близкая к овальной ($K_y=3,0-5,0$)	4
Овально-удлиненная ($K_y=5,0-7,0$)	2
Удлиненная ($K_y=7,0-10,0$)	–

Таблица 3.2.3 – Степень развития береговой линии (по С.В. Григорьеву)

Береговая линия	Водоёмы (n)
Круглое озеро ($K_n < 2$)	42
Слабоизрезанные ($K_n 2,0 - 6,0$)	8
Среднеизрезанные ($K_n 6,1 - 9,0$)	1
Сильноизрезанные ($K_n > 9,1$)	–

По введенным нами дополнительным параметрам (расстояние от водоёма до ближайшего Восточно-Сибирского моря и до Бёрёлёх) для водоёмов едомы и

поймы существенных различий нет. А аласные (верхний алас) водоёмы оказались, особенно по максимальным значениям чуть дальше.

Гидрохимические параметры и прозрачность воды. Все 35 водоёмов характеризуются 100 % прозрачностью. Водородный показатель (рН) варьирует от 4,4 до 7,9 по всей выборке, при этом большинство водоёмов, приуроченных к едомным возвышенностям, характеризуются слабокислой и кислой средами со средним значением 5,8, а водоёмы аласа и поймы – от слабокислой до слабощелочной и нейтральной соответственно. Пониженные значения рН являются достаточно распространенным явлением на переувлажненных ландшафтах тундры севера Якутии (Пестрякова, 2009).

Общая жесткость воды в среднем составляет 0,4-0,5 мг-экв/л, все исследуемые водоёмы характеризуются очень мягкой (<1,5 мг-экв/л) и мягкой (<4 мг-экв/л) водой – 4.

Общая минерализация воды в среднем составляет от 20 до 31 мг/л, все водоёмы характеризуются слабоминерализованными водами. Это отражает то, что водоёмы являются достаточно молодыми и их водосборы находятся на переувлажненных (за счет низкой испаряемости) территориях. Главным источником их питания являются осадки, талая вода и низко минерализованные воды грунтовых льдов. Превышение приходной части составляющей водного баланса способствует поддержанию низкой минерализации. Показатель удельной электропроводности равен 32-47 мкСм/см в среднем, и схож с вариациями минерализации, т. к. напрямую связан с ней (таблица 3.2.4).

По классификации О. А. Алекина (Алекин, 1970) состав катионов и анионов представлен преобладанием в исследуемых водоёмах аласа вод класса сульфатных группы натриевых (48 %); едомы – класса сульфатных группы магниевых (33 %), группы натриевых (33 %); в водоёмах поймы реки класса гидрокарбонатных группы натриевых (71 %) (рисунок 3.2.2).

Таблица 3.2.4 – Гидрохимические параметры водоёмов полигона Кыталык

Форма рельефа	Алас (n=35)	Едома (n=7)	Пойма (n=9)
Тип водоёмов, количество	A-I*, A-II, A-III, A-IV, A-V	E-VI	II-I, II-II, II-VII
Прозрачность (м)	0,1 – 0,8 0,4	<u>0,2 – 0,6</u> 0,4	<u>0,1 – 0,7</u> 0,4
pH	4,4 – 7,9 6,4	<u>4,5 – 6,3</u> 5,8	<u>6,7 – 7,1</u> 6,9
Жесткость общая, мг-экв/л	0,1 – 2,1 0,5	<u>0,2 – 1,1</u> 0,5	<u>0,3 – 0,4</u> 0,4
Электропроводность (мкСм/см)	4,6 – 215,9 47,0	<u>19,0 – 58,5</u> 32,1	<u>38,5 – 52,6</u> 47,8
Минерализация, мг/л	3,0 – 140,3 30,5	<u>12,4 – 38,0</u> 20,8	<u>25,0 – 34,2</u> 31,1
Железо общ., мг/л	<u>0,2 – 3,3</u> 0,9	<u>0,7 – 1,2</u> 0,9	0,7 – 4,5 2,9
Кальций, мг/л	<u>0,1 – 25,0</u> 4,6	2,0 – 20,4 7,2	<u>3,5 – 4,8</u> 4,1
Магний, мг/л	0,4 – 9,9 2,8	<u>0,2 – 2,8</u> 1,8	<u>1,7 – 2,4</u> 2,1
Кремний, мг/л	<u>0,4 – 3,3</u> 1,4	1,4 – 3,3 2,4	<u>0,4 – 2,6</u> 1,7
Аммоний, мг/л	0,0 – 2,4 0,3	<u>0,0 – 0,04</u> 0,01	<u>0,02 – 0,03</u> 0,02
Сумма натрия и калия, мг/л	0,3 – 21,7 2,1	<u>0,9 – 14,3</u> 3,5	<u>1,0 – 1,5</u> 1,2
Фосфаты, мг/л	0,01 – 1,8 0,3	<u>0,1 – 0,3</u> 0,2	0,1
Гидрокарбонаты, мг/л	0,4 – 89,7 15,0	<u>2,9 – 13,0</u> 6,6	<u>10,8 – 20,0</u> 16,3
Сульфаты, мг/л	0,0 – 49,5 12,5	<u>3,4 – 15,4</u> 11,9	<u>5,3 – 7,7</u> 6,7
Хлориды, мг/л	0,01 – 4,4 0,5	<u>0,02 – 0,5</u> 0,2	<u>0,3 – 0,7</u> 0,6

**Примечание:* А-I и II-I – водоёмы внутриволигональные, А-II и II-II – водоёмы межполигональные в понижениях над протаивающими ПЖЛ, А-III – водоёмы сложные межполигональные в понижениях над протаивающими ПЖЛ, А-IV – водоёмы на деградирующих полигонально-валиковых образованиях ПЖЛ, А-V – остаточное термокарстовое озеро, E-VI – водоёмы на первичных термокарстовых западинах, II-VII – пойменные термокарстово-эрозионные озера. Здесь жирным текстом и серым цветом отмечены максимальные значения по выборке.

Вода исследованных водных объектов мониторингового участка Кыталык так же была охарактеризована по формуле, предложенной М. Г. Курловым (Курлов, 1928) и преобразованной И. Ю. Соколовым в 1970 году (Резников и др., 1970) с использованием средних значений концентраций главных ионов (рассчитано для 42 водоёмов). По данной формуле водоёмы аласа и едомы представлены водами сульфатными, натриевыми 20 и 33 %, соответственно, а водоёмы поймы сульфатно-гидрокарбонатным классом группы магниевых-

кальциевых вод (71 %). Список свойств химического состава каждого водоёма размещен в таблице 3.2.5.

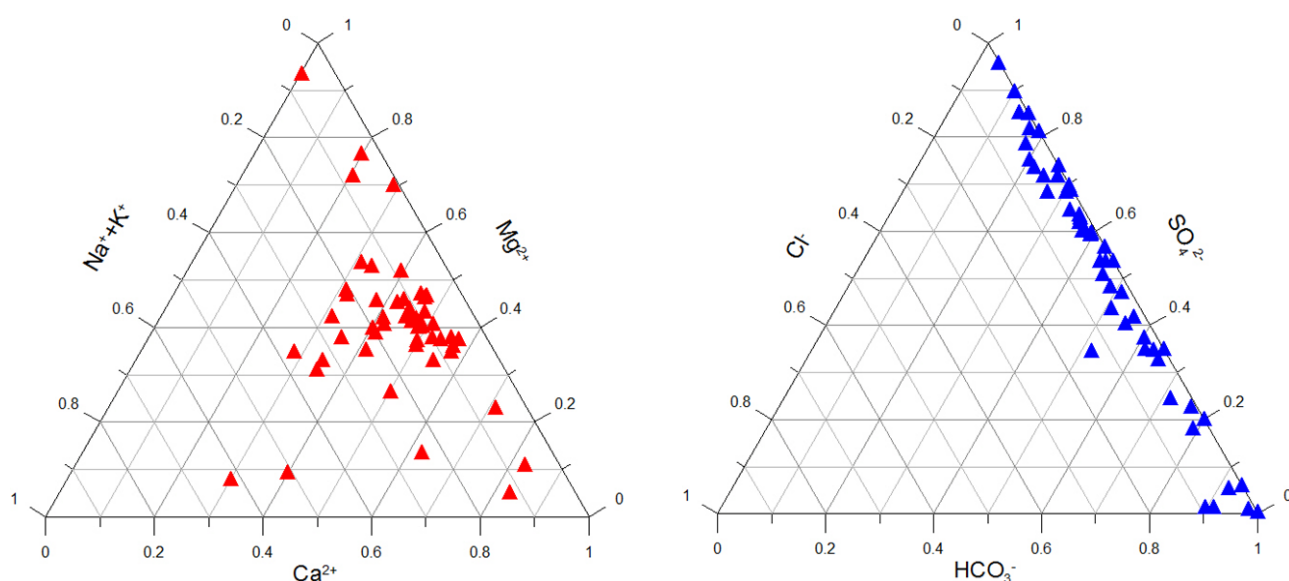


Рисунок 3.2.2 – Главные ионы воды изученных водоёмов полигона Кыталык

Для исследуемых водных объектов концентрация ионов железа в среднем равна 0,9 (алас, едома) и 2,9 (пойма) мг/л. Значения данного параметра по всем водоёмам превышают значения предельно-допустимых концентраций веществ для водных объектов рыбохозяйственного значения (ПДК_{в.р.}) (Об утверждении..., 2010) равного 0,1 мг/л (рисунок 3.2.3). Следует отметить, что в наших исследованиях за 2017 год данных нет. Исследования водоёмов других частей Якутии также устанавливает факт высокой концентрации данного параметра (Пестрякова, 2009; Городничев, 2016; Ядрихинский, 2017; Ушницкая и др., 2021).

Для ионов аммония отмечены следующие средние значения: 0,01 мг/л (едома), 0,02 мг/л (пойма) и 0,3 мг/л (алас), для водоёмов, расположенных на аласных депрессиях, где отмечено превышение рыбохозяйственного ПДК по иону аммония до 4,5 раза. Хотя водоёмы находятся в удалении от населенных пунктов, вероятно, повышенные концентрации иона аммония являются результатом естественных причин (рисунок 3.2.4).

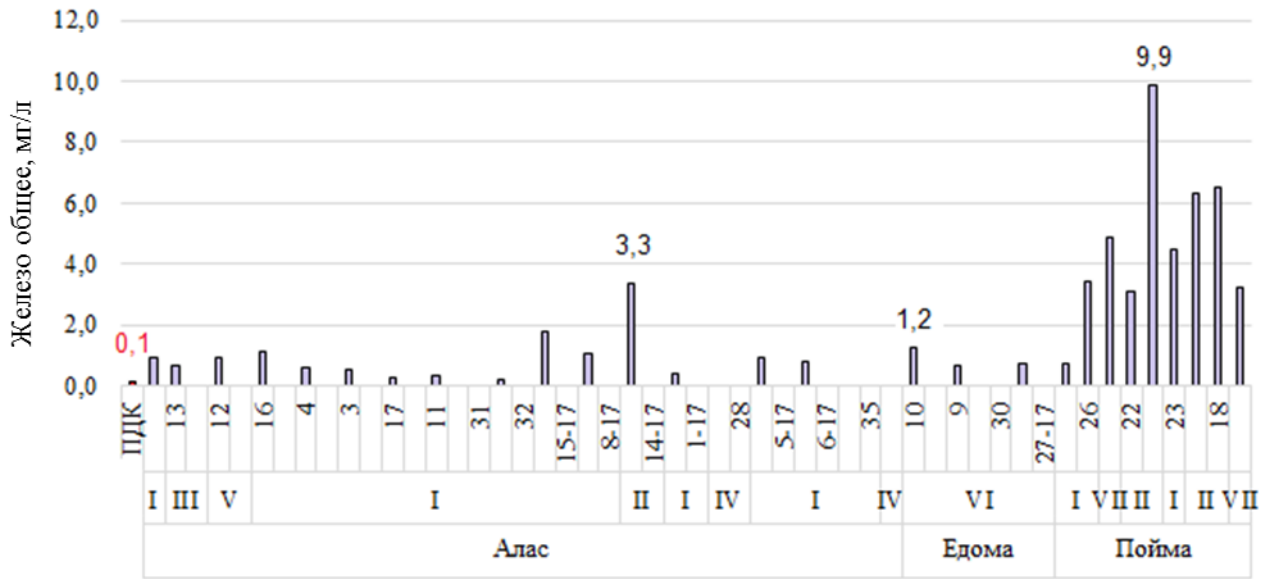


Рисунок 3.2.3 – Концентрация общего железа в воде и превышение ПДК_{в.р.} в водоёмах полигона Кыталык

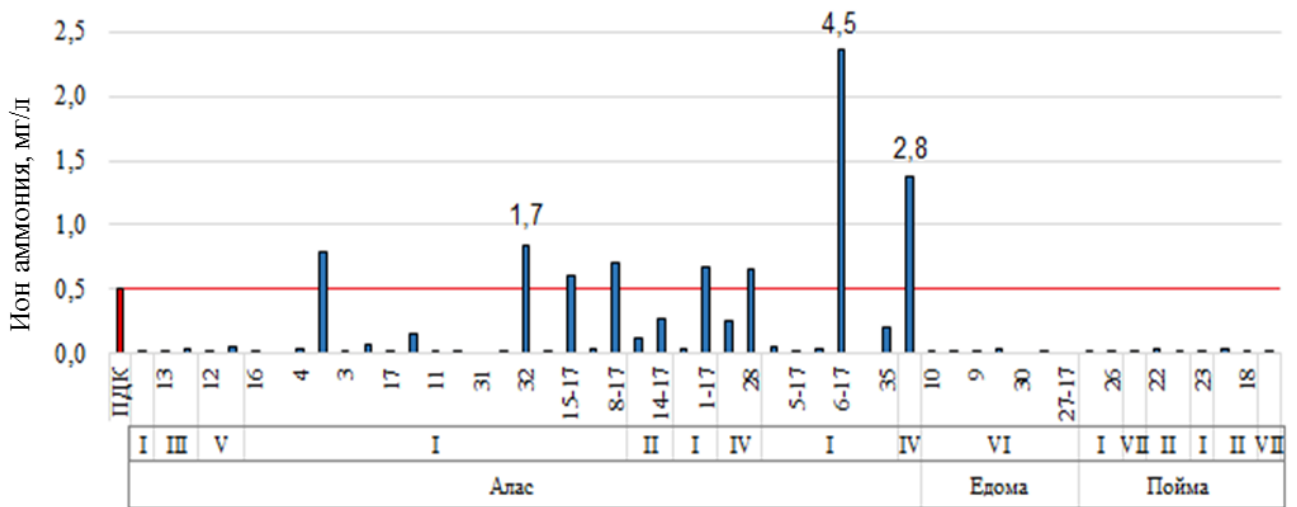


Рисунок 3.2.4 – Концентрация ионов аммония в воде и превышение ПДК_{в.р.} в водоёмах полигона Кыталык

Таблица 3.2.5 – Основные свойства химического состава воды изученных водоёмов полигона Кыталык

Форма рельефа	Наименование водоёма	Характеристика вод (по Курлову)	Класс химического состава воды (по Алекину)
Алас	IP-1	Вода гидрокарбонатная кальциево-магниевая-натриевая, ультрапресная	Класс гидрокарбонатных, группа натриевых
	IP-3-17	Вода гидрокарбонатная кальциево-натриевая, ультрапресная	
	IP-6-17	Вода гидрокарбонатная натриевая, ультрапресная	
	IP-1-17	Вода гидрокарбонатная магниевая, ультрапресная	Класс гидрокарбонатных, группа магниевых
	IP-6	Вода гидрокарбонатная магниевая-кальциевая, пресная	Класс гидрокарбонатных, группа кальциевых
	IP-3, IP-11, IP-17	Вода сульфатно-гидрокарбонатная магниевая-кальциевая, ультрапресная	
	IP-5, IP-7, IP-13	Вода гидрокарбонатно-сульфатная кальциево-магниевая, ультрапресная	Класс сульфатных, группа магниевых
	IP15-17	Вода гидрокарбонатно-сульфатная магниевая, ультрапресная	
	IP-28	Вода сульфатная натриево-магниевая, ультрапресная	
	IP-16	Вода сульфатная кальциево-магниевая, ультрапресная	
	IP-14	Вода гидрокарбонатно-сульфатная магниевая-кальциевая, ультрапресная	
	IP-4, IP-12	Вода гидрокарбонатно-сульфатная магниевая-кальциево-натриевая, ультрапресная	Класс сульфатных, группа натриевых
	IP-4-17, IP-8-17, IP13-17, IP-29	Вода гидрокарбонатно-сульфатная натриевая, ультрапресная	
	IP-33	Вода сульфатная магниевая-натриевая, ультрапресная	
	IP12-17, IP14-17, IP-8, IP16-17, IP17-17, IP-31	Вода сульфатная натриевая, ультрапресная	
IP-11-17	Вода хлоридно-сульфатная натриевая, ультрапресная		
Едома	IP-9-17, IP27-17	Вода сульфатная натриевая, ультрапресная	Класс сульфатных, группа натриевых
	IP-9	Вода гидрокарбонатно-сульфатная кальциево-магниевая, ультрапресная	Класс сульфатных, группа магниевых
	IP-27	Вода сульфатная кальциево-магниевая, ультрапресная	
	IP-10	Вода гидрокарбонатно-сульфатная магниевая-кальциевая, ультрапресная	Класс сульфатных, группа кальциевых
	IP-30	Вода сульфатно-гидрокарбонатная кальциево-натриевая, ультрапресная	Класс гидрокарбонатных, группа натриевых
Пойма	IP-20	Вода гидрокарбонатно-сульфатная кальциевая, ультрапресная	Класс сульфатных, группа кальциевых
	IP-18	Вода гидрокарбонатно-сульфатная магниевая-кальциевая, ультрапресная	
	IP-22, IP-19, IP-23, IP-24, IP-26	Вода сульфатно-гидрокарбонатная магниевая-кальциевая, ультрапресная	Класс гидрокарбонатных, группа кальциевых

3.2.1 Сравнительный анализ морфометрических и гидрохимических параметров водоёмов участка (полигона) Кыталык за 2011 и 2017 гг.

Сравнительный анализ полученных данных – один из популярных и основополагающих географических методов анализа, предполагающий выявление определенных характеристик у исследуемого объекта и сравнение его по этим параметрам с другими объектами или с самим собой, например, в разные годы. В результате сравнения можно понять и увидеть что-то общее в явлениях и процессах, выявить закономерность или, наоборот, узнать, что никаких закономерностей нет, и все меняется хаотично, что очень важно для проявлений термокарстовых процессов в условиях криолитозоны высоких широт.

В ходе выполнения данной работы нами проведен сравнительный анализ полученных данных за 2011 год на мониторинговом участке, где были изучены 27 водоёмов полигона Кыталык. Повторное обследование этих объектов было проведено нами в 2017 году (рисунок 3.2.1.1).

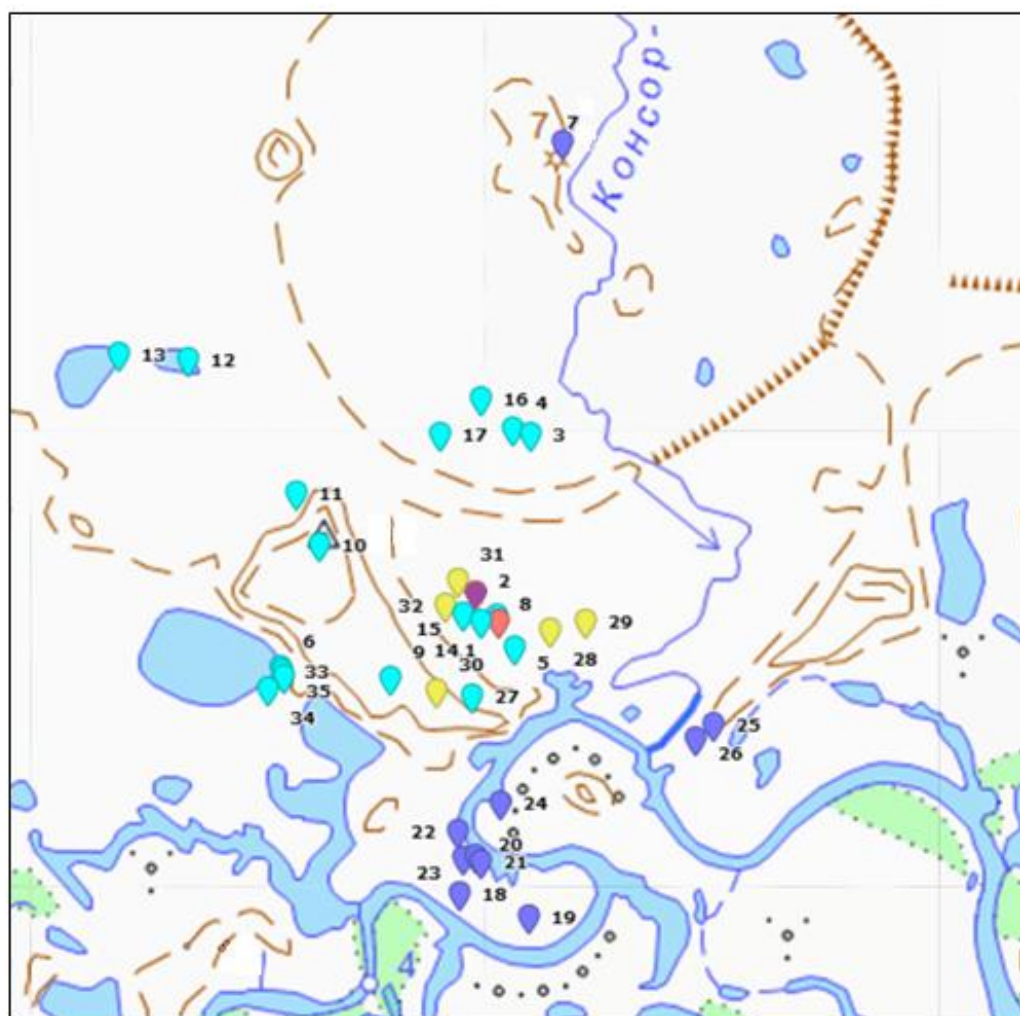
Изменение морфометрических параметров. Сравнению подвергались морфометрические параметры водоёмов, измеренные и рассчитанные в полевых и лабораторных условиях автором (таблица 3.2.1.1). Из водоёмов, исследованных в 2011 году нами, были обнаружены только 16 (59 %) объектов. В частности, водоём IP-2, который находился на аласной депрессии (нижняя часть), не был идентифицирован (предположительно из-за слияния с близлежащим водоёмом), вследствие чего не был исследован, хотя его размеры в 2011 году по сравнению с другими относительно большие: глубина – 70 см (при максимальной 80 см), размер – 21 x 13 м (20 x 35 м) (рисунок 3.2.1.2). Водоём IP-7, расположенный на самой северной части верхней аласной депрессии, недалеко (около 200 м) от реки Консор-Сяне, левого притока Бёрёлёх, оказался затопленным. Река течет строго с севера на юг, разделяя аласную депрессию на две части. Остальные 9 объектов (IP-18 – IP-26) в 2017 году также оказались под водой.

Таблица 3.2.1.1 – Сравнение морфометрических параметров водоёмов по формам (*) и типам (*) за 2011 и 2017 гг.**

Параметр/Полевой номер водоёма IP	Год	Аласные*													Едомные		
		13	12	16	4	3	17	11	15	8	14	1	5	6	10	9	27
		III**	V	I							II	I			VI		
Длина (м)	2011	25,0	10,0	19,0	20,0	20,0	8,0	25,0	8,2	15,0	24,6	50,0	20,4	18,0	10,0	5,9	6,5
	2017	50***	10,6	19,5	20,2	20,3	9,2	7,6	8,9	34,7	34,9	17,6	50,1	25,0	13,5	10,6	8,9
Ширина (м)	2011	7,0	7,0	14,0	17,0	17,0	6,5	10,0	7,7	7,0	18,6	30,0	16,5	14,1	1,5	4,6	4,5
	2017	10,4	11,4	14,2	14,4	18,2	8,5	7,5	8,9	17,0	19,6	13,1	14,1	19,4	2,0	10,0	5,1
Максимальная глубина (м)	2011	0,5	0,4	0,4	0,3	0,5	0,3	0,3	0,2	0,5	0,7	0,5	0,1	0,2	0,2	0,2	0,4
	2017	0,6	0,8	0,3	0,3	0,3	0,2	0,3	0,3	0,4	0,7	0,3	0,3	0,3	0,6	0,3	0,5
Длина береговой линии (км)	2011	0,1	0,1	0,03	0,1	0,1	0,04	0,1	0,1	0,02	0,03	0,1	0,1	0,04	0,1	0,02	0,2
	2017	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	0,04	0,1	0,04	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,02	0,04	0,03
Показатель удлинённости (м)	2011	3,6	1,4	1,4	1,2	1,2	1,2	2,5	1,1	2,1	1,3	1,7	1,2	1,3	6,7	1,3	1,4
	2017	4,8	0,9	1,4	1,4	1,1	1,1	1,0	1,0	2,0	1,8	1,3	3,6	1,3	6,8	1,1	1,7
Развитие (изрезанность) береговой линии	2011	1,8	2,2	0,5	1,1	1,1	1,7	2,5	2,3	0,6	0,4	0,5	1,0	0,8	5,1	1,2	8,3
	2017	1,5	4,1	1,2	1,2	1,2	1,3	2,6	1,3	1,3	1,2	1,1	1,4	1,2	1,3	1,1	1,3
Площадь водного зеркала (км ²)	2011	0,2	0,1	0,3	0,3	0,3	0,1	0,3	0,1	0,1	0,5	1,5	0,3	0,3	0,02	0,03	0,03
	2017	0,5	0,1	0,3	0,3	0,4	0,1	0,1	0,1	0,6	0,7	0,2	0,7	0,5	0,03	0,1	0,05
Прозрачность (м)	2011	0,5	0,4	0,4	0,3	0,5	0,3	0,3	0,2	0,5	0,7	0,5	0,1	0,2	0,2	0,2	0,4
	2017	0,6	0,8	0,3	0,3	0,3	0,2	0,3	0,3	0,4	0,7	0,3	0,3	0,3	0,6	0,3	0,5
СТС, (см)	2011	31,5	47,5	40,0	32,5	32,5	65,0	42,5	55,0	27,0	25,0	25,0	18,5	31,0	40,0	42,5	40,0
	2017	31,0	30,0	23,0	23,0	25,0	22,0	12,0	26,0	27,0	42,0	24,0	15,6	22,0	31,0	12,0	32,0

Примечание: здесь I – водоёмы внутриполигональные, II – водоёмы межполигональные в понижениях над протаивающими ПЖЛ, III – водоёмы сложные межполигональные в понижениях над протаивающими ПЖЛ, V – остаточное термокарстовое озеро, VI – водоёмы на первичных термокарстовых западинах. Жирным шрифтом (голубым цветом) отмечены данные, превышающие значения за 2017 год.

Затопленные объекты относятся к водоёмам поймы и расположены в значительной близости (от 60 до 180 м) от уреза воды реки Бёрёлёх (Елонь).



Условные обозначения

- водоемы, исследованные в 2011 г.
- водоемы, исследованные в 2017 г.
- водоемы, затопленные в 2017 г.
- мониторинговый водоем IP1
- не идентифицированный в 2017 г. (IP2)
- 31 - номер водоёма

Рисунок 3.2.1.1 – Водоёмы полигона Кыталык, изученные за 2011 и 2017 гг.

По наблюдениям Шунсукэ Тэй с соавторами (An extreme..., 2020), весной-летом 2017 года в низменности реки Индигирка произошло сильное наводнение, в результате которого была затоплена значительная площадь низменности, около 16 тыс. км² было покрыто водой даже в июле, что на 4 % от общей площади больше, чем площадь, покрытая водой в 2015 году, когда наблюдались обычные

гидрологические условия в этом районе. Хотя уровень воды резко поднялся в конце мая (что было типично для Арктического региона), впоследствии он не упал и даже снова вырос до годового суточного максимального значения в середине июля.



Водоём IP-2



Водоём IP-7

Рисунок 3.2.1.2 – Водоёмы не идентифицированные (затопленные или слившиеся с близлежащими водоёмами)

Исследования показали, что большое количество талого стока в июне и июле 2017 года привело к покрытию водой большой площади суши и необычно высокому уровню воды в реке, который продолжался до лета. Высота снежного покрова с зимы до весны была наибольшей в 2017 году за период с 2009 по 2017 годы, а поверхность нижней части низменности была частично покрыта снегом даже в конце июня из-за сильных снегопадов, которые произошли в октябре 2016 года. Соответственно, такие необычные гидрологические условия привели к затоплению пойменной части реки Бёрёлёх и ее притоков.

Сравнительный анализ данных морфометрических параметров обследованных водоёмов по двум годам показывает, что почти все водоёмы (87 %) увеличились в размере. Рост показателя длины отмечается почти во всех водоёмах (от 1 до 2,5 раза) (рисунок 3.2.1.3). Исключение составляют модельный водоём (IP1) и IP11, относящиеся к объектам внутриполигонального типа аласа (рисунок 3.2.1.3). Значительным увеличением в длине отличаются некоторые внутриполигональные водоёмы аласа и все межполигональные водоёмы в понижениях ПЖЛ (в т. ч. и сложные). Водоёмы VI типа (на первичных

термокарстовых западинах), расположенные на едомных возвышенностях так же, увеличились в длине.

Изменения по ширине характеризуются увеличением показателя для 75 % водоёмов (рисунок 3.2.1.4), значительные увеличения значений по ширине наблюдается у внутриполигональных водоёмов аласа и так же, как и в длине у водоёма IP9 (VI, едома). Таким образом, можно предположить, что внутриполигональные водоёмы «ванны» равномерно увеличиваются и в длину, и в ширину, в то время как большинство других водоёмов увеличиваются только в длину.

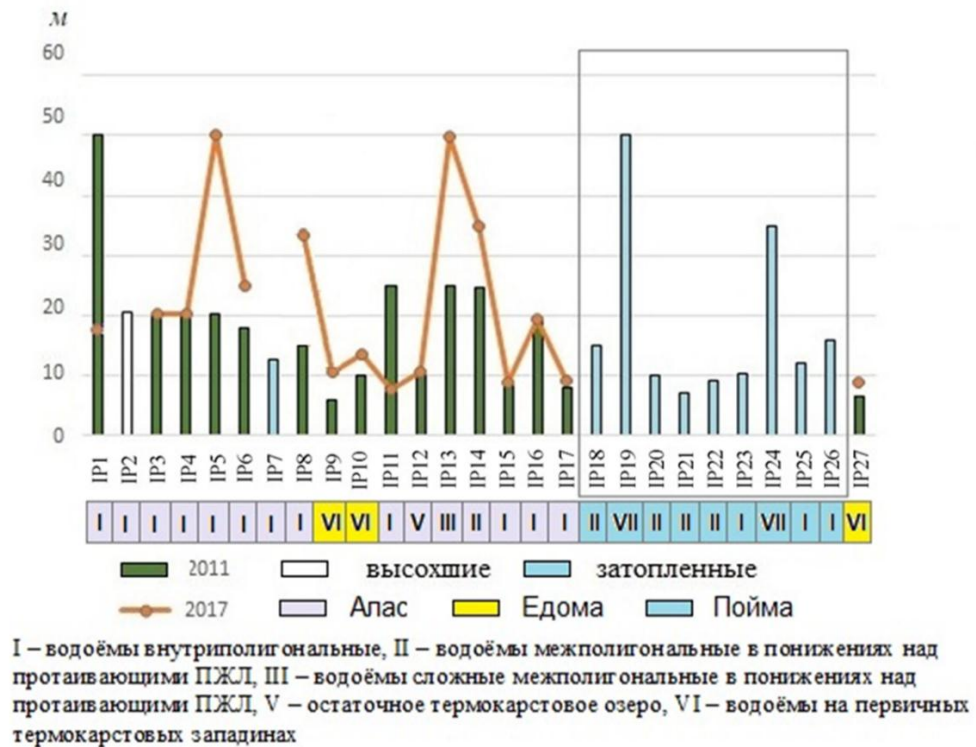


Рисунок 3.2.1.3 – Изменение длины водоёмов за 2011 и 2017 гг.

Площади водного зеркала у 56 % водоёмов отмечаются увеличением, здесь выделяются внутриполигональные водоёмы (IP8, 5, 6), сложный межполигональный водоём IP13, расположенные на аласе и так же водоём едомы IP9 (E-VI), которые сильно увеличились в размерах (более 2 раз).

Значения максимальных глубин тоже увеличиваются (от 0,5 до 0,8) для 50 % объектов. Относительно сильный рост глубины отмечается на остаточном

термокарстовом озере (IP12) на аласе и на едомной возвышенности на первичной термокарстовой западине (IP10) в два и более раз.

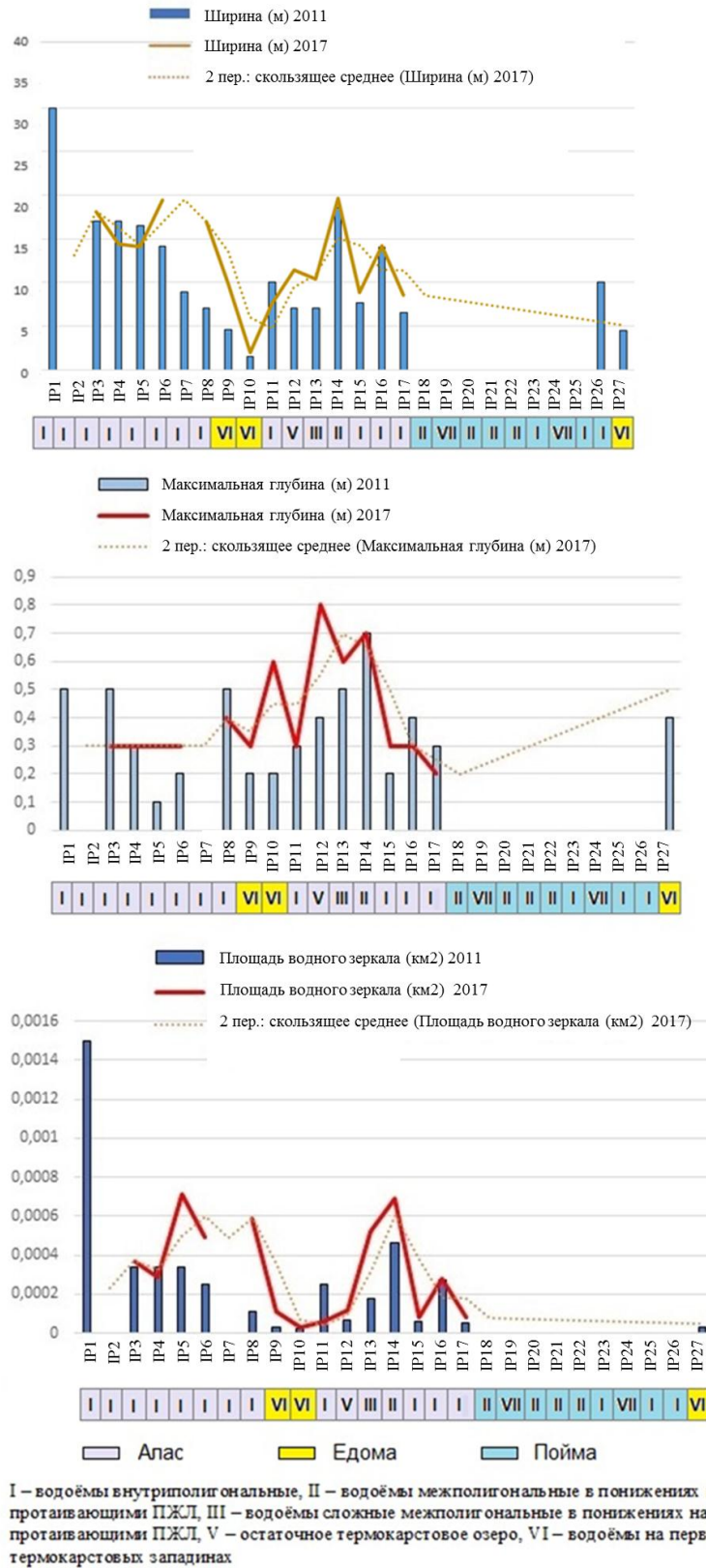


Рисунок 3.2.1.4 – Сравнительный анализ морфометрических параметров водоёмов за период наблюдений

У половины водоёмов отмечено показатель удлиненности, что может свидетельствовать об изменении формы водного зеркала от удлиненной формы ближе к округлой. В водоёме IP5 (А-I) данный параметр характеризуется почти равными долями в увеличении и уменьшении параметра – особенно водоём IP5 (I), который увеличился в длине, а в ширине наоборот уменьшился. Уменьшение удлиненности более двух раз отмечено у внутриполигональных водоёмов аласа IP11 и 8. Значения развития береговой линии увеличиваются у 62 % водоёмов, при этом все водоёмы являются со слабоизрезанной береговой линией. Для водоёма IP27 (VI, едома) с уменьшением данного показателя развитие береговой линии водоёма меняется от среднеизрезанной к слабоизрезанной в 2017.

Изменение гидрохимических параметров. Данные сравнительного анализа за 2011 и 2017 гг. приведены в таблице 3.2.1.2. Водородный показатель характеризуется уменьшением значений для половины водоёмов, при этом лишь у двух водоёмов (IP-11 и IP-17) наблюдается переход из одной зоны в другую (от нейтральной к слабокислой и от слабокислой до кислой среды). Увеличение данного показателя для 43 %, характеризуется переходом 25 % водоёмов от слабокислой к слабощелочной и для 19 % от слабокислой к нейтральной среде. Для всех водоёмов едомы (E-VI) наблюдается снижение показателя рН, для большинства типов водоёмов А-I и А-II верхнего аласа прослеживается уменьшение показателя в сторону кислой среды. В то же время в водоёмах нижнего аласа наблюдается изменение рН в сторону слабощелочной среды. По показателям рН за 2017 год четко выявились водоёмы (зоны) со слабокислой (желтый цвет) и со слабощелочной (сиреневый) средами (рисунок 3.2.1.5).

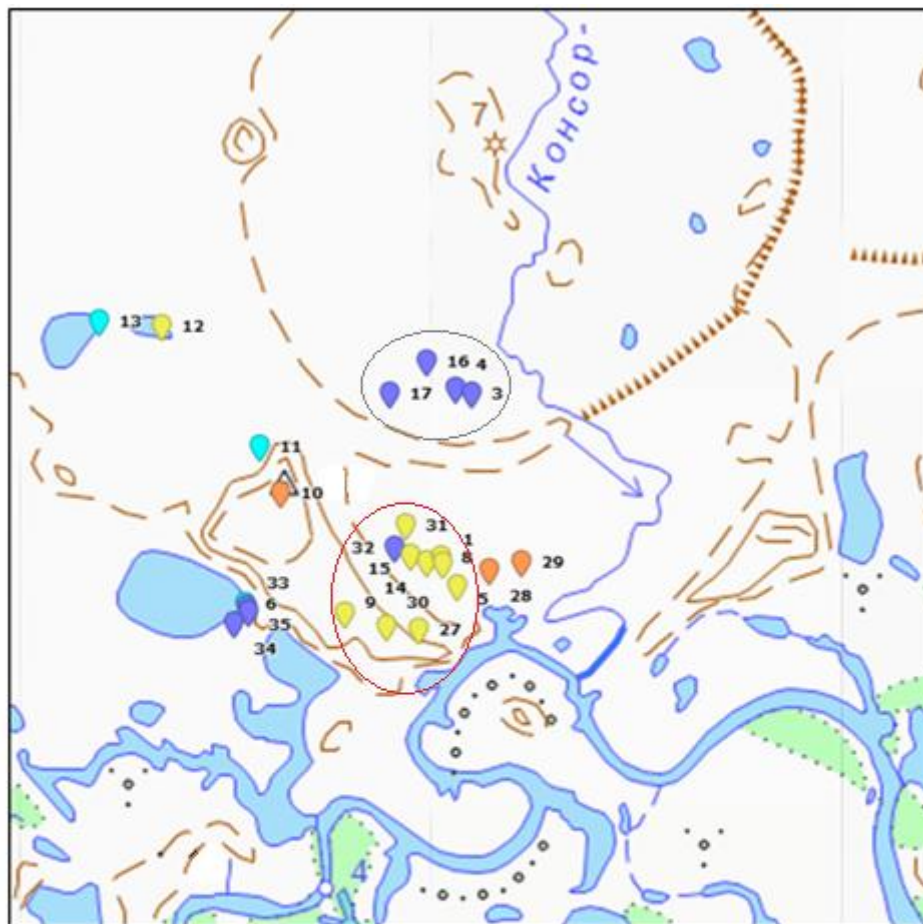
Общая жесткость в обоих годах наблюдения достаточно стабильна и характеризуется очень мягкой водой (<1,5 мг-экв/л), для 93 % водоёмов отмечается уменьшением значения минерализации, для 50 % более чем в два раза.

Изменение ионного состава вод по О. А. Алекину отмечено 12 % водоёмов от класса гидрокарбонатных, группы кальциевых до класса сульфатных группы натриевых вод (рисунок 3.2.1.6).

Таблица 3.2.1.2 – Сравнение гидрохимических параметров водоёмов в 2011 и 2017 гг.

Показатель/Номер водоёма IP	Год	Аласные													Едомные		
		13	12	16	4	3	17	11	15	8	14	1	5	6	10	9	27
		III	V	I						II	I		VI				
рН	2011	6,3	6,4	6,2	5,6	5,5	6,4	6,3	5,8	6,7	5,8	6,2	6,4	6,4	6,2	6,2	6,3
	2017	6,5*	6,4	7,9	7,5	7,5	7,6	7,0	5,7	5,6	5,6	5,8	6,1	6,8	4,5	5,7	5,6
Электропроводность, мкСм/см	2011	33	44	32	36	43	46	66	49	34	41	23	35	216	59	48	32
	2017	12	6,9	22	18	20	19	40	20	161	26	18	23	155	24	21	19
Минерализация, мг/л	2011	21,3	28,6	20,6	23,5	28	30	43	32	22	27	15	23	140	38	31	21
	2017	7,8	4,5	14,3	11,7	13	12	26	13,0	105	16,9	12	15	101	16	14	12
Кальций, мг/л	2011	2,3	2,9	2,5	2,3	3,1	3,5	5,5	4,3	2,8	3,5	1,1	3,0	21,2	5,3	3,7	2,0
	2017	2,8	2,9	5,0	1,3	3,8	2,5	6,7	6,1	2,7	3,8	0,8	2,4	4,8	4,7	9,0	5,0
Магний, мг/л	2011	1,6	1,5	2,0	1,3	1,8	2,0	3,2	2,6	1,8	2,1	0,8	1,9	8,1	2,8	2,3	1,8
	2017	1,2	1,5	1,8	0,8	0,7	0,8	3,0	8,8	0,4	1,5	1,7	5,5	3,9	2,6	1,2	0,2
Аммоний, мг/л	2011	0,005	0,006	0,02	0,05	0,02	0,004	0,03	0,003	0,04	0,1	0,04	0,05	0,04	0,02	0,03	0,03
	2017	0,04	0,06	0,0	0,8	0,08	0,2	0,01	0,6	0,7	0,3	0,7	0,02	2,4	0,02	0,04	0,0
Сумма натрия и калия, мг/л	2011	1,2	3,6	0,7	2,7	1,9	1,8	1,7	0,8	0,9	0,7	1,7	0,6	3,3	1,2	1,9	1,6
	2017	1,0	2,0	0,9	1,2	0,4	1,5	2,2	0,3	1,3	0,6	0,4	0,5	5,0	2,8	14,3	0,9
Фосфаты, мг/л	2011	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
	2017	1,5	1,8	0,1	0,1	1,3	0,0	0,0	0,1	0,1	0,0	0,1	-	0,3	-	0,1	0,2
Гидрокарбонаты, мг/л	2011	8,1	6,1	3,2	7,2	14,2	14,0	18,0	11,0	2,7	8,4	11	7,8	89,7	13,0	7,5	3,4
	2017	9,0	6,0	1,1	7,8	29,1	2,5	0,4	13,3	7,4	3,7	76	-	63,2	-	2,9	2,9
Сульфаты, мг/л	2011	7,7	13,9	12,0	9,6	6,2	8,2	14	13	13	11,5	0,1	9,1	15,8	15,4	15,4	12
	2017	15,9	14,9	4,1	10,1	0,2	40,6	1,6	27	15	9,1	0,0	-	14,7	-	12,1	14
Хлориды, мг/л	2011	0,3	0,6	0,2	0,3	0,5	0,3	0,7	0,2	0,2	0,2	0,5	0,2	2,1	0,3	0,2	0,4
	2017	0,03	0,04	0,01	0,1	4,4	0,01	0,7	0,04	0,2	0,02	2,6	-	1,2	-	0,5	0,04

Примечание: здесь I – водоёмы внутриполигональные, II – водоёмы межполигональные в понижениях над протаивающими ПЖЛ, III – водоёмы сложные межполигональные в понижениях над протаивающими ПЖЛ, V – остаточное термокарстовое озеро, VI – водоёмы на первичных термокарстовых западинах. Жирным шрифтом (голубым цветом) отмечены данные, превышающие значения за 2017 год.



Условные обозначения

- | | |
|--|--|
|  кислая (рН 3-5) |  слабокислая (рН 5-6,5) |
|  нейтральная (рН 6,5-7,5) |  слабощелочная (рН 7,5-8,5) |

Зоны по рН

- | | |
|---|---|
|  слабокислая среда |  слабощелочная среда |
|---|---|

17 номер водоёма

Рисунок 3.2.1.5 – Показатель рН воды в водоёмах полигона Кыталык за 2017 год

Если в 2011 году водоёмы аласа были представлены в преобладании гидрокарбонатных кальциевых вод (36 %), то в 2017 году преобладали сульфатные натриевые воды (90 %). Все водоёмы аласа характеризуются преобладанием вод класса сульфатных группы магниевых в 2011 году и группы натриевых в 2017 году. В 2017 году к классу гидрокарбонатных были так же отнесены 27 % внутриволигональных водоёмов аласа, другие водоёмы обладали водой класса сульфатных. Примечательно, то, что в 2017 году все водоёмы, кроме IP1, класса гидрокарбонатных и сульфатных вод отнесены к группе натриевых. Водоём IP1

единственный объект, обладающий группой магниевых вод класса гидрокарбонатных.

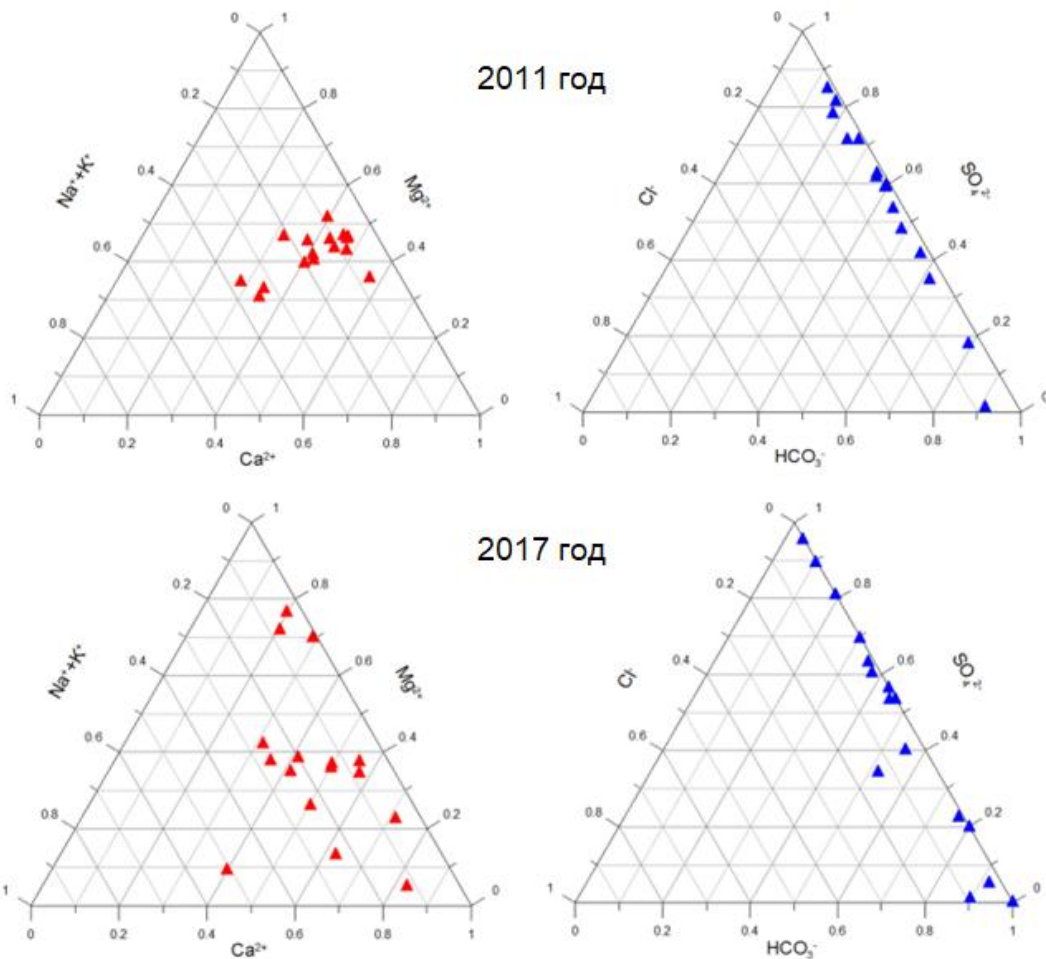


Рисунок 3.2.1.6 – Основные ионы водоёмов за 2011 г. и 2017 г.

Анализ вод изученных водоёмов по М. Г. Курлову (Курлов, 1928) (рассчитано для 13 водоёмов) показал, что в 2017 г. воды 30 % объектов аласа из сульфатно-гидрокарбонатных магниевых-кальциевых перешли на сульфатные натриевые воды, а в водоёмах едомы из гидрокарбонатно-сульфатных кальциевых-магниевых (50 %) и сульфатных кальциевых-магниевых (50 %) воды на сульфатные натриевые воды (100 %) (таблица 3.2.1.3).

Увеличением содержания ионов аммония в воде отмечены для 68 % водоёмов со значением от 0 до 2,4 мг/л. Как отмечено выше (раздел 3.2) увеличение иона аммония привело к превышению рыбохозяйственного ПДК (0,5 мг/л) для 31 % водоёмов, при том, что в 2011 году превышение ПДК не зафиксировано.

Таблица 3.2.1.3 – Сравнение гидрохимического состава вод водоёмов в 2011 и 2017 годах

	Тип водоёма	Полевой номер	Характеристика вод (по Курлову)		Класс химического состава вод (по Алекину)	
			за 2011 г.	за 2017 г.	за 2011 г.	за 2017 г.
Алас	III	IP-13	гидрокарбонатно-сульфатная кальциево-магниевая, ультрапресная	гидрокарбонатно-сульфатная натриевая*, ультрапресная	сульфатных, группа магниевых	сульфатных, группа натриевых
	V	IP-12	гидрокарбонатно-сульфатная магниевое-кальциево-натриевая, ультрапресная	сульфатная натриевая, ультрапресная	сульфатных, группа натриевых	сульфатных, группа натриевых
	I	IP-16	сульфатная кальциево-магниевая, ультрапресная	сульфатная натриевая, ультрапресная	сульфатных, группа магниевых	сульфатных, группа натриевых
		IP-4	гидрокарбонатно-сульфатная магниевое-кальциево-натриевая, ультрапресная	гидрокарбонатно-сульфатная натриевая, ультрапресная	сульфатных, группа натриевых	сульфатных, группа натриевых
		IP-3	сульфатно-гидрокарбонатная магниевое-кальциевая, ультрапресная	гидрокарбонатная кальциево-натриевая, ультрапресная	гидрокарбонатных, группа кальциевых	гидрокарбонатных, группа натриевых
		IP-17	сульфатно-гидрокарбонатная магниевое-кальциевая, ультрапресная*	сульфатная натриевая, ультрапресная	гидрокарбонатных, группа кальциевых	сульфатных, группа натриевых
		IP-11	сульфатно-гидрокарбонатная магниевое-кальциевая, ультрапресная	хлоридно-сульфатная натриевая, ультрапресная	гидрокарбонатных, группа кальциевых	сульфатных, группа натриевых
		IP-8	сульфатная натриевая, ультрапресная	гидрокарбонатно-сульфатная натриевая, ультрапресная	сульфатных, группа натриевых	сульфатных, группа натриевых
	II	IP-14	гидрокарбонатно-сульфатная магниевое-кальциевая, ультрапресная	сульфатная натриевая, ультрапресная	сульфатных, группа кальциевых	сульфатных, группа натриевых
	I	IP-1	гидрокарбонатная кальциево-магниевое-натриевая, ультрапресная	гидрокарбонатная магниевая, ультрапресная	гидрокарбонатных, группа натриевых	гидрокарбонатных, группа магниевых
		IP-6	гидрокарбонатная магниевое-кальциевая, пресная	гидрокарбонатная натриевая, ультрапресная	гидрокарбонатных, группа кальциевых	гидрокарбонатных, группа натриевых
	Едома	VI	IP-9	гидрокарбонатно-сульфатная кальциево-магниевая, ультрапресная	сульфатная натриевая, ультрапресная	сульфатных, группа магниевых
IP-27			сульфатная кальциево-магниевая, ультрапресная	сульфатная натриевая, ультрапресная	сульфатных, группа магниевых	сульфатных, группа натриевых

*Примечание: здесь красным шрифтом отмечены воды, переходящие из одного состава вод в другой в 2017 году.

3.3 Диатомовые комплексы, формирующие водоёмы полигона Кыталык

3.3.1 Таксономический состав, массовые формы и эколого-географическая структура диатомовых комплексов исследуемых водоёмов

Основным методом, используемым в данной работе, является диатомовый анализ. Камеральная обработка проб воды на диатомовый анализ и количественная методика определения содержания створок диатомей выполнены по общепринятой методике (Общие закономерности..., 1986, Krammer, 2003, Пестрякова, 1997). Для идентификации видов были использованы отечественные (Диатомовый анализ, 1949а, 1949б; Диатомовые водоросли СССР, 1974, 1988, 1992; Krammer, Lange-Bertalot, 1986; Баринава и др., 2006; Генкал, Трифонова, 2009; Генкал и др., 2013 и др.; Баринава, 1996; Генкал и др., 2011) и зарубежные определители (Krammer, 2002, 2000, Lange-Bertalot, 1993, 1999, 2001, 1996 и др.).

Помимо общего содержания диатомей для каждого образца водоёма был определен видовой состав диатомей, численность каждого вида (в млн створок в 1 грамме осадка), процентное соотношение в диатомовых комплексах створок диатомей планктона, обрастателей (эпифитов) и донных. Встреченные в препаратах диатомеи определялись до вида, разновидности и формы.

В данном разделе приведены результаты диатомового анализа по 35 водоёмам полигона Кыталык, выполненные лично автором. Из них в 14 водоёмах проведены мониторинговые исследования. В целом в 49 объектах исследования, расположенных в полигоне Кыталык зарегистрированы 152 вида (включая две разновидности), относящиеся к 38 родам, 21 семействам, 12 порядкам и 3 классам отдела Bacillariophyta – Bacillariophyceae, Coscinodiscophyceae, Mediophyceae (Round, 1990) (таблица 3.3.1.1).

В таксономической структуре самым многочисленным классом оказался Bacillariophyceae, включающий 10 порядков, 19 семейств, 36 родов и 146 видов (доля во флоре 96 %). Ведущие роды: *Eunotia* (составляет 23 % всей флоры), *Pinnularia* (11 %), *Neidium* (8 %), *Gomphonema* (7 %) и *Navicula* (6 %).

Таблица 3.3.1.1 – Таксономический состав диатомовых водорослей водоёмов полигона Кыталык

Класс	Порядок	Семейство	Роды	Виды		Разновидности			
				абс.	%	абс.	%		
Mediophyceae	Stephanodiscales	<i>Stephanodiscaceae</i>	<i>Cyclotella</i>	1	1				
Coscinodiscophyceae	Aulacoseirales	<i>Aulacoseiraceae</i>	<i>Aulacoseira</i>	3	2				
Bacillariophyceae	Bacillariales	<i>Bacillariaceae</i>	<i>Nitzschia</i>	6	4				
			<i>Paraplaconeis</i>						
	Cocconeidales	<i>Achnanthes</i>	<i>Achnanthes</i>	<i>Achnanthes</i>	4	3			
				<i>Achnantheidium</i>					
				<i>Eucocconeis</i>					
				<i>Psammothidium</i>					
	Cymbellales	<i>Cymbellaceae</i>	<i>Cymbella</i>	<i>Cymbella</i>	14	9			
				<i>Cymbopleura</i>					
				<i>Encyonopsis</i>					
				<i>Rhopalodia</i>					
		<i>Gomphonemataceae</i>	<i>Gomphonema</i>	<i>Encyonema</i>	19	13			
				<i>Gomphonema</i>					
				<i>Placoneis</i>					
	Eunotiales	<i>Eunotiaceae</i>	<i>Eunotia</i>	35	23	1	1		
	Fragilariales	<i>Fragilariaceae</i>	<i>Fragilaria</i>	<i>Fragilaria</i>	2	1			
				<i>Staurosiraceae</i>					<i>Pseudostaurosira</i>
									<i>Staurosira</i>
			<i>Staurosirella</i>	4	3				
	Licmophorales	<i>Ulnariaceae</i>	<i>Ulnaria</i>	<i>Hannaea</i>	2	1			
				<i>Ulnaria</i>					
	Naviculales	<i>Brachysiraceae</i>	<i>Brachysira</i>	1	1				
		<i>Diploneidaceae</i>	<i>Diploneis</i>	1	1				
		<i>Naviculaceae</i>	<i>Navicula</i>	<i>Caloneis</i>	13	9			
<i>Craticula</i>									
<i>Kobayasiella</i>									
<i>Navicula</i>									
<i>Neidiaceae</i>		<i>Neidium</i>	12	8					
<i>Pinnulariaceae</i>		<i>Pinnularia</i>	16	11		0			
<i>Sellaphoraceae</i>		<i>Sellaphora</i>	2	1					
<i>Cavinulaceae</i>		<i>Cavinula</i>	1	1					
<i>Stauroneidaceae</i>	<i>Stauroneis</i>	7	5						
Surirellales	<i>Surirellaceae</i>	<i>Surirella</i>	1	1	1	1			
Tabellariales	<i>Tabellariaceae</i>	<i>Tabellaria</i>	<i>Asterionella</i>	4	3				
			<i>Diatoma</i>						
			<i>Tabellaria</i>						
Thalassiosiphysales	<i>Catenulaceae</i>	<i>Amphora</i>	2	1					
Всего:				150	99	2	1		

Классы Mediophyceae и Coscinodiscophyceae представлены лишь по одному роду и от одно до трех видов, соответственно. Класс Mediophyceae представлен родом *Cyclotella* (вид не определен), а класс Coscinodiscophyceae только родом *Aulacoseira* с тремя видами (*Aulacoseira distans*, *A. subarctica*, *A. spp.*). Количество одно-, и двувидовых родов оказалось 10, что составляет 26 % общего числа родов. Подобная картина диатомовых комплексов водоёмов Якутии объясняется региональной особенностью флоры, обусловленной природно-климатическими условиями водосборных бассейнов региона (Пестрякова, 2008а). В целом диатомовые водоросли водоёмов полигона Кыталык относятся к флоре Палеарктики в целом.

Массовые формы диатомовых комплексов изученных водоёмов. Список массовых (более 5 %) таксон диатомовых комплексов в изученных водоёмах насчитывает 40 видов, в т. ч.: 13 видов во флоре представлены исключительно как доминанты (более 10 %), 11 – только как субдоминанты (от 5 до 10 %) и 16 видов переходили из одной группы в другую (рисунок 3.3.1.1).

Из них самыми активными и постоянными оказались виды: *Tabellaria flocculosa* – с максимальным значением до 88,3 %, который доминирует в 40 пробах из 49, *Eunotia bilunaris* с максимальным значением 73,7 % доминирует в 30 пробах, *Eunotia subarctuoides* – 25,0% (IP-8-17) и *Pinnularia brevicostata* 19,2 % (IP-15-17) доминируют в 6 водоёмах.

В исследуемых водоёмах по численности (по количеству створок на 1 г осадка) абсолютно доминирует *Tabellaria flocculosa* (в 48 водоёмах из 49). Следующим по численности створок является *Eunotia bilunaris*, который встречается в 46 водоёмах из 49. На третьем месте оказался *Eunotia subarctuoides*, отмечен в 19 пробах, вид эпифит, индифферент, преимущественно развивается при рН ниже 7. Отмеченные виды типичны для северных пресноводных водоёмов. Интересная картина получилось при анализе состава ДК по трем формам рельефа участка Кыталык.

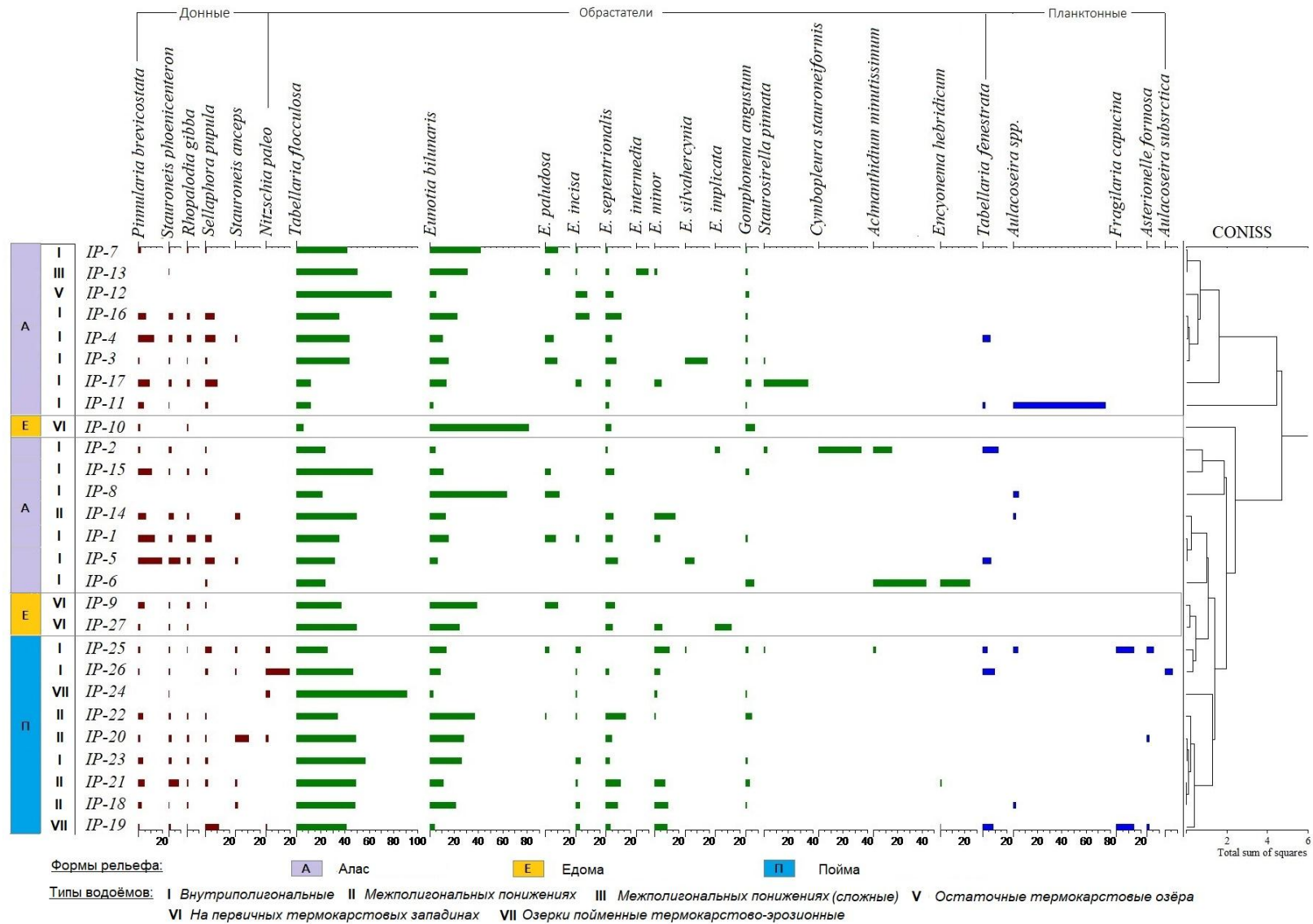


Рисунок 3.3.1.1 – Массовые формы диатомей водоёмов полигона Кыталык (2011 г.)

В диатомовой диаграмме многочисленные водные объекты двух аласные котловин (депрессий) разделились на две разные группы: на водоёмы верхнего аласа (3, 4, 7, 11, 12, 13, 16, 17) и на водоёмы нижнего аласа (1, 2, 5, 6, 8, 14 и 15). Между ними находится водоём на едомной возвышенности (10). Поскольку едомные комплексы (сильнольдистые склоны) на полигоне Кыталык огибают либо нижнюю аласную котловину, либо примыкают к пойме, то становится понятна схожесть их состава ДК с тем или иным водоёмом урочища. В частности водоёмы едомы (9 и 27) значительно ближе к пойменным водоёмам. Также следует подчеркнуть, что водоёмы поймы реки Бёрёлёх, образуя отдельную группу, разделились на две подгруппы: внутрполигональные (ванны) 25 и 26, расположенные на правом берегу устья ручья Консор-Сяне отделились от второй подгруппы, тесно взаимосвязанных между собой за счет абсолютного доминирования таксона *Tabellaria flocculosa*. Подгруппа состоит из межполигональных водоёмов, условно названных нами как «трещины». Следует отметить, что пойменные термокарстово-эрозионные озёрки (24 и 19) не так близки к этим типам водоёмов.

Эколого-географическая характеристика диатомей водоёмов. Для выявления природных условий, в которых формировался тот или иной диатомовый комплекс, разработан и успешно применяется метод суммарного подсчета створок диатомей по экологическим группировкам. В каждой пробе, где было подсчитано более 500 створок и выявлен комплекс диатомей, суммируются створки всех планктонных диатомей, затем всех диатомей обрастания и донных и определяется их процентное соотношение в комплексе (Пестрякова, 2008а). Тем же методом подсчитывается доля участия в комплексе диатомей различной галобности, разного отношения к рН среды, разного географического распространения. Превалирование той или иной экологической группы позволяет с достаточной объективностью судить о характере изменения водосборного бассейна и условиях водной среды.

При определении экологической характеристики диатомовых комплексов использованы данные на уровне внутривидовых таксонов в связи с тем, что

разновидности одного вида обладают разными экологическими показателями. В результате выявлены отношения диатомей к условиям местообитания, солености и активной реакцией среды, географическому распространению.

Отношение водорослей к уровню минерализации вод определено с использованием шкалы галобности Р. В. Кольбе (Kolbe, 1927). Обнаруженные диатомеи разделялись на пресноводную или олигогалобную (индифферентны, галофобы и галофилы) и мезогалобную или солоноводную группы.

Для определения отношения диатомей к активной реакции воды (рН) использована шкала Ф. Хустедта (Hustedt, 1939). В составе диатомовой флоры выделялись следующие группы: алкалифилы, встречающиеся при рН = 7, с оптимумом распространения при рН > 7, алкалибионты, предпочитающие воды только с рН > 7; нейтрофилы, развивающиеся при кислой и щелочной реакции воды; ацидофилы с преобладающим развитием при рН < 7; ацидобионты – рН < 7, преимущественно 5,5 и ниже.

Биогеографические элементы флор достаточно условно выделяются по отношению диатомей к температурным условиям вод. Водоросли разделяются на: арктоальпийские (относительно холодноводные), бореальные (относительно тепловодные) и космополитные (развивающиеся при широкой температурной амплитуде от 10 до 40 °С). Для достоверной реконструкции особенностей эволюции водных бассейнов и ландшафтов, составляющих одну природную систему, существенное значение имеет применение оптимального комплекса методов анализа природной среды. Необходимые звенья в палеоэкологических построениях и реконструкциях воссоздают другие методы, такие как литологический, биогеохимический, седиментологический и палинологический, которые были использованы автором для корреляции данных, характеризующих развитие озер и ландшафтов Якутии в голоцене. Анализ изменения разнообразия биотических группировок выполнен с использованием различных индексов, определяющих степень видового богатства, разнообразия и доминирования сообществ диатомовых водорослей (Пестрякова, 2008а, 2008б, 2009).

Характеристика экологических особенностей диатомей приведена на рисунке 3.3.1.2. По местообитанию внутри изучаемых водоёмов все виды и внутривидовые таксоны могут быть охарактеризованы как донные, обрастатели и обитающие в толще воды (планктонные).

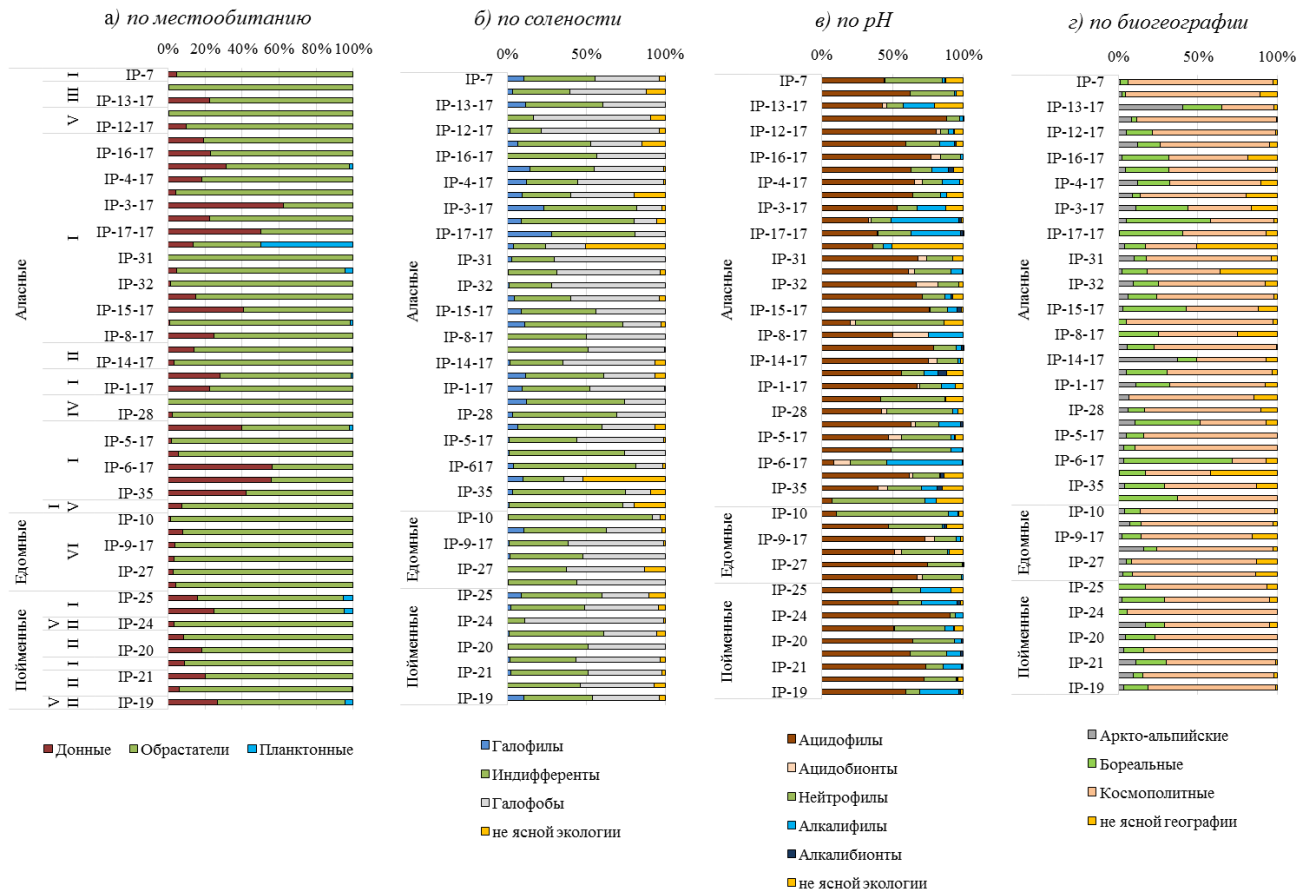


Рисунок 3.3.1.2 – Распределение диатомей водоёмов полигона Кыталык по эколого-географическим предпочтениям

Из 152 таксонов (в том числе 150 видов и 2 разновидности) 78 (51 %) принадлежат к формам обрастателей макрофитов и перифитона, 66 (43 %) представлены донными, 8 (5 %) – диатомеи, обитающие в толще воды.

Большая часть диатомей выборки всех исследуемых водных объектов по средневзвешенным значениям количества особей указанных экологических групп принадлежит видам-обрастателям (эпифитам), достигая до 99,8 % флоры в водоёме аласа. Наиболее широко формы представлены следующими видами и разновидностями: *Tabellaria flocculosa* до 88 % (пойма), *Eunotia bilunaris* до 73 % (едома).

Вторым по численности объединением является группа донных видов, относительная численность указанной группы варьирует от 0 до 62,1 % в водоёмах аласа. Наиболее широко формы представлены следующими видами: *Pinnularia brevicostata* отмечен в 36 водоёмах, со средним значением относительной численности 3,6 %, *Sellaphora pupula* отмечен в 29 водоёмах, со средним значением численности 2,7 %.

Наиболее немногочисленная группа представлена организмами, обитающими в толще воды – планктонные. На долю данной категории приходится 5% зафиксированных особей диатомей (8 видов). Относительная численность планктонных форм колеблется в диапазоне значений от 0% до 50 % в водоёме аласа.

По отношению к солёности воды (известно для 130 таксонов) по всей выборке самой многочисленной группой диатомей являются индифференты (200-300 мг/л), составляя 63 % от всей флоры, со значениями до 90,98 % на едоме. Далее следует группа галофобов (<200 мг/л) 14 % флоры максимальным значением 88,3 % на пойме. Группа галофилов (400-500 мг/л) составляет 8 %, достигая 28 % на едоме. Развивающиеся при минерализации >500 мг/л мезогалобы представлены одним видом *Pinnularia aestuarii* (1 %), зарегистрированным лишь в одном водоёме аласа. Часть зарегистрированных диатомей обладает неясными предпочтениями по отношению к солёности воды и представлены в основном неопределёнными видами (*Navicula spp*, *Achnanthes spp*, *Aulacoseira spp*, *Cyclotella spp*, *Cymbella spp*, *Eunotia spp*, *Fragilaria spp*, *Gomphonema spp*, *Nitzschia spp*, *Pinnularia spp*).

Распределение диатомовых комплексов по отношению к водородному показателю (известно для 124 таксонов): наиболее широко представленной группой во флоре являются ацидобионты (46 видов) – развивающиеся в кислой и слабокислой среде при $pH < 7$, затем следует группа алкалифилов (38 видов) с преимущественным развитием при $pH > 7$. Наиболее часто встречающимися таксонами в группе ацидобионтов являются *Tabellaria flocculosa* (в 47 водоёмах), *Pinnularia brevicostata* (в 37 водоёмах), *Eunotia septentrionalis* (в 35 водоёмах), достигая значений до 90,57 % (пойма), среди представителей алкалифилов можно

выделить виды *Stauroneis phoenicenteron*, встречающиеся в 33 водоёмах, *Sellaphora ripula* (28 водоёмов), *Gomphonema angustum* (23 водоёма). Алкалифилы достигают 53,10 % в водоёмах аласа. Далее идет группа нейтрофилов (предпочитающие рН=7), составляя 19,1 % от всей флоры, самые немногочисленные группы – это ацидобионты (развиваются только в кислой среде, при рН <7) и алкалибионты (развитие только при рН>7), данные группы представлены 4 и 7 видами из всей флоры, соответственно. Доля организмов с неясными предпочтениями по рН среде составляет 18 %, что насчитывает 28 видов.

Особенности географического распределения видов (известно для 125 видов), показали, что большинство видов относится к группе с широким географическим распространением – космополитам (38,8 %), к бореальным относительно тепловодным (34,8 %) и арктоальпийским – холодноводным (8,5 %). Наиболее часто встречаются виды космополиты *Tabellaria flocculosa* (отмечен в 47 пробах), *Eunotia bilunaris* (45), данная группа достигает до 94,34 % в водоёмах на пойме. Среди часто встречающихся бореальных видов отметим *Pinnularia brevicostata* (в 37 водоёмах), *Stauroneis phoenicenteron* (33 водоёмах), *Gomphonema lagerheimii* (в 28 водоёмах). По относительной численности выделяются *Pinnularia brevicostata*, *Eunotia praerupta*, *Gomphonema lagerheimii*, значения группы космополитов достигают 94,34 % в водоёмах поймы. Доля арктоальпийских видов составляет 13 видов, достигая 40,36 % флоры в водоёмах аласа, 18 % водоёмов охарактеризованы как с неизвестными предпочтениями.

3.3.2 Разнообразие диатомовых комплексов с использованием различных индексов и биоиндикационная оценка состояния водных экосистем

Для описания особенностей биоразнообразия исследуемых диатомовых комплексов были рассчитаны индексы разнообразия и меры доминирования. Минимальное и максимальное значения зарегистрированных в водоёмах видов варьирует от 4 видов и разновидностей до 44, в водоёмах аласа и поймы, соответственно. Среднее значение зафиксированных видов для одного водоёма составляет около 17 видов и разновидностей. Концентрация створок (особей) диатомей меняется от 0,00001 до 66,1 млн/г IP12 в водоёмах аласа. Среднее значение концентрации створок в водоёме равно 8,0 (млн/г).

Индекс Шеннона-Уивера – один из самых часто используемых индексов для измерения биоразнообразия для нашей выборки в среднем равен 1,9. Наибольшее значение (2,9) в водоёме аласа.

Индекс выравненности Пиелу – индекс, показывающий относительное распределение особей среди видов, в исследуемых водоёмах меняется от 0,3 (пойма) до 1,0 (алас), составляя в среднем 0,7. Индекс Пиелу достаточно равномерен по всей выборке.

Мера доминирования Симпсона – индекс, зависящий от обилия обычных (небольшого количества) видов, а не видового богатства, варьирует от 0,04 (пойма) до 0,5 (алас), со средним значением 0,4. Максимальное значение принадлежит водоёму аласа, где количество зарегистрированных видов равно 10 из которых 4 вида относятся к «обычным».

Индекс Маргалефа. Значение индекса, отражающее видовое богатство сообщества, характеризуется значениями 1,1 (алас) до 6,8 (пойма), со средним значением 2,8. Минимальное значение индекса отражает минимально зарегистрированное количество видов по выборке (4 вида) (рисунок 3.3.2.1).

Индекс видового разнообразия Менхиника. Наименьшее и наибольшее значения данного индекса, который учитывает, как число видов, так и общее

обилие особей, варьируют от 0,4 (едома) до 2,4 (алас). В водоёме едомы зарегистрировано лишь 9 видов, а в водоёме аласа зарегистрировано 25 видов.

Индекс Животовского. Значения данного индекса меняются от 3,5 до 24,1 в водоёмах аласа. Среднее значение индекса по выборке равно 10,9. Результаты расчетов индекса Животовского аналогичны результатам расчетов индекса биоразнообразия Шеннона-Уивера.

Доля редких видов. Минимальное значение доли редких видов рассчитано в водоёме аласа (доля равна 0,0), а максимальное значение в водоёме поймы равна 0,6. Водоём с минимальным значение индекса характеризуется самым минимальным значением по количеству зарегистрированных видов (4), все 4 вида представлены в водоёме как доминанты (25 %). В водоёме с максимальным значением было зарегистрировано 9 видов, 5 из которых являются «обычными» (1-5 %) и 3 «единичными» (до 1 %) (рисунок 3.3.2.1).

Биоиндикационная оценка состояния водных экосистем.

Диатомовые водоросли являются индикаторами органического загрязнения водной среды (характеризуются известными значениями индикаторной значимости или сапробной валентности). Уровень органического загрязнения водной среды определен по индексу сапробности Пантле-Бука в модификации Сладечека (Sládeček, 1973, 1986), вычисленному по известным значениям индикаторной значимости и фактической численности отдельных видов и разновидностей диатомовых водорослей (Макрушин, 1974а, 1974б; Барина, Медведева, 1996).

В зависимости от величины индекса сапробности устанавливали уровень загрязнения воды от очень чистой ($S < 0,5$, 1-ый класс качества воды, ксеносапробные условия) до очень загрязненной ($S > 4$, 6-ой класс качества воды, полисапробные условия) (ГОСТ 17.1.3.07-82).

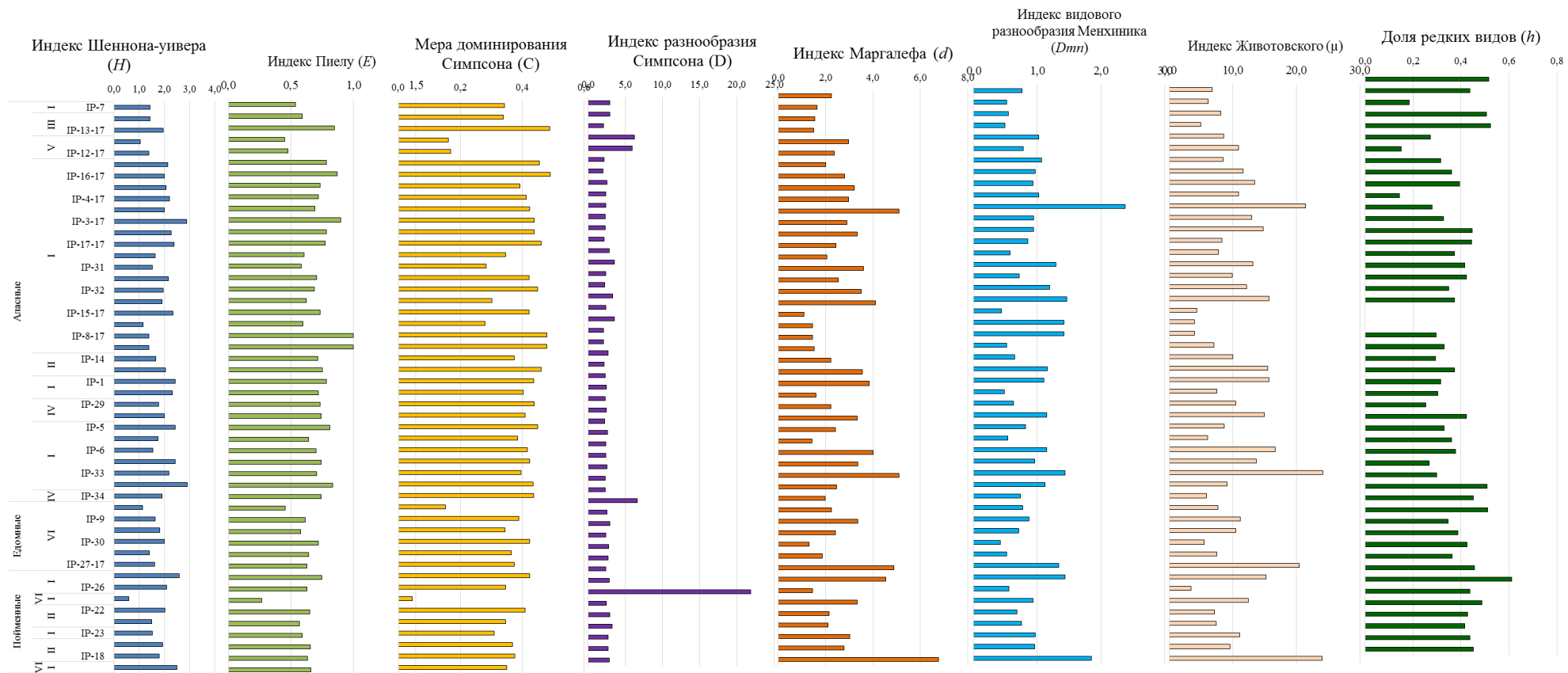


Рисунок 3.3.2.1 – Индексы биологического разнообразия исследуемых водоёмов

В изучаемых водных экосистемах обнаружены диатомеи, характеризующиеся как β -мезосапробы (22 вида), олигосапробы (16 видов), ксеносапробы (11 видов) и α - (4 таксона). β -мезосапробы представлены наиболее широко распространенными и обладающими высоким относительным обилием таксонов, в том числе: *Stauroneis phoenicenteron*, *Sellaphora pupula*, *Gomphonema acuminatum*, *Nitzschia dissipata* и др.

Из олигосапробных диатомей 23 вида наиболее часто встречаются и являются многочисленными *Tabellaria flocculosa*, *Gomphonema angustum*, *Eunotia arcus*, *Eunotia minor*, *Eunotia arcus* и др.

Индекс сапробности (S) исследуемых водоёмов, который был рассчитан с помощью сапробной валентности и численности диатомей по всей выборке, варьирует в диапазоне от 0,6 до 1,5. По данному показателю все исследуемые водоёмы определяются как чистые (II класс качества воды) (рисунок 3.3.2.2) (ГОСТ 17.1.3.07-82).

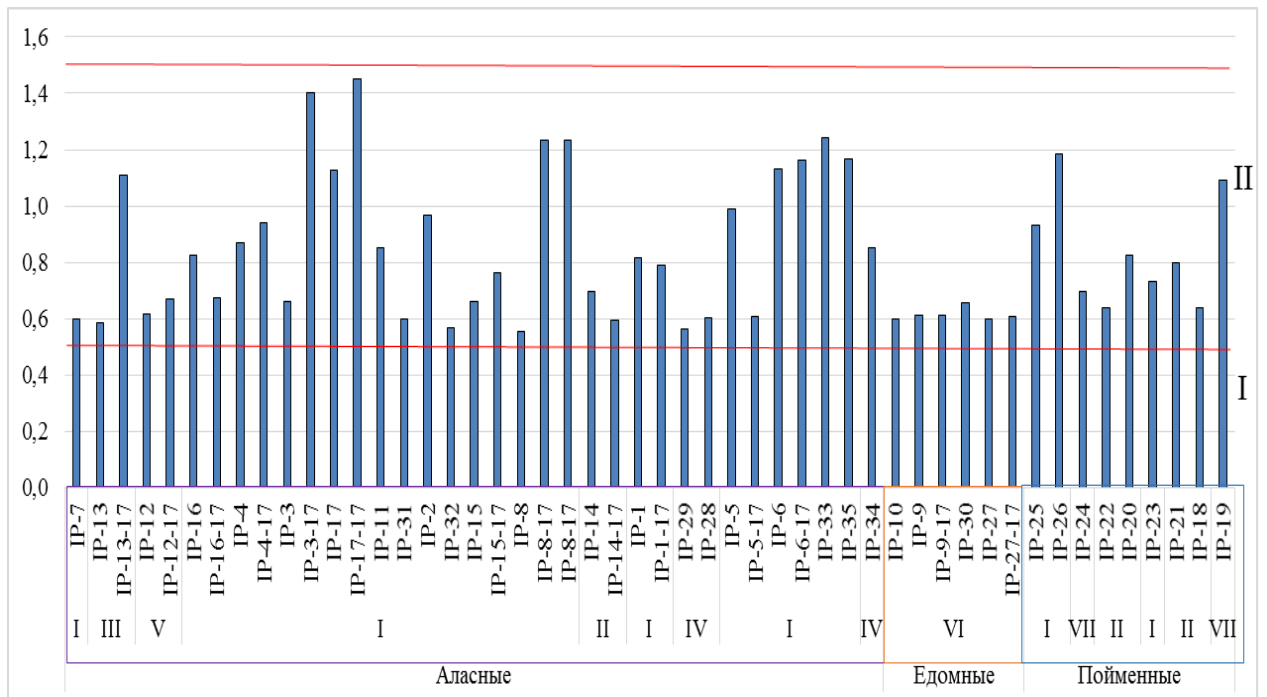


Рисунок 3.3.2.2 – Интегральный индекс сапробности по диатомеям в изученных водоёмах

3.3.3 Сравнение состава диатомовых комплексов водоёмов полигона Кыталык 2011 и 2017 годов

Результаты сравнения таксономического состава диатомовых комплексов 14 водоёмов 2011 и 2017 гг. показали, что в 2011 году было зарегистрировано 57 видов (в том числе 1 разновидность), относящихся к 19 родам, 15 семействам, 8 порядкам и 2 классам Coscinodiscophyceae и Bacillariophyceae. Самым многочисленным классом так же является Bacillariophyceae, представлены 55 видами и разновидностями из 57, что составляет 96 % видового состава всей выборки, в то время как класс Coscinodiscophyceae представлен лишь 1 родом и 3 видами (*Aulacoseira distans*, *Aulacoseira* spp). По видовому богатству стоит выделить род *Eunotia*, включающий 19 видов (33 %) (в том числе 1 разновидность), *Neidium* – 6 видов (11 %), *Pinnularia* – 5 видов (9 %), *Gomphonema* – 4 вида (7 %) (таблица 3.3.3.1).

Доля одно- и двувидовых родов составляет 53 % (10 родов) от общего числа родов, ими оказались: *Aulacoseira*, *Achnanthes*, *Achnanthidium*, *Fragilaria*, *Staurosirella*, *Brachysira*, *Navicula*, *Sellaphora*, *Tabellaria*, *Amphora*.

В 2017 году было зарегистрировано 79 видов, относящиеся к 19 родам, 14 семействам, 8 порядкам одного класса Bacillariophyceae. В выборке этого года стоит выделить роды *Eunotia* (22 вида), что составляет 28 % видового разнообразия, *Pinnularia* 14 видов (18 %), *Gomphonema*, *Navicula*, *Neidium* по 7 видов (9 %) (таблица 3.3.3.1). Одно и двувидовыми родами являются 7 родов: *Nitzschia*, *Paraplaconeis*, *Psammothidium*, *Staurosira*, *Sellaphora*, *Cavinula*, *Tabellaria*.

Можно отметить, что по видовому богатству в оба года отмечаются одни и те же роды, чуть меняясь в количестве от 2011 к 2017 году: *Eunotia* от 33 % к 28 %, *Neidium* от 11 % до 9 %, *Pinnularia* от 9 % до 18 %, *Gomphonema* от 7 % до 9 %, *Navicula* в 2011 году относился к одновидовому виду, а в 2017 году представлен 7 видами, т. е. 9 %

Таблица 3.3.3.1 – Таксономический состав диатомовых водорослей водоёмов бассейна реки Индигирка в 2011 и 2017 гг.

Класс	Порядок	Семейство	Роды		Число видов				Разновидности	
			2011	2017	абс.		%		абс.	%
					2011	2017	2011	2017	2011	2017
Coscinodiscophyceae	Aulacoseirales	<i>Aulacoseiraceae</i>	Aulacoseira	отсутствует	2		4			
Bacillariophyceae	Bacillariales	<i>Bacillariaceae</i>	отсутствует	Nitzschia		1		1		
			отсутствует	Paraplaconeis		1		1		
	Cocconeidales	<i>Achnanthidiaceae</i>	Achnanthes	Psammothidium	1	1	2	1		
			Achnanthidium	отсутствует	1		2			
	Cymbellales	<i>Cymbellaceae</i>	Cymbella	Cymbella	1	2	2	3		
			Cymbopleura	Encyonopsis	3	1	5	1		
			Rhopalodia	отсутствует	1		2			
		<i>Gomphonemataceae</i>	Encyonema	Encyonema	3	4	5	5		
			Gomphonema	Gomphonema	4	7	7	9		
			отсутствует	Placoneis		1		1		
	Eunotiales	<i>Eunotiaceae</i>	Eunotia	Eunotia	18	22	32	28	1	2
	Fragilariales	<i>Fragilariaceae</i>	Fragilaria	отсутствует	1		2			
		<i>Staurosiraceae</i>	Staurosirella	Staurosira	1	2	2	3		
	Naviculales	<i>Brachysiraceae</i>	Brachysira	отсутствует	1		2			
		<i>Naviculaceae</i>	Navicula	Navicula	1	7	2	9		
			отсутствует	Caloneis		1		1		
			отсутствует	Craticula		1		1		
		<i>Neidiaceae</i>	Neidium	Neidium	6	7	11	9		
		<i>Pinnulariaceae</i>	Pinnularia	Pinnularia	5	14	9	18		
		<i>Sellaphoraceae</i>	Sellaphora	Sellaphora	1	1	2	1		
		<i>Cavinulaceae</i>	отсутствует	Cavinula		1		1		
		<i>Stauroneidaceae</i>	Stauroneis	Stauroneis	3	4	5	5		
	Tabellariales	<i>Tabellariaceae</i>	Tabellaria	Tabellaria	2	1	4	1		
Thalassiophysales	<i>Catenulaceae</i>	Amphora	отсутствует	1		2				
2	9	17	19	19	79	98	100		2	

Количество массовых видов в 2011 году насчитывает 17 видов, что составляет 30 % от всей флоры, из них 5 видов: *Achnanthydium minutissimum*, *Eunotia implicata*, *Encyonema hebridicum*, *Staurosirella pinnata*, *Tabellaria flocculosa* – представлены только как доминанты (выше 10 %). 6 видов участвуют в роли субдоминантов (от 5 до 10%): *Eunotia incisa*, *E. intermedia*, *Gomphonema angustum*, *Rhopalodia gibba*, *Sellaphora pupula*, *Stauroneis phoenicenteron*, остальные 6 видов переходят из одной группы в другую.

В 2017 году к группе массовых видов отнесены 23 вида, из них абсолютные доминанты 6 видов: *Eunotia paludosa*, *Navicula rhynchocephala*, *Nitzschia dissipata*, *Pinnularia microstauron*, *Sellaphora pupula*, *Stauroneis phoenicenteron*. Виды (9), участвующие во флоре только как субдоминанты – *Eunotia ambivalens*, *E. incisa*, *E. faba*, *E. gracilis*, *E. septentrionalis*, *Encyonopsis cesatii*, *Navicula cryptotenella*, *Neidium iridis*, *Pinnularia hemiptera*, и 8 видов переходят от доминантов к субдоминантам и наоборот.

Таким образом, можно отметить, что состав видов, которые представлены во флоре только как доминанты и субдоминанты, значительно меняется в течение 6 лет, но при этом список массовых видов, переходящих из группы в другую группу за счет чаще встречающихся доминантов и субдоминантов, достаточно однороден (рисунок 3.3.3.1). Пространственное распределение массовых видов по водоёмам сильно не меняется. В аласных водоёмах значительно представлены донные формы, а в едомных – виды рода *Eunotia*. Однако главную роль в распределении “соседей” водоёмов решает абсолютный доминант *Tabellaria flocculosa*. В частности, по встречаемости в исследуемых водоёмах в 2011 году преобладает *Tabellaria flocculosa*, встречаясь во всех 14 водоёмах, *Eunotia bilunaris* в 13 водоёмах, *Eunotia septentrionalis* 12 водоёмах, *Stauroneis phoenicenteron* – 11.

В 2017 году так же *Tabellaria flocculosa* обнаружен во всех 14 пробах, *Eunotia praerupta* – в 13, *Eunotia bilunaris* – в 12, *Eunotia subarcuatoides* и *Pinnularia brevicostata* – в 11 водоёмах.

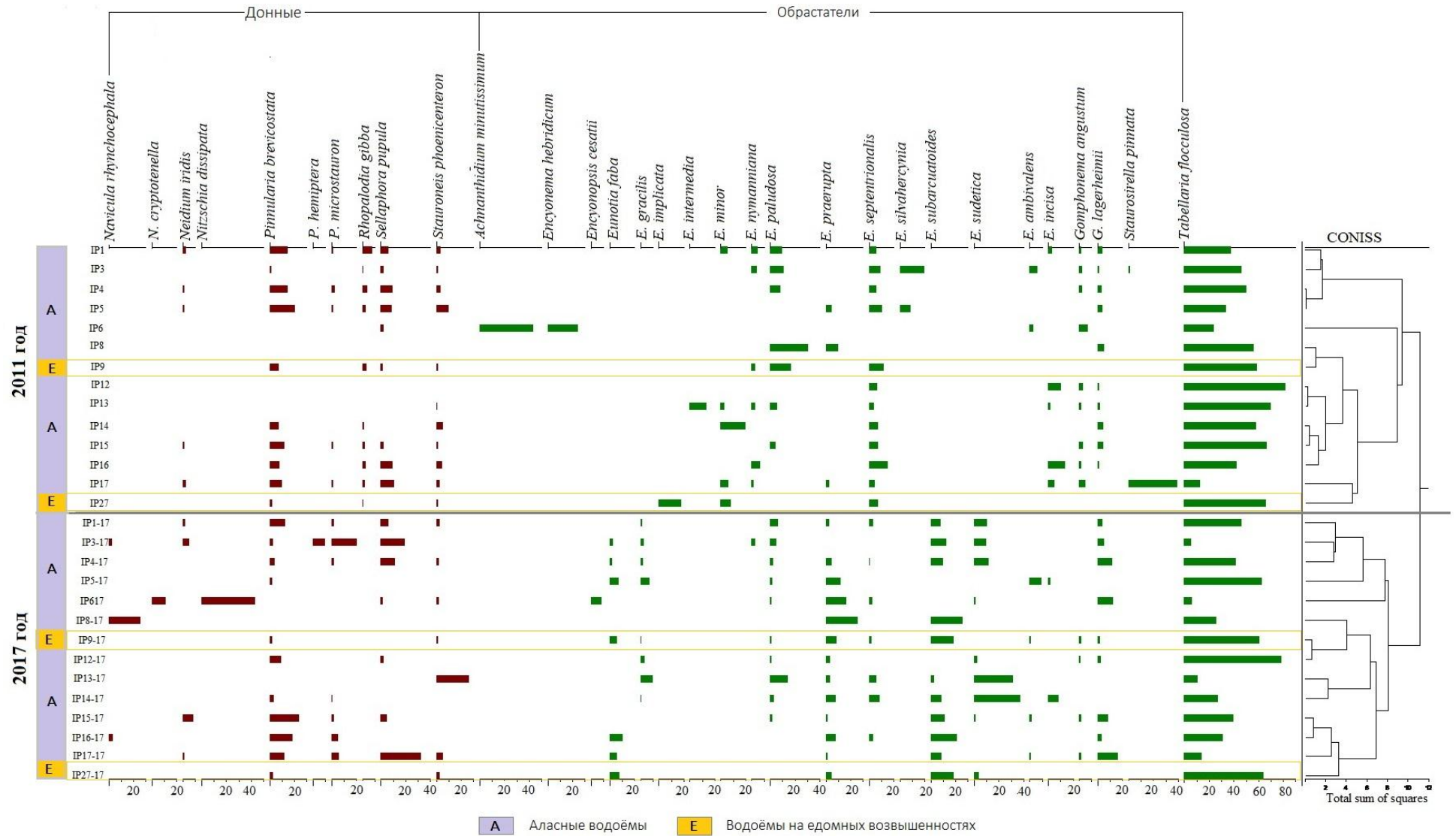


Рисунок 3.3.3.1 – Массовые виды диатомовых водорослей в водоёмах за 2011 и 2017 гг.

Эколого-географическая характеристика диатомей водоёмов в 2011 и 2017 гг. В 2011 году из 57 зарегистрированных видов и разновидностей к обрастателям отнесены 35 видов (61 %), 19 видов (33 %) являются донными видами, а планктонными являются 3 вида (5 %). В 2017 году так же преобладают виды-эпифиты, составляя 51 % флоры, остальные 49 % отнесены к донным видам (39) и 2 % (1) к планктонным. В обоих годах по местообитанию отмечаются одни и те же виды (рисунок 3.3.3.2).

По отношению к солёности воды в 2011 году большинство видов отнесены к индифферентам, составляя 54 % флоры (31 вид), далее следует группа галофобов – 11 видов (19 %), и галофилы представлены лишь двумя видами, составляя 2 %. В 2017 году так же преобладают индифференты – 53 вида (67 %), далее так же следуют галофобы – 11 видов (14 %), галофилы представлены семью видами (9 %) и присутствует один вид мезогалоб (*Pinnularia aestuarii*, 1 %).

Распределение по отношению к водородному показателю показывают, что предпочтения видов по годам так же схоже. В 2011 преобладали ацидофилы, составляя 39 %, т. е. 22 вида из 57, далее следуют нейтрофилы 25 % (14 видов), алкалифилы занимают третье место 12 % (7 видов), и далее алкалибионты представлены двумя видами и ацидобионты одним видом, составляя 4 и 2 % соответственно. В 2017 году наблюдается так же доминирование ацидофилов – 26 видов (33 %), на втором месте алкалифилы – 21 (27 %), нейтрофилы – 14 видов (18 %), ацидобионты – 4 вида (5 %) и алкалибионты – 3 вида (4 %). Таким образом, в 2017 году увеличилась численность алкалифилов, видов с преимущественным развитием при $pH > 7$ (рисунок 3.3.3.2).

Географическое распределение видов показывает схожий состав видов – и в 2011, и в 2017 году преобладают космополитные виды, составляя по 39 и 38 % соответственно, что равно 22 и 33 видам во флоре. Далее в обоих годах следует группа бореальных видов, составляя 33 и 35 % (19 и 28 видов). И

третья группа арктоальпийских видов представлена в 2011 году лишь 5 видами (9 %), а в 2017 году 9 видами (11 %).

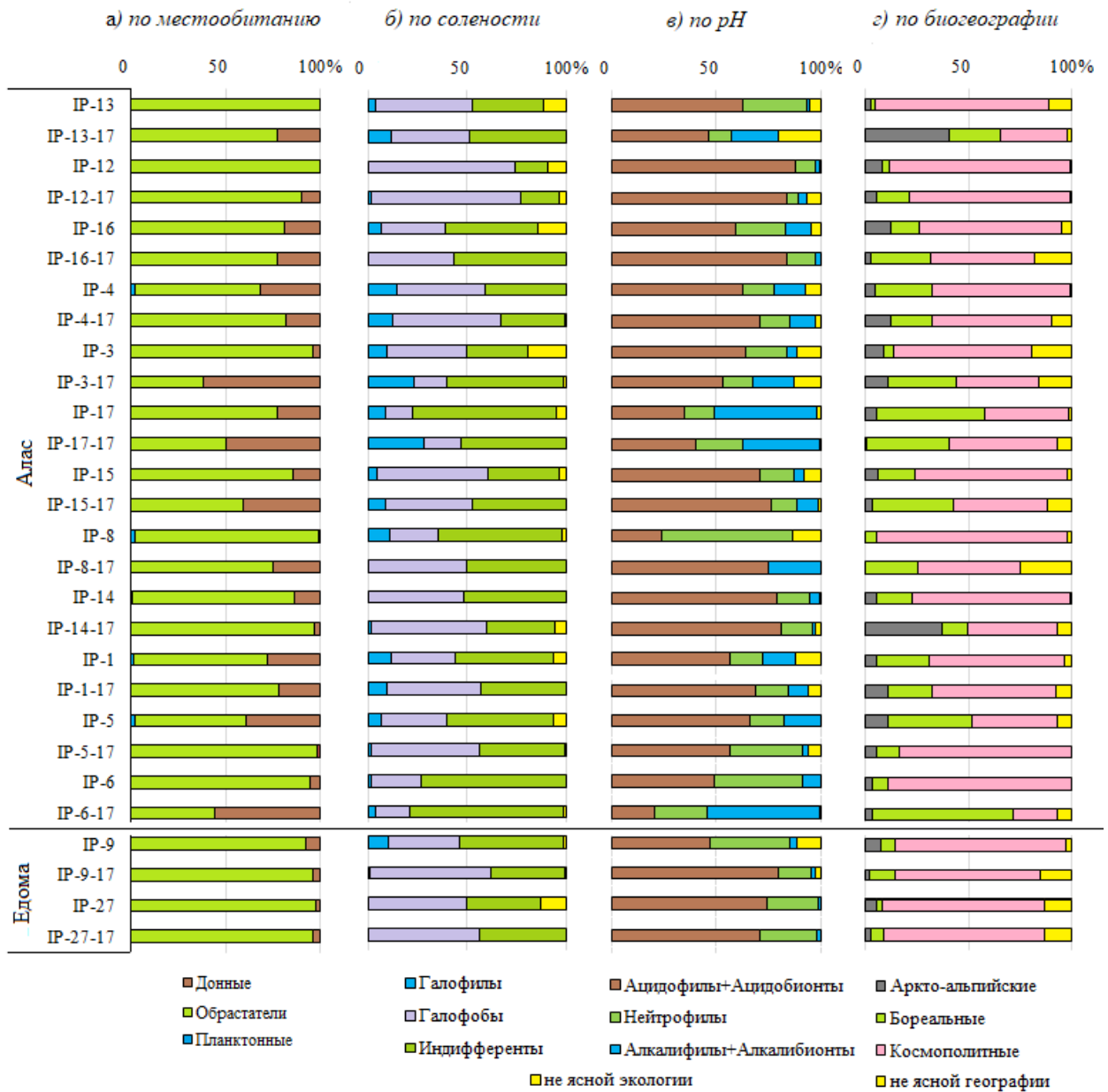
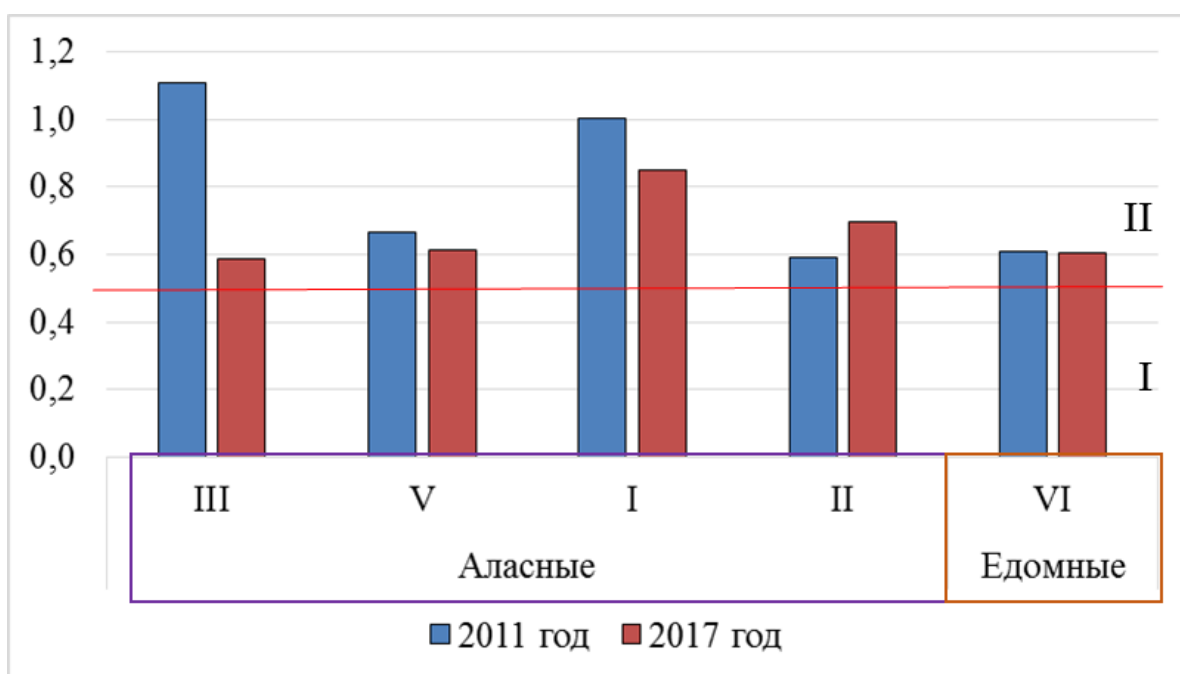


Рисунок 3.3.3.2 – Эколого-географическая характеристика ДК водоёмов полигона Кыталык за 2011 и 2017 гг.

Биоиндикационная оценка состояния исследуемых водоёмов в 2011 и 2017 гг. В 2011 году большинство диатомей характеризуются как олигосапробы – 11 видов (19 %), β -мезосапробы составляют 6 видов (11 %), ксеносапробы – 3 вида (5 %), и зарегистрирован только один α -мезосапробный вид *Navicula cryptocephala* (2 %). В то время как в 2017 году преобладали β -мезосапробные виды, составляя 15 % флоры (12 видов), далее следуют

олигосапробы 9 % (7 видов) и ксеносапробы 8 % (6 видов), на последнем месте все так же α -мезосапробы, представленные двумя видами (3 %) *Navicula rhynchocephala*, *N. Cryptocephala*.

Индекс сапробности в 2011 варьировал 0,6 (алас, едома) до 1,5 водоёме аласа. В 2017 году индекс варьировал так же от 0,6 (алас, едома) до 1,1 (алас). Индекс сапробности водоёмов на первичных термокарстовых западинах едомы практически не меняется, несколько увеличивается для межполигональных водоёмов на понижениях над протаивающими ПЖЛ на аласе. Тенденция понижения наблюдается для всех остальных типов водоёмов аласа (рисунок 3.3.3.3).



I – водоёмы внутриполигональные, II – водоёмы межполигональные в понижениях над протаивающими ПЖЛ, III – водоёмы сложные межполигональные в понижениях над протаивающими ПЖЛ, V – остаточное термокарстовое озеро, VI – водоёмы на первичных термокарстовых западинах

Рисунок 3.3.3.3 – Средние значения индекса сапробности по диатомеям за 2011 и 2017 гг.

Разнообразие диатомовых водорослей (с использованием индексов биологического разнообразия). Наименьшее и наибольшее число зарегистрированных видов в 2011 году варьирует от 7 до 22 видов и разновидностей в водоёмах аласа, количество зафиксированных особей

(створок) достигает 459 (едома). Концентрация створок на 1 мл пробы достигает 66,1 (алас).

Индекс Шеннона в 2011 году варьирует от 0,6 (пойма) до 2,4 (алас). Индекс выравненности Пиелу от 0,3 (пойма) до 0,8 (алас). Мера доминирования Симпсона от 0,0 (пойма) до 0,5 (алас). Индекс разнообразия Симпсона характеризуется значениями: минимальным 2,2 (алас) и максимальным 21,8 (пойма). Индекс Маргалефа от 1,1 до 3,6 (алас). Индекс видового разнообразия Менхиника варьирует от 0,4 (едома) до 1,2 (алас). Индекс Животовского от 4,4 до 15,5 (алас) и доля редких видов варьирует с минимальным значением 0,3 (алас) 0,5 едома, алас.

2017 год отмечается высокими значениями Индекс Шеннона (от 1,4 до 2,9 на аласе), индекс разнообразия Симпсона варьирует от 2,0 до 5,9 (алас), что показывает значительно большую разницу между максимальными значениями индекса по годам. Индекс Маргалефа так же характеризуется высокими значениями 1,4 и 5,1 (алас), чем в 2011 году. Максимальное значение индекса видового разнообразия Менхиника (2,4) превышает в два раза значения в 2011 году, Индекс Животовского так же отмечается высокими значениями от 4,0 до 21,4 (алас). Не прослеживаются критических изменений в индексах выравненности Пиелу (0,5-1,0) и мера доминирования Симпсона (0,2-0,5). Доля редких видов распределилась от минимума 0,0 до максимума 0,5 в водоёмах едомы и аласа, как и в 2011 году (рисунок 3.3.3.4). Таким образом, в течение 6 лет прослеживается увеличение значений большинства индексов, что может говорить об увеличении биоразнообразия исследуемых водоёмов.

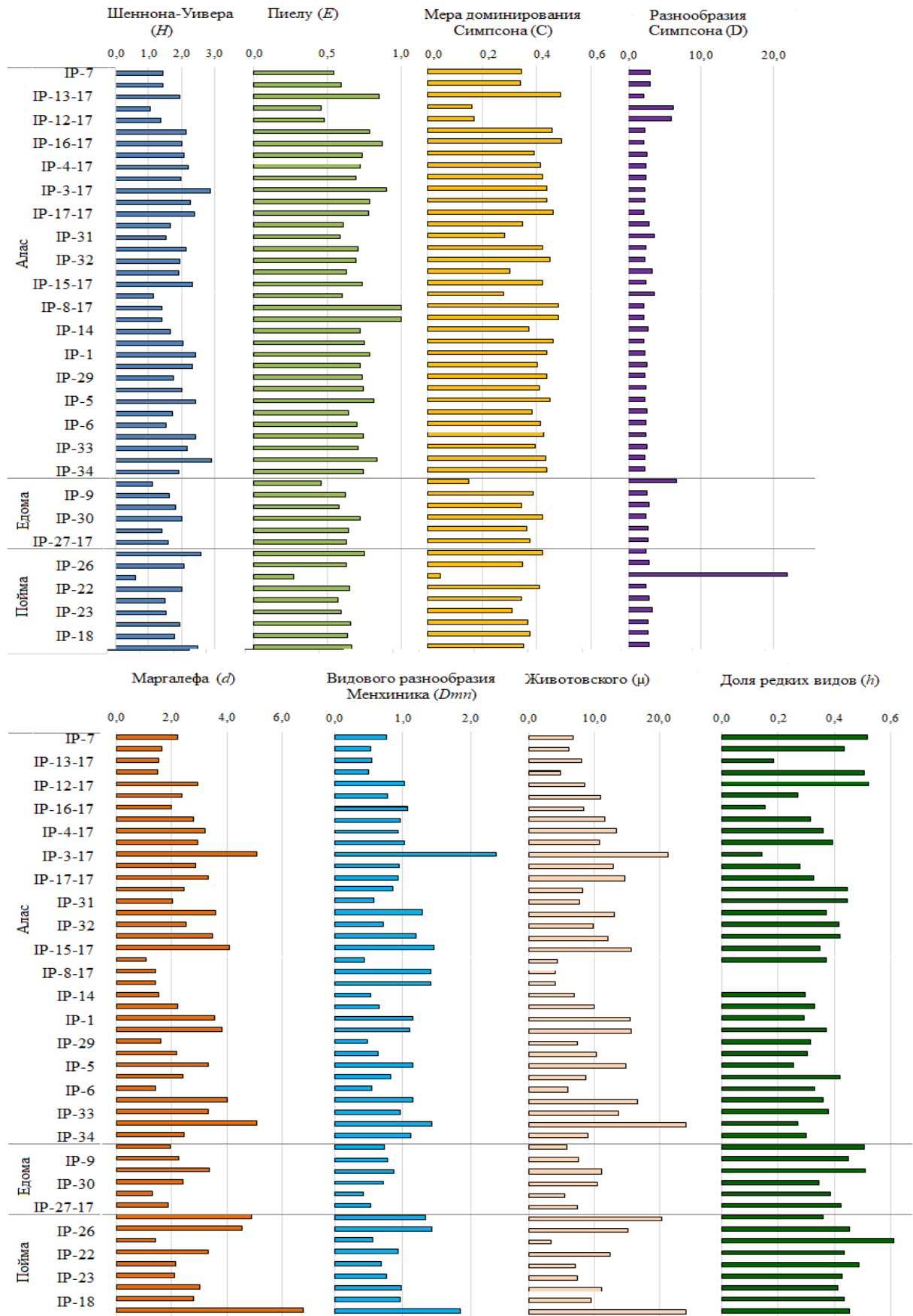


Рисунок 3.3.3.4 – Показатели индексов биоразнообразия по диатомеям водоёмов полигона Кыталык за 2011 и 2017 гг.

3.4 Корреляции морфометрических, физико-химических параметров и диатомовых комплексов водоёмов участка (полигона) Кыталык

В работе применен корреляционный анализ с применением коэффициента ранговой корреляции Спирмена (при $p < 0,05$). Расчетные процедуры выполнены в PAST 4.0. Все значимые коэффициенты были проверены графическим способом, путем построения двумерных графиков рассеивания.

Взаимосвязи абиотических параметров. Установлены взаимные связи между параметрами, характеризующими местоположение объектов исследования (рисунок 3.4.1).

По мере приближения к морскому побережью мест расположения водоёмов наблюдается закономерный рост широты местности. При этом возрастание ближайшего расстояния до реки также сопровождается увеличением широты местности, исследуемых водоёмов и сокращением значений координат географической долготы. То есть при продвижении на север и на запад происходит удаление изучаемых водоёмов от ближайших водотоков. Такая закономерность, возможно, обусловлена особенностями выбора объектов исследования.

Жесткость характеризуется закономерными положительными связями с концентрацией ионов магния, кальция и минерализацией воды (рисунок 3.4.2).

Установлены «зональные» изменения концентрации общего железа воды озёр (рисунок 3.4.3). Возрастание широты местности сопровождается уменьшением концентрации растворенного в воде железа. При этом содержание ионов железа также сокращается при приближении водоёмов к ближайшим водотокам. Наличие взаимосвязи ближайшего расстояния до реки и широты местности затрудняет интерпретацию результатов. Возможно, речная вода способствует разбавлению воды водоёмов участка (полигона) Кыталык.

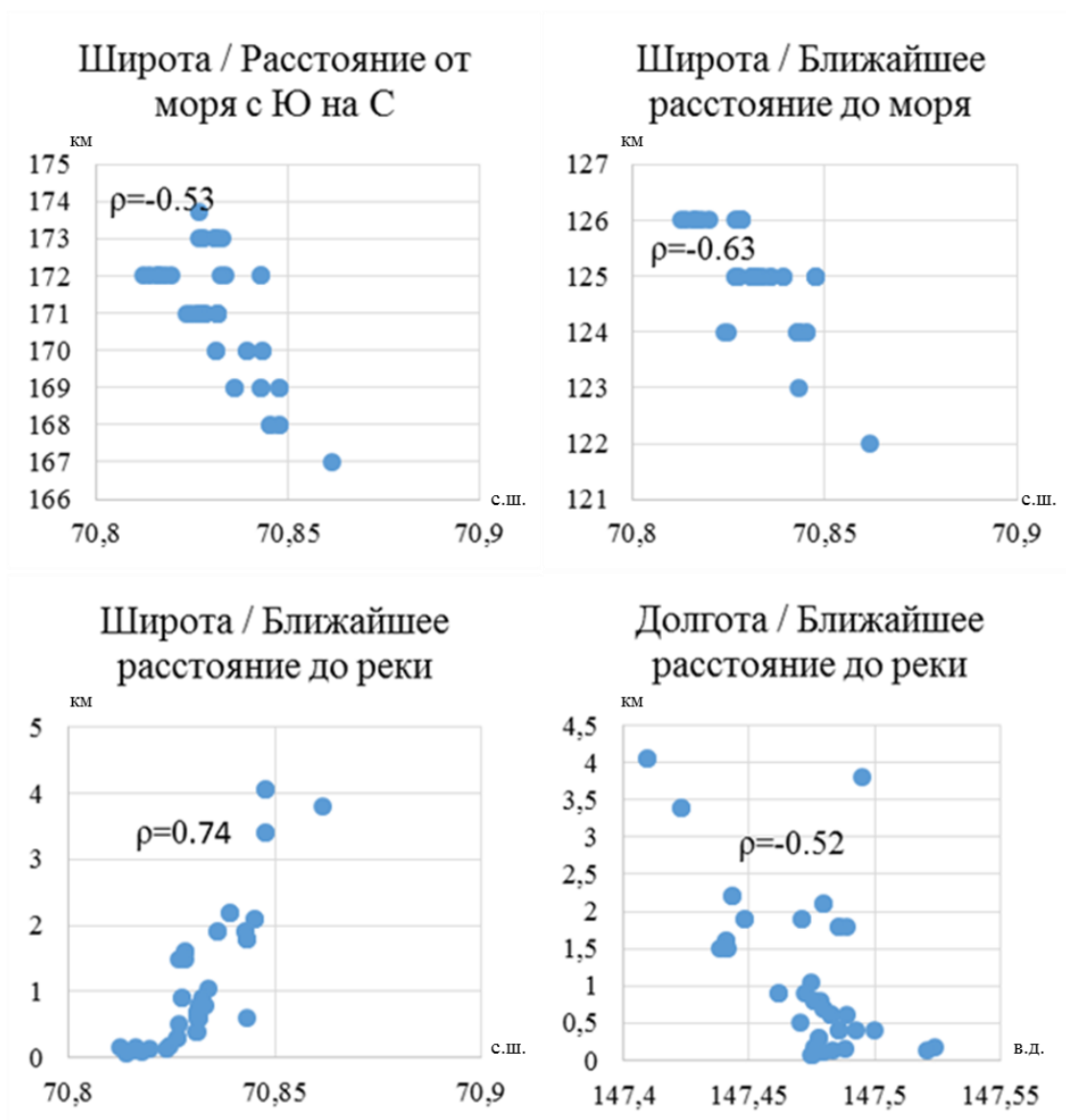
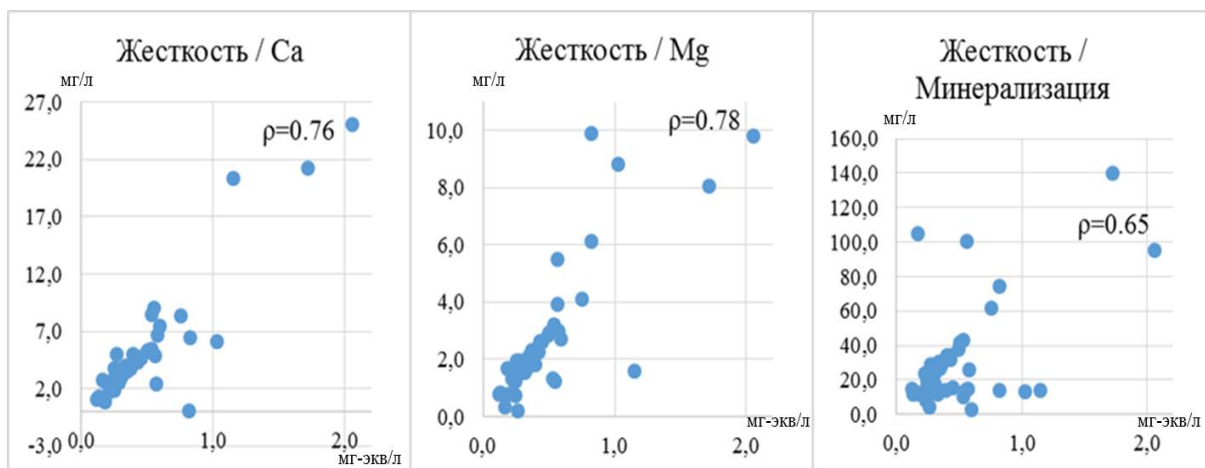


Рисунок 3.4.1 – Взаимные связи параметров местоположения водоёмов

Концентрация растворенного в воде кремния возрастает сонаправленно с концентрацией общего железа и кальция.

Взаимосвязи показателей, характеризующих диатомовые комплексы. Бореальные диатомеи (особи диатомей) в значительной степени представлены донными алкалифильными таксонами, обуславливающими разнообразие диатомовых комплексов и возрастание степени естественного загрязнения воды водоёмов, что хорошо согласуется с установленными корреляционными связями (рисунок 3.4.4, 3.4.5).



*Примечание: Жесткость – мг-экв/л; минерализация, Mg, Ca, Si, Fe_{общ.} – мг/л.

Рисунок 3.4.2 – Взаимные связи жесткости с ионами Ca, Mg и минерализации

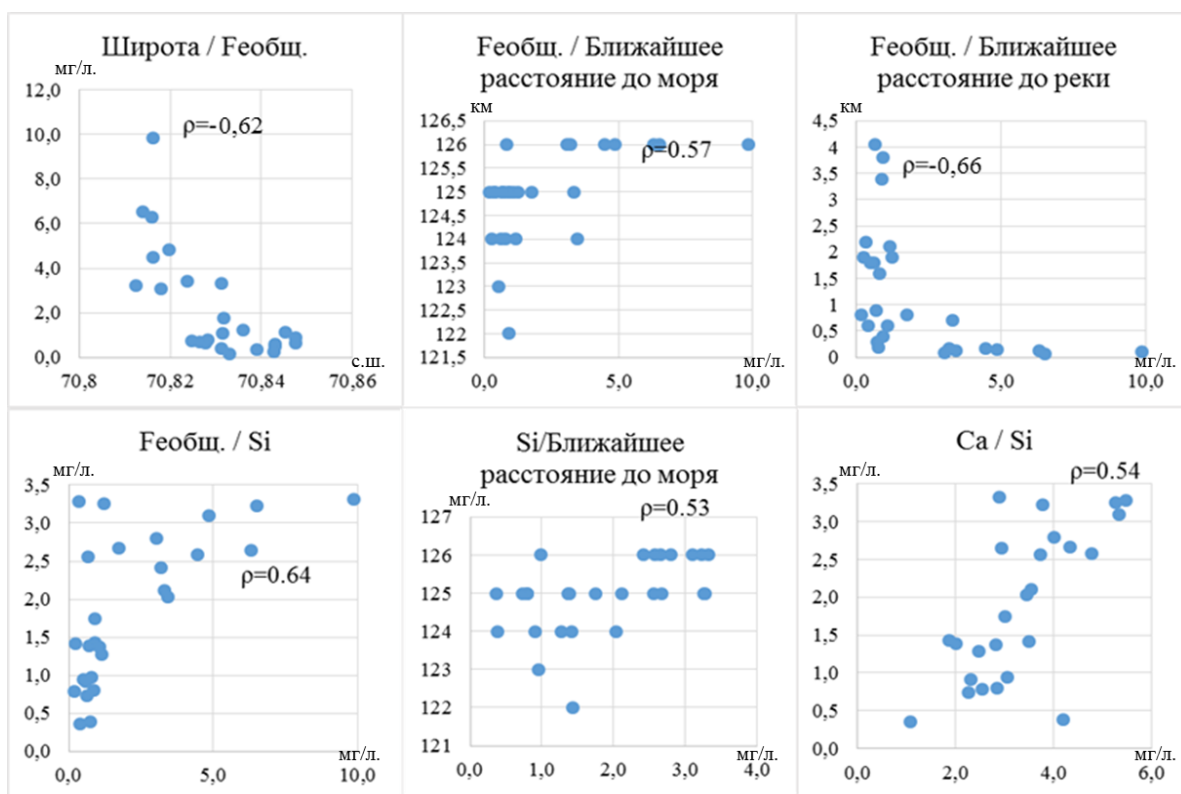


Рисунок 3.4.3 – Взаимные связи абиотических параметров между собой

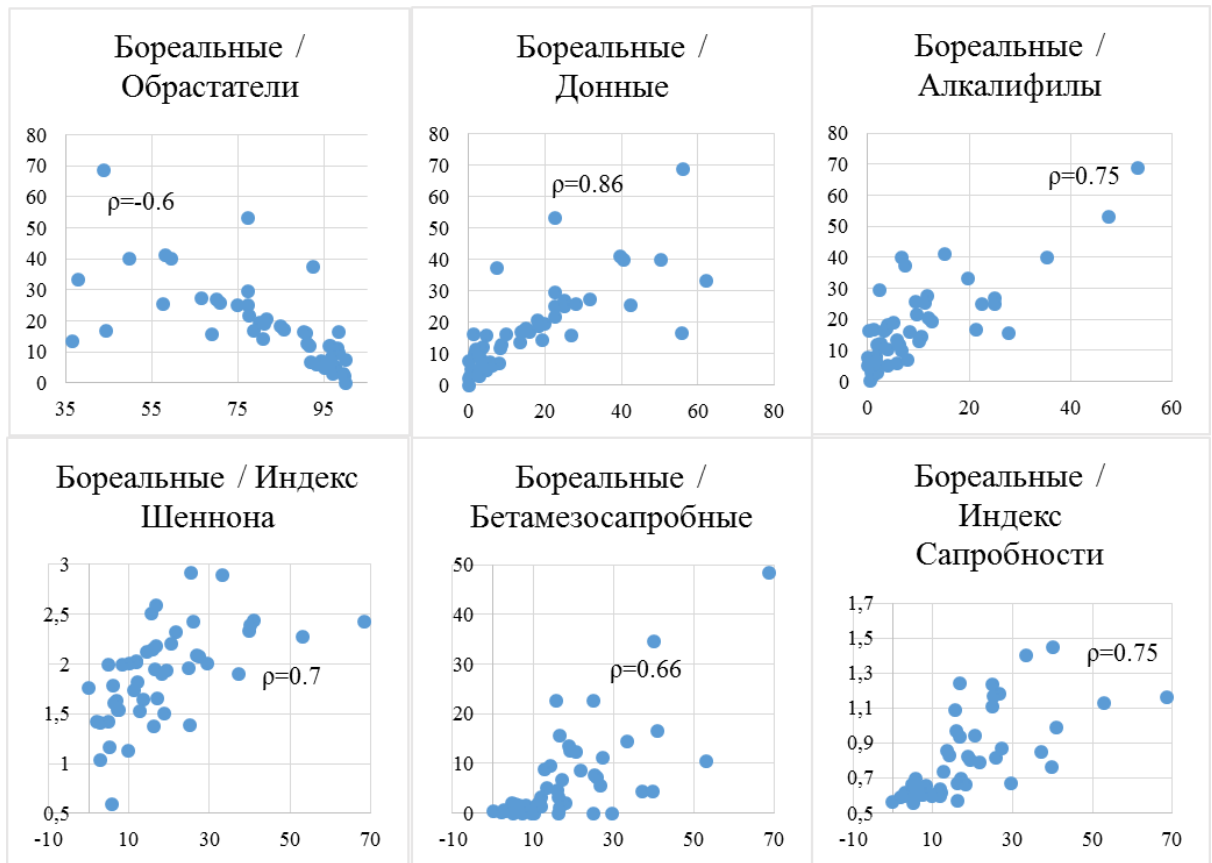


Рисунок 3.4.4 – Взаимные связи бореальных (ось *x*) диатомей и других экологических групп (ось *y*)

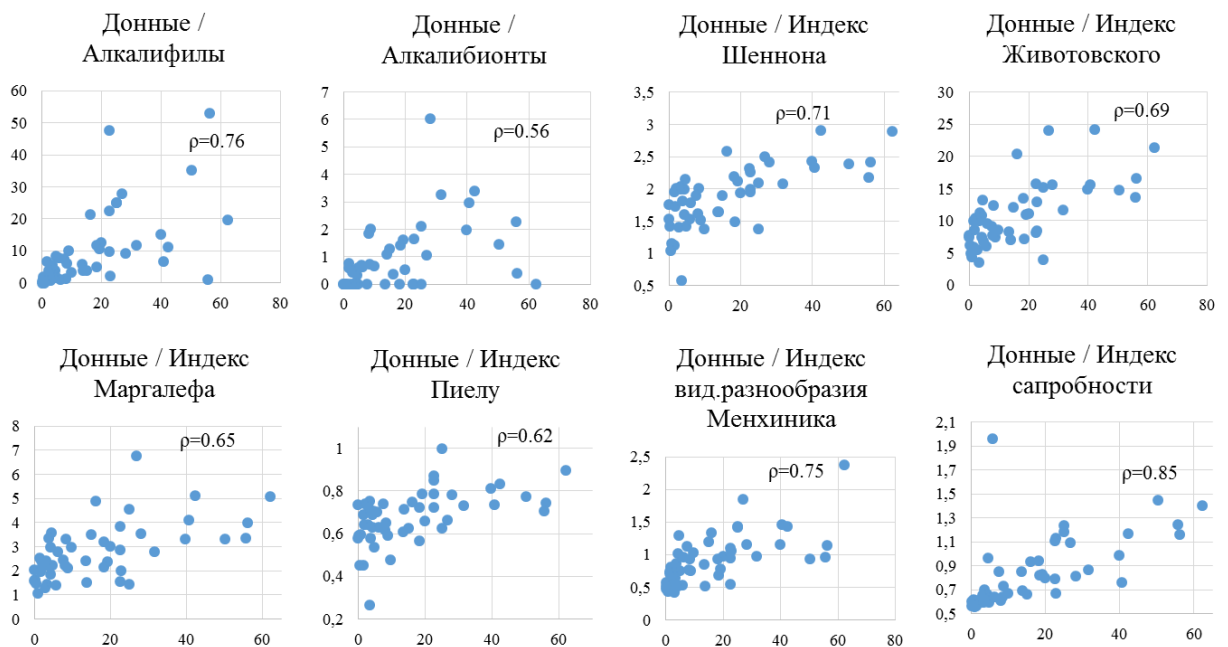


Рисунок 3.4.5 – Взаимные связи донных (ось *x*) диатомей и других экологических групп (ось *y*)

Космополитные диатомеи представлены в значительной степени обрастателями, предпочитающими олигосапробные условия (рисунок 3.4.6). Увеличение относительной численности космополитных диатомей сопровождается возрастанием дисбаланса диатомовых комплексов в сторону «массовых таксонов», на что указывает характер изменения индекса Пиелу и индекса разнообразия Симпсона.

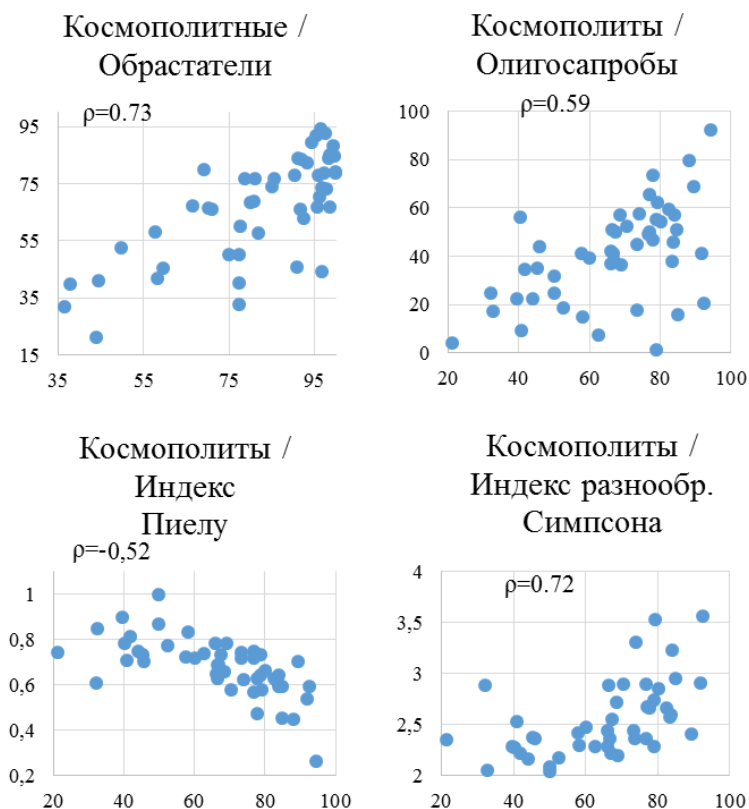


Рисунок 3.4.6 – Взаимные связи космополитных диатомей (ось x) и других экологических групп (ось y)

Для описываемых диатомовых комплексов наблюдается состояние, при котором возрастание количества особей обрастателей сопровождается сокращением представителей донных форм и наоборот (рисунок 3.4.7).

Галофобные таксоны диатомей в значительной степени предпочитают условия пониженного рН и чистой воды, индифференты по солености предпочитают нейтральный водородный показатель и очень чистую воду (рисунок 3.4.8).

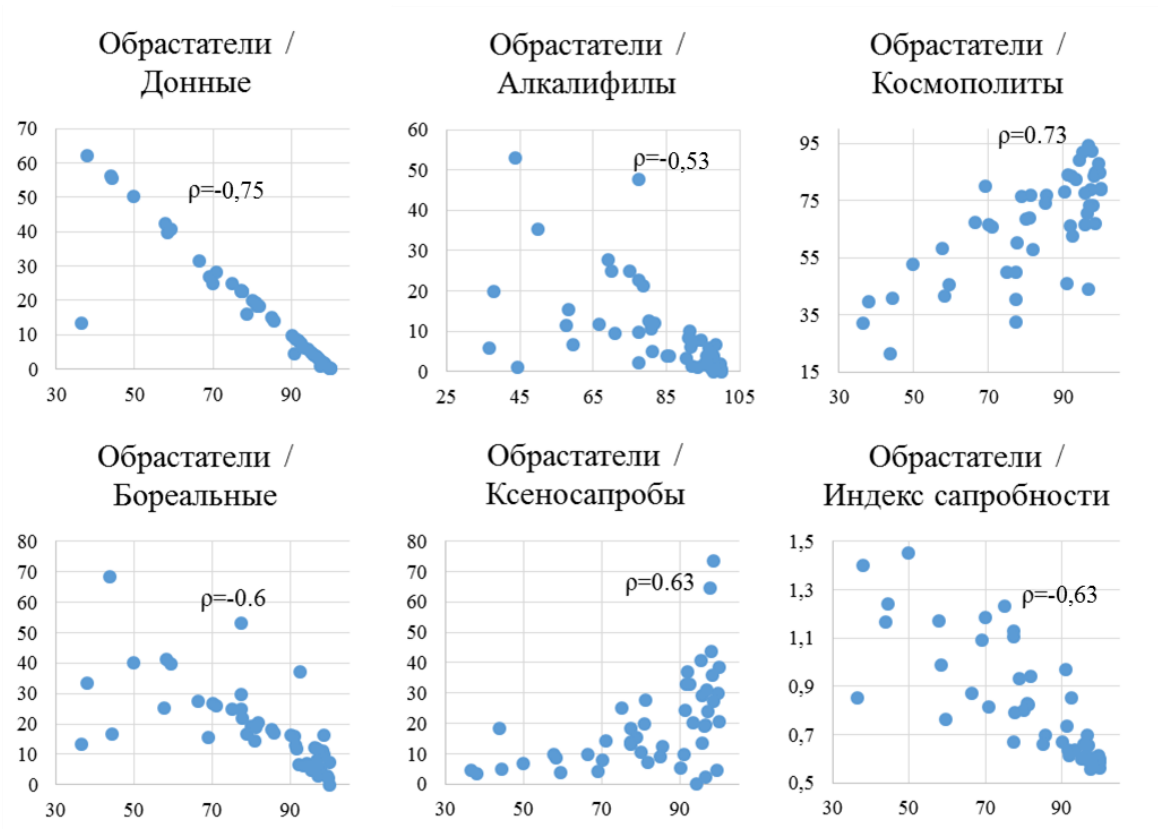


Рисунок 3.4.7 – Взаимные связи обрастателей (ось *x*) и других экологических групп (ось *y*)

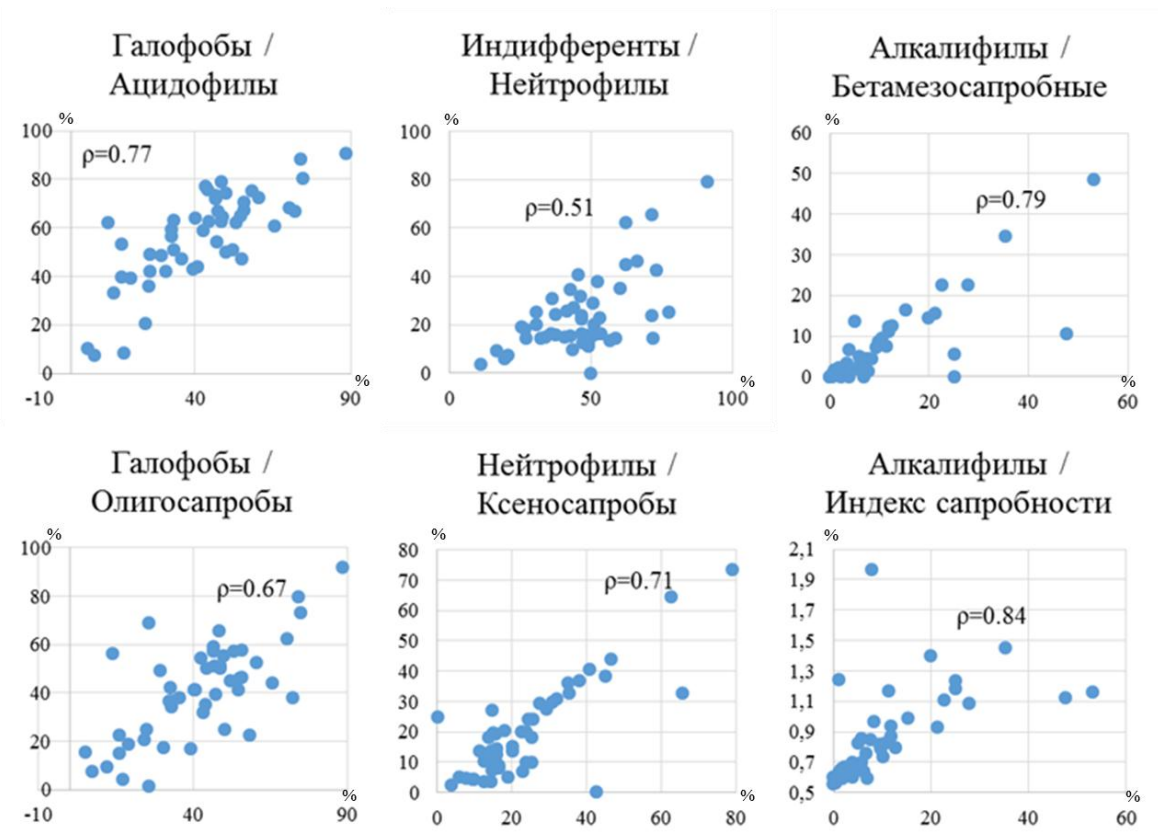


Рисунок 3.4.8 – Взаимные связи экологических групп диатомей

Краткие выводы к главе 3

Мониторинговые исследования модельного водоёма IP-1 показали, что зарегистрированные температуры воздуха и воды меняются параллельно и показывают аналогичные ежедневные закономерности в течение указанного периода времени. Температура воздуха и воды, существенно влияет на изменения уровня воды и незначительных вариаций удельной электропроводности мелкого водоёма IP-1. Данные датчиков почвы представляют в основном изменение показателей влажности при дифференциации в активном слое, и температура грунта, по-видимому, связана с температурой воздуха.

Таксономический состав ДК фитопланктона мониторингового водоёма является относительно бедным, эколого-географические предпочтения характерны для ультрапресных кислых вод дистрофного типа. Анализ связи между абиотическими параметрами и диатомовыми комплексами водоёма IP-1 показал, что значение концентрации створок диатомей довольно хорошо реагирует на изменение температуры воды. Корреляционный анализ показал, что $K_{\text{раст}}$ обладает положительной связью с T_a , оказывающей влияние на T_b , наряду с другими климатическими и гидрохимическими параметрами.

Морфометрические параметры большинства водоёмов полигона Кыталык имеют очень маленькие размеры, мелководны (до 0,8 м), округлые и близкие к округлой (88 %) формой. Все водоёмы имеют 100 % прозрачность, вода объектов исследования, главным образом, ультрапресная, очень мягкая с широким диапазоном рН (от кислых до слабощелочных значений).

Слабоминерализованная вода с повышенной концентрацией общего железа и ионов-аммония, относящиеся к двум классам вод – сульфатных группы натриевых (38 %), магниевых (19 %), кальциевых (9,5 %); классу гидрокарбонатных группе кальциевых (21,4 %), натриевых (9,5 %), магниевых (2,3 %).

В исследуемых водоёмах было зарегистрировано 152 вида (в том числе 2 разновидности), относящиеся к 38 родам, 21 семействам, 12 порядкам и 3 классам. Список массовых форм (доминанты и субдоминанты) насчитывает 40 видов. В диатомовой флоре преобладают группы форм обрастателей (51 %), индифферентов (63 %), ацидофилов (46 %) и космополитов (39,5 %). По классу качества воды водоёмы отнесены ко 2 классу качества, обладающими чистой водой (S от 0,6 до 1,5). Индексы разнообразия отражают достаточное количество «массовых видов», и меньшее количество «обычных» и «единичных» видов диатомовых водорослей.

Сравнительный анализ морфометрических и гидрохимических параметров водоёмов за 2011 и 2017 гг. говорит о прослеживании тенденции увеличения размеров исследуемых водоёмов в течение 6 лет, причем увеличение отмечается больше по изменению размеров (длина, ширина, площадь водного зеркала) и меньше по изменению глубины водоёмов, так же следует отметить то, что форма водоёмов и изрезанность береговой линии меняется в сторону округлой формы. Изменения гидрохимических характеристик отражает уменьшением водородного показателя, переходом 12 % водоёмов от класса гидрокарбонатных группы кальциевых до класса сульфатных группы натриевых вод.

По результатам сравнения диатомовых комплексов было выявлено, что в 2017 году диатомовая флора отмечается прибавлением 22 видов и относится одному классу *Vacillariophyceae*. В обоих годах отмечаются одни преобладающие роды, достигая до максимально 33 % во флоре. Виды, относящиеся к массовым видам, так же представлены одними видами в обоих годах. По эколого-географическим характеристикам, в обеих годах преобладают виды: обрастатели, индифференты, ацидофилы и космополиты. По степени загрязненности в обоих годах, водоёмы отнесены к категории чистых (II чистых) вод. Значения же индексов разнообразия в 2017 выше, чем в 2011 году, возможно это объясняется большим количеством видов, зарегистрированных в 2017 году (79 видов), чем в 2011 году (57 видов).

Корреляционный анализ исследованных водоёмов отражает удаление водоёмов от ближайших водотоков с продвижением на север и запад.

Наблюдаются положительные связи между концентрациями ионов магния, кальция, минерализацией воды и общей жесткостью. Значительная часть бореальных особей представлены донными алкалифильными таксонами, космополиты – обростателями. При возрастании доли обростателей наблюдается сокращение донных форм и наоборот. Обитатели пресной воды преимущественно развиваются при пониженных значениях рН и в чистой воде, индифференты при нейтральной рН среде и в очень чистой воде.

ГЛАВА 4. ВЫЯВЛЕНИЕ ЛИМНО-ГИДРОХИМИЧЕСКИХ И ЭКОЛОГО-ГЕОГРАФИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ ОЗЁР БАССЕЙНА РЕКИ ИНДИГИРКА

4.1 Особенности морфометрических показателей

Объектом исследования являются 42 озера, расположенные в бассейне реки Индигирка между $65^{\circ}10'–71^{\circ}10'$ с.ш. и $143^{\circ}36'–149^{\circ}19'$ в.д., на территории, простирающейся на 694 км с севера на юг и на 202 км с запад на восток (рисунок 4.1.1).

Изученные озёра были сгруппированы по типам растительности (по В.Н. Андрееву): озёра субарктической тундры (43 % озёр), озёра лесотундры (31 %) и северной тайги (26 %). Абсолютные высоты месторасположения озёр находятся в пределах от 4 м (Яно-Индигирская низменность) до 596 м (Момский хребет) над уровнем моря. Основная масса изученных озёр приурочена к равнинным территориям обширной Яно-Индигирской низменности (Левина и др., 2021).

Средняя высота уровня озёр постепенно возрастает с севера на юг, в том числе для водоёмов типичной тундры равна 11 м над уровнем моря, лесотундры – 39 м, для северной тайги – 89 м.

Морфометрия озёр отражает, с одной стороны, специфику развития озёрной котловины, с другой – процессы, протекающие в водной массе конкретного озера (Адаменко, 1985; Муравейский, 1960; Нежиховский 1973, 1976; Нестерева, 2014). В наших исследованиях к числу основных морфометрических характеристик озера нами отнесены: площадь зеркала озера, длина, ширина и изрезанность береговой линии, глубина, объём водной массы и форма озёрной котловины.

Площадь водного зеркала изученных озёр варьирует в широких пределах (от 0,003 до 157 км²), при длине береговой линии от 0,2 до 54 км (таблица 4.1.1).

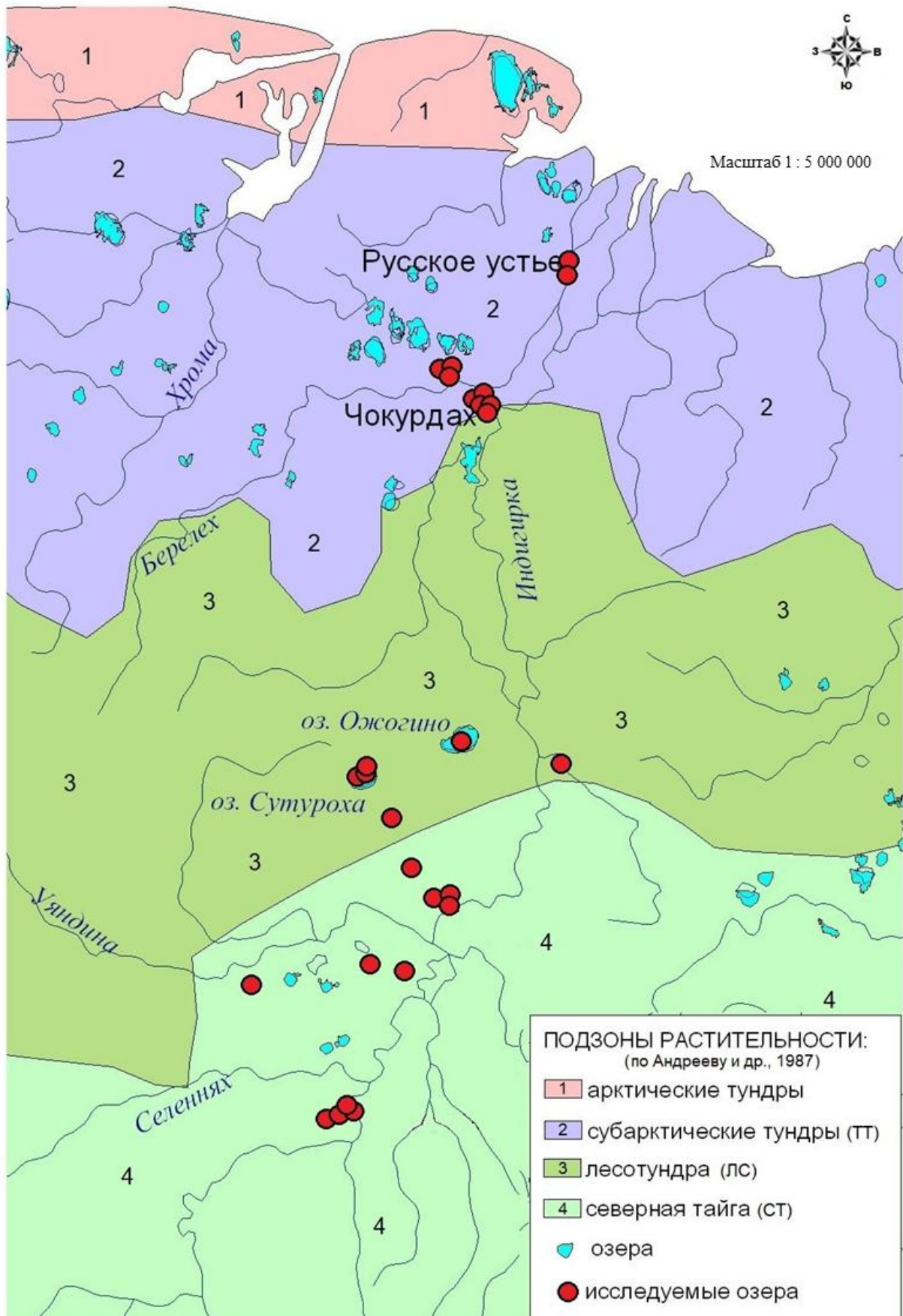


Рисунок 4.1.1 – Карта-схема расположения исследуемых озер (Пестрякова и др., 2015)

Длина озёрных котловин достигает от 0,1 до 28 км при ширине от 0,1 до 12 км. Максимальная глубина изученных водоёмов колебалась от 1,1 (Ю18) до 15 м (Ю42 или оз. Ожогоино).

Таблица 4.1.1 – Природные особенности исследованных групп озёр (Левина и др., 2021)

Характеристики озёр		Субарктическая тундра (n=18)	Лесотундра (n=13)	Северная тайга (n=11)
По генезису: 1 – водно-эрозионные, 2 – термокарстовые, 3 – эрозионно-термокарстовые, 4 – ледниковые		1 – 3 2 – 15	3 – 4 4 – 9	1 – 6 3 – 4 4 – 1
Абс. отметка уровня воды, м над уровнем моря (БС)		4 – 27* 11	11 – 49 39	25 – 596 88
Площадь водной поверхности, км ²		0,005 – 3,59 0,70	0,1 – 157 55,61	0,08 – 7,14 1,47
Приблизительный объем, млн м ³		0,000004 – 0,0057 0,001	0,0001 – 0,78 0,10	0,0001 – 0,0071 0,0013
Длина береговой линии, км		0,2 – 13,2 2,8	1,4 – 54 26,6	1,2 – 21,8 6,2
Длина озера, км		0,1 – 28,0 2,3	0,6 – 19,3 9,8	0,3 – 6 2,6
Ширина, км	средняя	0,1 – 2 0,5	0,43 – 12 5,7	0,2 – 2,8 1
	наибольшая	0,1 – 1,4 0,3	0,2 – 8,1 4,1	0,2 – 4,2 0,7
Наибольшая глубина, м		1,5 – 5,2 3,2	3,0 – 15,0 3,2	1,1 – 3,3 2,3
Средняя глубина, м		0,5 – 1,7 0,5	1,0 – 5,0 1,4	0,4 – 1,1 0,8
Показатель удлиненности		1,3 – 328,2 20,3	1,6 – 4,4 2,6	0,4 – 20,7 8,3
Изрезанность береговой линии		0,98 – 2,40 1,20	1,18 – 1,59 1,24	1,14 – 2,30 1,52
Прозрачность воды, см		20 – 280 180	30 – 250 50	18 – 100 40
Общая жесткость, мг-экв. /л		0,0 – 0,9 0,2	0,3 – 0,5 0,3	0,6 – 2,2 1,1
рН		4,0 – 8,6 7,0	7,2 – 9,0 8,1	6,02 – 8,8 7,5
Минерализация воды, мг/л		16,5 – 119,0 73,4	61,6 – 155,3 81,7	54,1 – 247,2 123,4

***Примечание:** Здесь жирным текстом и серым цветом отмечены максимальные значения по выборке.

По классификации С. П. Китаева значительная часть (74 %) озёр обладает очень малой (меньше 3,12 м) глубиной (таблица 4.1.2). По значениям средней глубины 97 % озёр отнесены к очень малым. Незначительная глубина почти всех озёр района исследований обусловлена, прежде всего, суровыми

природно-климатическими условиями региона, повсеместным распространением многолетней мерзлоты, где сезонно-талый слой не превышает 0,4-0,8 м.

Таблица 4.1.2 – Классификация озер по морфометрическим параметрам (Левина и др., 2021)

Показатель водоёма	Субарктическая тундра (n=18)	Лесотундра (n=13)	Северная тайга (n=11)
по величине площади водного зеркала [по П. В. Иванову и И. С. Захаренкову]			
озерки (0,001–0,01 км ²)	1	-	-
маленькие (0,01–0,1 км ²)	6	-	3
малые (0,1–1,0 км ²)	8	4	2
небольшие (1,0–10,0 км ²)	3	-	6
средние (10–100 км ²)	-	8	-
большие (100–1000 км ²)	-	1	-
по максимальной глубине [по С. П. Китаеву]			
с очень малой глубиной (меньше 3,12 м)	11	10	10
с малой глубиной (3,12–6,25 м)	7	2	1
со средней глубиной (6,25–12,5 м)	-	-	-
с повышенной глубиной (12,5–25 м)	-	1	-
по средней глубине [по С. П. Китаеву]			
очень малые (меньше 2 м)	18	12	11
малые (2–4 м)	-	-	-
средние (4–8 м)	-	1	-
по коэффициенту удлиненности (K_{удл}) [по С. В. Григорьеву]			
округлая (K _{удл} < 1,5)	3	-	2
близкая к округлой (K _{удл} = 1,5–3,0)	12	11	4
близкая к овальной (K _{удл} = 3,0–5,0)	2	2	-
овально-удлиненная (K _{удл} = 5,0–7,0)	-	-	-
удлиненная (K _{удл} = 7,0–10,0)	1	-	5
по степени развития береговой линии			
круглое озеро (<2)	17	13	9
слабоизрезанные (2,0–6,0)	1	-	2

***Примечание:** Жирным текстом и серым цветом отмечены максимальные значения по выборке.

Рассматриваемые озёра по величине площади зеркала, в соответствии с классификацией П. В. Иванова (Иванов, 1948), распределились неравномерно по растительным зонам. Большинство озёр субарктической тундры оказались малыми (до 33 %) и небольшими (до 44 %). Последние характерны и для северной тайги (до 55 %). В лесотундре преобладают средние озёра (до 62%).

По коэффициенту удлиненности можно судить о вытянутости озёрной котловины. Форма водного зеркала объектов исследования определена по значениям коэффициента удлиненности (K_{удл}) с использованием

классификации С. В. Григорьева (Григорьев, 1959), где этот показатель в нашем наборе менялся от 1,3 до 20. Согласно выполненным расчётам, большинство озёр (до 64 %) имеют близкие к округлым формам котловины, преобладание такой формы отмечено в зонах субарктической тундры (до 67 %) и лесотундры (до 85 %). В зоне северной тайги наиболее многочисленными являются удлинённые озёра (до 46 %).

Из всех исследованных объектов по основным морфометрическим показателям значительно выделяются озера, расположенные в лесотундровой зоне (рисунок 4.1.2). Это два крупных уникальных озера региона, такие как Ожогоино (157 км²) и Сутуруоха (71 км²), имеющие предположительно ледниковое происхождение (Пестрякова и др., 2015). Морфометрические характеристики этих озёр почти в 2-4 раза превышают значения других водоёмов, образуя сильную вариацию всей выборки.

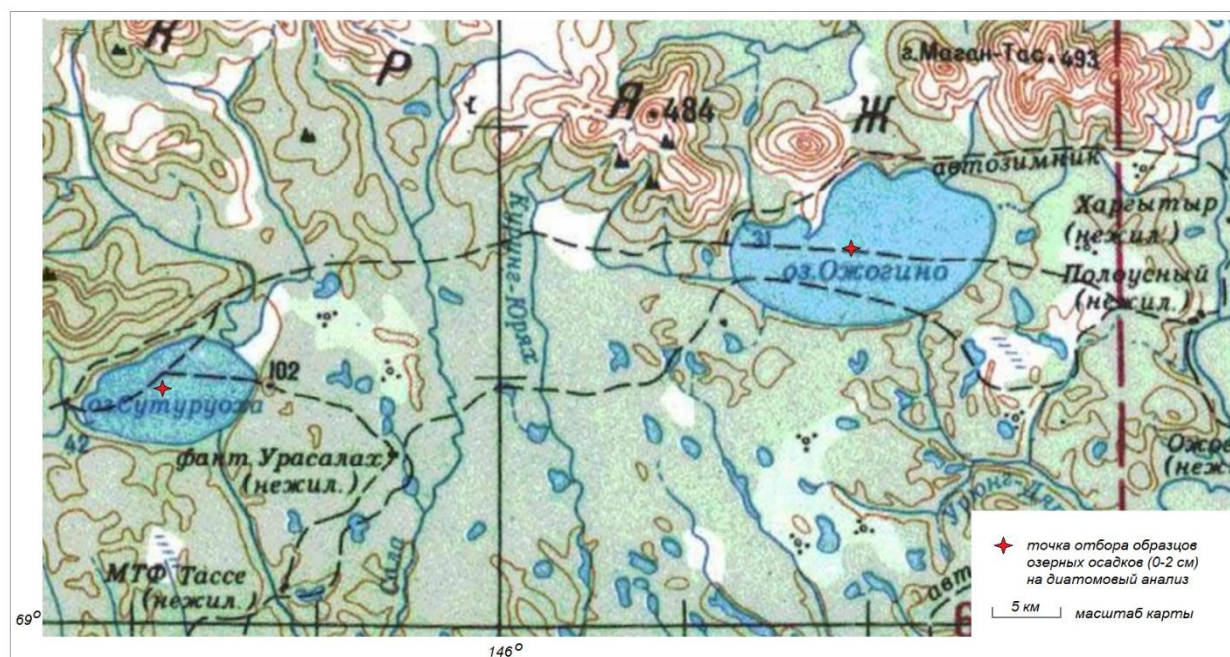


Рисунок 4.1.2 – Карта-схема расположения крупных ледниковых озёр

Ожогоино — мелкое (15 м) пресноводное озеро в Абыйском улусе Якутии (на границе с Аллаиховским улусом), самое крупное в улусе. Находится в Абыйской низменности у южных склонов Полоусного кряжа. Замерзает в конце сентября, вскрывается в начале июня. Из озера вытекает река (протока)

Ожогин (левый приток Индигирки). Питание снеговое и дождевое (Ресурсы поверхностных..., 1966).

Постановлением Правительства Республики Саха от 6 марта 1996 г. N 95 в 1996 году создан ресурсный резерват республиканского значения «Озеро Ожогино» в административных границах Абыйского и Аллаиховского улусов без ограничения срока действия. Общая площадь территории 203 756,0 га. Природоохранная зона была создана для охраны ихтиофауны озера, сохранения и воспроизводства путей миграции сиговых рыб по протоке Ожогино в период нереста, когда рыба массово заходит из реки Индигирки в озеро, а затем выходит обратно. Также озеро способствует сохранению водоплавающей дичи, пушных зверей и диких копытных животных, редких птиц и мест их обитания. На озере имеются редкие виды растений. Поддерживается общий экологический стандарт озера (Озеро Ожогино..., 2021).

Второе большое по размерам Сутуруоха, мелководное озеро (3,1 м) в Абыйском улусе Якутии, в среднем течении реки Индигирки, к западу от нее. Находится в Абыйской низменности у юго-восточных склонов Полоусного кряжа. Имеет овальную форму, вытянувшись на 13 км с запада на восток. В отличие от большинства озёр региона оно имеет ледниковое происхождение (Озеро Сутуруоха..., 2009; Пестрякова и др., 2015). Замерзает в конце сентября, вскрывается в июне. Из озера вытекает река Сутуруоха (левый приток Индигирки). Питание снеговое и дождевое.

Отличительная особенность водоёмов, расположенных в зоне северной тайги – относительно высокое положение озёр над уровнем моря (до 596 м), сильная изрезанность (расчлененность) их береговой линии, значительная вытянутость озёрных котловин.

4.2 Физические и химические параметры воды

Прозрачность воды в гидрологии и океанологии – это отношение интенсивности света, прошедшего через слой воды, к интенсивности света, входящего в воду. Прозрачность воды – величина, косвенно обозначающая количество взвешенных частиц и коллоидов в воде согласно авторам (ПНД Ф 12.16.1–10, 2013). Прозрачность воды по диску Секки изменялась в диапазоне от 18 до 280 см. Все озёра субарктической тундры, лесотундры и большинство озёр северной тайги (54 %) характеризуются прозрачной водой (таблица 4.2.1). Озёра лесотундры с низкими показателями прозрачности или мутной водой расположены вблизи населённых пунктов: мутные – с. Сутуруоха (Абыйский улус), средне мутные – с. Куберганя (Абыйский улус) и с. Чокурдах (Аллаиховский улус). По происхождению котловин мутная вода отмечена в водно-эрозионных озёрах северной тайги.

Таблица 4.2.1 – Оценка прозрачности вод изученных озёр по группам и генезису

Оценка прозрачности	Субарктическая тундра		Лесотундра		Северная тайга		
	ВЭ (n=3)	Те (n=15)	ЭТ (n=4)	Ле (n=9)	ВЭ (n=6)	ЭТ (n=4)	Ле (n=1)
Прозрачная (более 30 см)	3	15	4	9	3	2	1
Слабо мутная (25-30 см)	-	-	-	-	-	-	-
Средне мутная (20-25 см)	-	-	-	-	1	2	-
Мутная (10-20 см)	-	-	-	-	2	-	-
Очень мутная (менее 10 см)	-	-	-	-	-	-	-

***Примечание:** здесь и далее озёра по генезису. ВЭ – водно-эрозионные, Те – термокарстовые, ЭТ – эрозионно-термокарстовые, Ле – ледниковые; жирным шрифтом и серым цветом отмечены максимальные значения по выборке.

Водородный показатель рН варьирует в пределах от 4,01 (кислая среда) до 8,95 (щелочная). При этом во всех группах в целом преобладали озёра со слабощелочной средой (таблица 4.2.2). Озёра северной тайги характеризуются рН средой, равной от 6 до 8,8, т. е. средой от слабокислой до щелочной с

преобладанием слабощелочных вод. По происхождению здесь доминируют водно-эрозионные озёра со слабощелочными водами.

Водородный показатель озёр зоны лесотундры варьирует от 7,2 до 9 – от нейтральных до щелочных значений. По генезису котловин почти все ледниковые озёра имеют слабощелочную среду. А эрозионно-термокарстовые озёра имели щелочные воды.

Таблица 4.2.2 – Классификация природных вод по pH изученных озёр

Группа озёр по pH	Субарктическая тундра		Лесотундра		Северная тайга		
	ВЭ (n=3)	Те (n=15)	ЭТ (n=4)	Ле (n=9)	ВЭ (n=6)	ЭТ (n=4)	Ле (n=1)
Кислые (от 3,0 до 5,0)	-	2	-	-	-	-	-
Слабокислые (от 5,0 до 6,5)	1	1	-	-	1	1	1
Нейтральные (от 6,5 до 7,5)	-	7	-	1	-	2	-
Слабощелочные (от 7,5 до 8,5)	2	4	1	8	4	-	-
Щелочные (от 8,5 до 9,5)	-	1	3	-	1	1	-

Озёра обладают водой с диапазоном реакции среды от кислой до щелочной (от 4 до 8,6). Здесь преобладают термокарстовые озёра с нейтрально-слабощелочными водами.

Величина **общей жесткости** озёрных вод варьирует от 0,01 до 2,2 мг-экв/л. Практически все изученные озёра реки Индигирка (95 %) имеют «очень мягкие» воды (таблица 4.2.3).

Таблица 4.2.3 – Классификация природных вод по общей жесткости

Группа озёр по общей жесткости вод	Субарктическая тундра		Лесотундра		Северная тайга		
	ВЭ (n=3)	Те (n=15)	ЭТ (n=4)	Ле (n=9)	ВЭ (n=6)	ЭТ (n=4)	Ле (n=1)
Очень мягкие (менее 1,5)	-	2	-	-	4	4	1
Мягкие (1,5-3,0)	1	5	-	1	2	-	-

В природных водоёмах содержится множество растворимых примесей неорганического происхождения. Они и определяют основные физические свойства воды, и в том числе электропроводность. Удельная

электропроводность, измеренная в полевых условиях, колебалась от 4,7 до 380,3 мкСм/см.

По минерализации воды всех изученных озёр являются ультрапресными (ниже 250 мг/л) (таблица 4.2.4).

Таблица 4.2.4 – Гидрохимические характеристики вод исследуемых озёр

Группа озёр	Субарктическая тундра		Лесотундра		Северная тайга		
	ВЭ (n=3)	Те (n=15)	ЭТ (n=4)	Ле (n=9)	ВЭ (n=6)	ЭТ (n=4)	Ле (n=1)
Прозрачность (м)	$\frac{0,3-0,4}{0,4}$	$\frac{1,3-2,8}{2,0}$	$\frac{0,3-0,5}{0,4}$	0,32	$\frac{0,2-0,6}{0,3}$	$\frac{0,2-1,0}{0,5}$	1,0
pH	$\frac{6,4-7,8}{7,3}$	$\frac{4,0-8,6}{7,0}$	$\frac{7,8-9,0}{8,6}$	$\frac{7,1-7,9}{7,8}$	$\frac{6,0-8,8}{7,7}$	$\frac{6,5-8,6}{7,4}$	6,3
Жесткость общая расчетная, мг- экв/л	$\frac{0,5-0,9}{0,8}$	$\frac{0,01-0,04}{0,02}$	$\frac{0,6-0,9}{0,7}$	$\frac{0,5-0,8}{0,5}$	$\frac{0,6-2,2}{1,3}$	$\frac{0,7-1,1}{1,0}$	1,1
Электропроводность, мкСм/см	$\frac{112,3-149}{124,8}$	$\frac{4,7-183}{105,8}$	$\frac{87,7-145}{120,4}$	110,0	$\frac{84,8-340}{200,3}$	$\frac{81,5-154}{118,4}$	380
Минерализация, мг/л	$\frac{72,0-73,2}{72,8}$	$\frac{16,5-119,0}{73,5}$	$\frac{61,6-155,3}{109,1}$	$\frac{68,3-78,7}{69,5}$	$\frac{54,1-221}{128,6}$	$\frac{61,0-100}{84,6}$	247
Железо общ., мг/л	$\frac{0,1-0,4}{0,3}$	0,0	$\frac{0,1-0,2}{0,2}$	0,3	$\frac{0,0-0,2}{0,1}$	$\frac{0,1-0,8}{0,4}$	0,1
Кальций, мг/л	$\frac{4,0-9,2}{7,5}$	$\frac{0,9-3,9}{2,0}$	$\frac{4,0-6,0}{4,5}$	$\frac{4,0-13,4}{5,0}$	$\frac{2,0-12,8}{6,5}$	$\frac{2,0-22,0}{9,1}$	17,2
Магний, мг/л	$\frac{3,6-5,1}{4,6}$	$\frac{0,5-3,0}{1,5}$	$\frac{4,9-8,5}{5,8}$	$\frac{1,8-3,6}{3,4}$	$\frac{3,2-21}{11,5}$	$\frac{0,0-10,9}{6,1}$	3,2
Кремний, мг/л	$\frac{1,2-1,4}{1,3}$	0,0	$\frac{0,8-2,8}{2,0}$	2,80	$\frac{0,4-3,2}{1,6}$	$\frac{0,0-3,7}{2,4}$	0,0
Аммоний, мг/л	$\frac{0,3-0,4}{0,4}$	$\frac{0,1-0,3}{0,2}$	$\frac{0,1-0,3}{0,2}$	$\frac{0,3-0,5}{0,3}$	$\frac{0,03-0,4}{0,2}$	$\frac{0,1-0,3}{0,2}$	0,1
Сумма натрия и калия, мг/л	$\frac{3,5-9,7}{5,6}$	$\frac{0,6-2,5}{1,2}$	$\frac{0,2-36,7}{19,3}$	$\frac{1,3-8,7}{7,9}$	$\frac{0,5-46}{10,6}$	$\frac{0,1-8,7}{3,2}$	50,8
Фосфаты, мг/л	0,0	$\frac{0,0-0,1}{0,01}$	0,0	$\frac{0,0-0,2}{0,02}$	$\frac{0,0-0,004}{0,001}$	$\frac{0,00-0,02}{0,01}$	0,0
Гидрокарбонаты, мг/л	$\frac{45,8-48,8}{46,8}$	$\frac{4,8-48,3}{12,1}$	$\frac{42,7-48,8}{44,2}$	$\frac{48,8-61,0}{50,2}$	$\frac{36,6-128}{86,4}$	$\frac{47,0-73,2}{61,8}$	117,1
Сульфаты, мг/л	$\frac{0,8-1,2}{0,9}$	$\frac{0,1-4,4}{0,6}$	$\frac{0,0-63,8}{31,6}$	$\frac{0,0-0,5}{0,06}$	$\frac{0,0-1,0}{0,2}$	$\frac{0,0-5,3}{1,5}$	33,0
Хлориды, мг/л	$\frac{4,3-8,5}{7,1}$	$\frac{0,2-2,4}{0,9}$	$\frac{2,8-4,3}{3,5}$	$\frac{0,6-2,8}{2,6}$	$\frac{2,8-60}{13,4}$	$\frac{1,0-4,3}{2,6}$	25,6

Структура катионов и анионов по классификации О.А. Алекина (Алекин, 1970) представлена преобладанием вод класса гидрокарбонатных группы магниевых (50 %), 28 % вод имели воду класса гидрокарбонатных группы кальциевых, 9 % характеризуются водой класса гидрокарбонатных группы натриевых (рисунок 4.2.1).

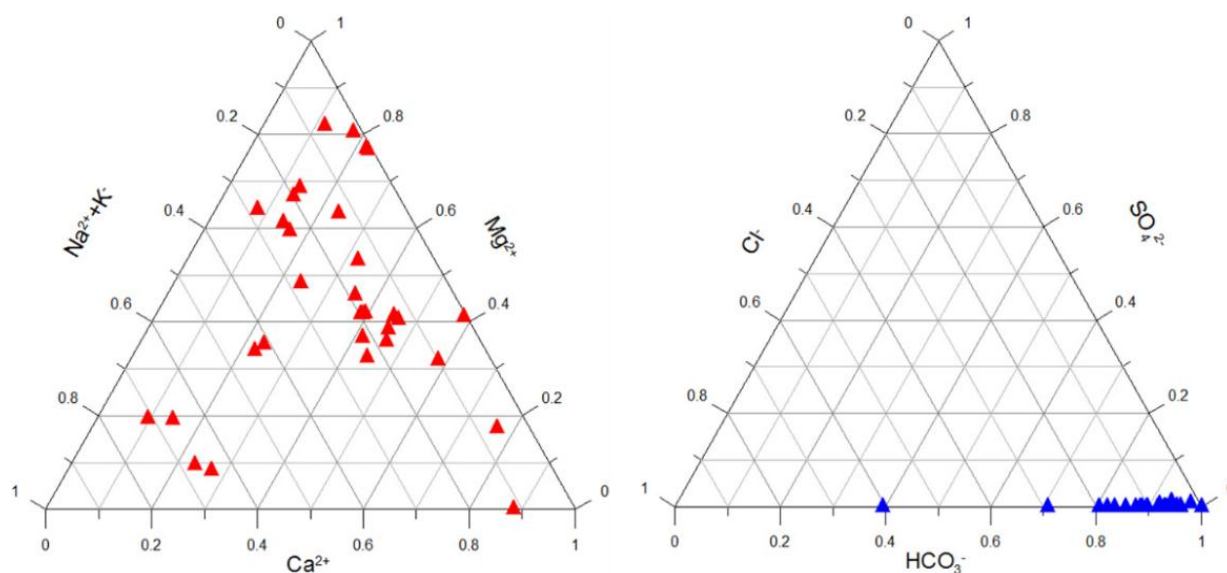


Рисунок 4.2.1 – Катионный и анионный составы озёрных вод бассейна реки Индигирка

Незначительная доля озёр имели сульфатную натриевую (6 %), сульфатную кальциевую (3 %), и хлоридную натриевую воду (3 %). Гидрохимический состав вод исследованных озёр по О. А. Алекину и М. Г. Курлову приведен в таблице 4.2.5.

Вода изученных озёр так же была охарактеризована по формуле М. Г. Курлова (Курлов, 1928), рассчитанная для 32 озёр, в остальных 10 содержание анионов оказалось <5 %.

Вода большинства озёр была отнесены к гидрокарбонатным (81 %) 12 озёр субарктической тундры, 3 лесотундры и почти все водоёмы северной тайги (92 %, 11 озёр); хлоридно-гидрокарбонатным 6 % (по 1 озеру зоны ЛС и ТТ); гидрокарбонатно-сульфатным 3 озера (2 – северной тайги, 1 – типичной тундры); одно озеро характеризуется гидрокарбонатно-хлоридной водой (Ю6, северная тайга) (таблица 4.2.5).

Концентрация общего железа в воде исследуемых озёр варьирует от 0,05 мг/л до 0,8 мг/л. Превышение ПДК для рыбохозяйственных водоёмов отмечено для 18 озёр по содержанию общего железа (0,1 мг/л), с превышением ПДК до 4 раз.

По классификации О.А. Алекина (Алекин, 1970) большинство вод отнесены к классу гидрокарбонатных (28 озер, 88 %), к классу сульфатных (9 %) и хлоридных (3 %) отнесены воды лишь 3 и 1 озера соответственно.

Распределение характеристик озёрных вод внутри групп по типам растительности показало, что озёра **субарктической тундры** распределились как с гидрокарбонатной магниевой (6), гидрокарбонатной кальциевой (7) водой и сульфатной кальциевой (1).

Озёрные воды группы **лесотундры** относились к трем типам: гидрокарбонатной магниевой (2), гидрокарбонатной натриевой (2), сульфатной натриевой (2).

В группе озёр **северной тайги** характеризуется выраженным разнообразием по химическому составу: гидрокарбонатная кальциевая (2), гидрокарбонатная натриевая (1), гидрокарбонатная магниевая (8), хлоридная натриевая (1). Таким образом по всем водоёмам преобладают воды класса гидрокарбонатных группы магниевых составляя по всей выборке 50 % исследуемых вод, далее следует класс гидрокарбонатных группа кальциевых со значением 28 % всех озёр.

Значительная часть (75 %) озёр характеризуется ультрапресной водой, а пресной всего 25 % водоёмов.

4.3 Таксономическая и эколого-географическая структура диатомовых комплексов в поверхностных осадках озёр

Диатомовые водоросли изученных озёр представлены 257 видами (в т.ч. 4 разновидности) диатомей, относящихся к 75 родам, 30 семействам, 15 порядкам, 3 классам *Bacillariophyta* (Приложение 1). Из них самый многочисленный класс *Bacillariophyceae*, включает 12 порядков, 27 семейств, 67 родов, 239 видов (93 % от общего числа видов). Таксономический состав диатомовой флоры исследованных озёр состоит в основном из представителей класса *Bacillariophyceae*, насчитывая 93 % всей флоры.

Нами выполнен анализ таксономической структуры диатомей с точки зрения богатства ведущих семейств, имеющих важное значение (Толмачев, 1974), проведенный по А. С. Стениной (Стенина, 2009), который основан на соотношении семейств по числу таксонов рангом ниже рода. Из-за продолжающихся таксономических преобразований, в частности, перевода многих разновидностей в ранг видов, что было учтено в настоящей работе при проведении таксономической характеристики диатомей.

Ведущим семейством среди зарегистрированных диатомей является семейство *Cymbellaceae*, класса *Bacillariophyceae*, включающее 20 видов и разновидностей, относящихся к 8 родам, что составляет 10,7 % всего состава. Второе место принадлежит семейству *Naviculaceae*, представленному 24 видами и разновидностями, относящимися к 7 родам (9,3 % флоры), далее на третьем-четвертом месте расположены два семейства *Stephanodiscaceae* и *Achnanthesiaceae*, представленные 9 и 14 видами и разновидностями, относящимися к 6 родам (8 % флоры); семейства *Naviculaceae* и *Achnanthesiaceae* являются представителями класса *Bacillariophyceae*, в то время как семейство *Stephanodiscaceae* относится к классу *Mediophyceae*. Далее семействами, занимающими 5-11 места, являются *Gomphonemataceae* (26 таксонов), *Tabellariaceae* (9 таксонов), *Bacillariaceae* (16), *Fragilariaceae* (7),

Staurosiraceae (13), Stauroneidaceae (11), Surirellaceae (13), представленные 5, 4 и 3 родами, соответственно.

Анализ структуры семейств исследованных водоёмов показывает, что 11 семейств включают 162 вида и разновидности из 253, что составляет 64 % флоры, семейства представлены от 3 до 8 родами. 24 семейства из 30 представлены 1-3 родами, что составляет 80 %, из них лишь одним родом представлены 14 семейств (46,7 %), первые же 6 семейств включают от 4 до 8 родов (рисунок 4.3.1).

В исследованных озёрах наиболее распространёнными семействами оказались Cymbellaceae (8 родов), Naviculaceae (7), Achnanthidiaceae и Stephanodiscaceae (по 6).

Проведен анализ родового спектра, который тоже является одним из важных показателей флористического богатства. Ведущими родами в диатомовой флоре изученных озёр являются *Eunotia* и *Pinnularia*, занимающие 1 место и представленные 16 видами и разновидностями, что составляет 6,2 % флоры. Далее следуют роды *Gomphonema*, *Navicula*, включающие по 13 видов и разновидностей (5,1 %). Далее следует род *Nitzschia* (12, т.е. 4,7 %). С 6 по 11 место занимают роды *Encyonema*, *Diploneis*, *Neidium* (6-8 место), *Staurosira* (9 место) и *Aulacoseira*, *Stauroneis* (10-11 место), данные роды включали 10, 9 и 8 видов соответственно по местам.

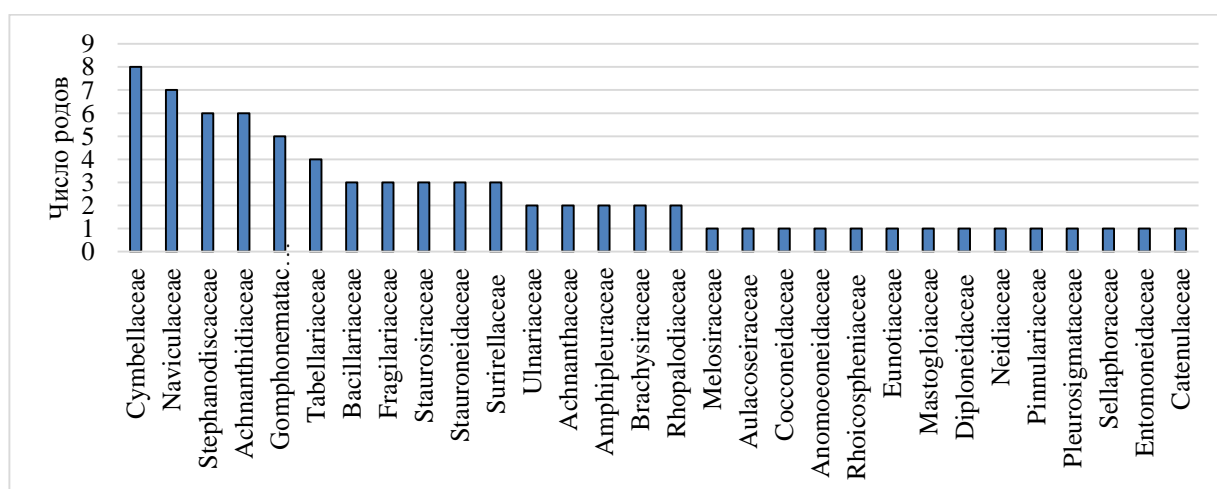


Рисунок 4.3.1 – Распределение родового богатства диатомовых водорослей по семействам

Роды, занимающие с 1 по 11 место в спектре, включают 125 видов и разновидностей, что составляет 49,4 %, т. е. половину от общего разнообразия флоры и являются представителями класса Bacillariophyceae, кроме рода *Aulacoseira*, который относится к классу Coscinodiscophyceae. Первые 5 родов включают 27,7 % флоры. Количество одно- двувидовых родов составляет 47 (18,6 %), среди них одним видом представлены 40 родов (рисунок 4.3.2).

Ведущими родами диатомей являются *Eunotia* и *Pinnularia* (по 16 видов), *Gomphonema* и *Navicula* (по 13 видов) и *Nitzschia* (12 видов). Доля одно- и двувидовых родов равна 61,3 %.

Несмотря на обилие видов к массовым формам можно отнести 55 видов. Из них только в роли доминантов выступают 14 видов, только в роли субдоминантов 24 вида, и остальные виды переходят из первой группы во вторую и обратно. Из массовых видов самыми «активными» и постоянными оказались виды: *Staurosira venter* (встречается как доминант в 50 % озёр), *Staurosirella pinnata* (в 29 %) и *Tabellaria flocculosa* (в 25 %). Все три вида – типичные массовые виды водоёмов Якутии (Пестрякова, 2008б; Городничев, 2015). Из них вид *Tabellaria flocculosa* характерен для торфяных болот и моховых подушек Севера и гор. В нашем наборе он доминировал в озёрах субарктической тундры (достигая до 47 % в водоёме Ю32) (рисунок 4.3.3). Список массовых форм ДК озёр представлен в Приложении 6.

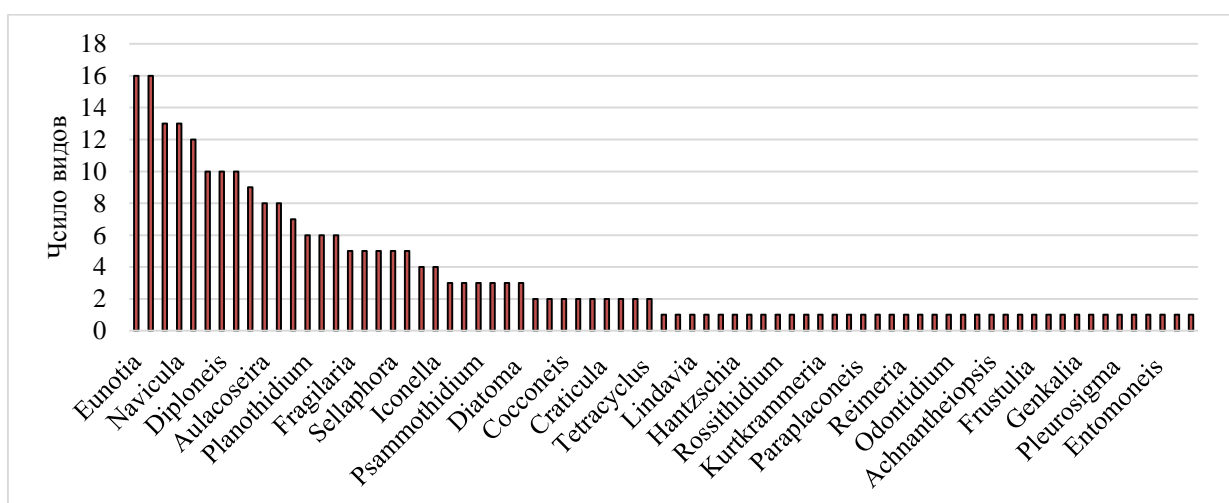


Рисунок 4.3.2 – Распределение видового богатства диатомовых водорослей по родам

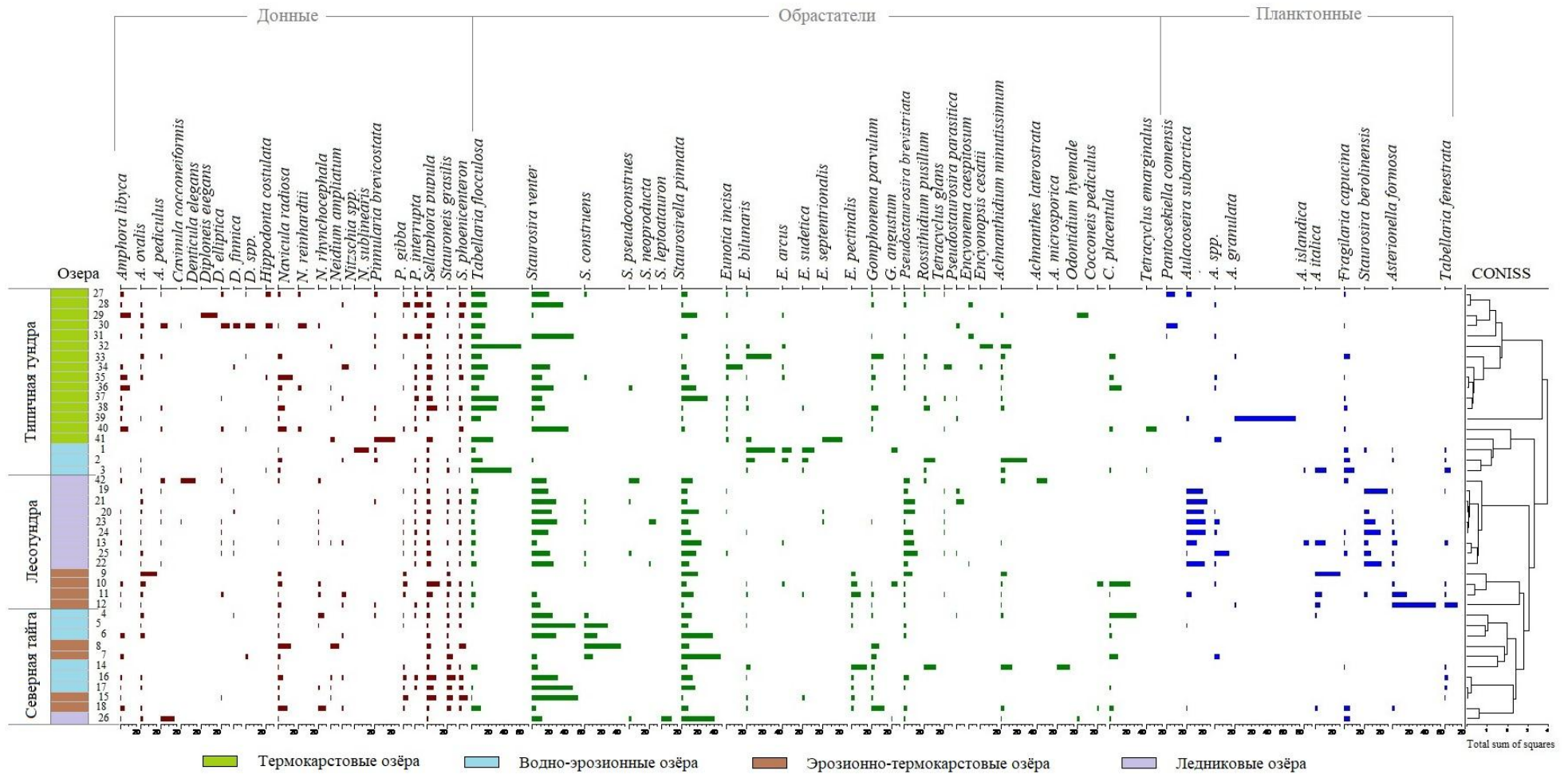


Рисунок 4.3.3 – Распределение массовых видов ДК исследуемых озёр

Для выявления природных условий, в которых формировался тот или иной ДК конкретного водоёма, успешно применяется метод суммарного подсчета створок диатомей по экологическим группировкам (Давыдова, 1985).

Концентрация створок (особей) диатомей в 1 грамме сухого остатка донных отложений насчитывает минимум от 0,31 до 3301,08 (ст) млн/г, со средним значением – 341,6 млн/г.

Впервые для флоры Якутии обнаружено 11 (4,3 %) новых видов диатомей (см. приложение 1). Из общего числа видов 12 % относились к «редким» таксонам для флоры Якутии.

Количественная характеристика диатомовой флоры поверхностных проб озёр региона по выделенным группам представлена в таблице 4.3.1.

Таблица 4.3.1 – Таксономическая структура и доля флоры в озёрах

Группа озёр		Субарктическая тундра	Лесотундра	Северная тайга	в 42 озёрах
Порядок	п	14	14	14	15
	%	93,3	93,3	93,3	100
Семейство	п	27	26	23	30
	%	90	86,7	76,7	100
Род	п	60	50	51	75
	%	80	66,7	68	100
Вид и разновидность	п	177	150	140	257
	%	68,9	58,4	54,5	100
род/сем.		2,22	1,92	2,22	2,50
вид/сем.		6,56	5,8	6,09	8,57
вид/род		3	3	2,75	3,43

В озёрах **субарктической тундры** найдено 177 видов диатомовых водорослей, относящихся к 3 классам, 14 порядкам, 27 семействам и 60 родам. Ведущими семействами являются: Gomphonemataceae (12,4 % флоры), Naviculaceae (10,1 %), Cymbellaceae и Pinnulariaceae (по 7,9 %).

Из всех родов диатомей наибольшее количество таксонов представлено родами *Pinnularia*, *Eunotia*, *Gomphonema*, они составляют 7,9, 6,7, 6,2 % от общей флоры. Более половины родов и представлены одним-двумя видами (68,3 %, 41 род).

Диатомовая флора изученных озёр **лесотундры** содержит 150 видов, относящихся к 3 классам, 14 порядкам, 26 семействам и 50 родам. В спектре семейств ведущими являются: Gomphonemataceae, Pinnulariaceae (по 9,3 % флоры), Naviculaceae (8,6 %) и Achnanthidiaceae, Eunotiaceae, Staurosiraceae (по 8 %). Состав ведущих семейств практически почти аналогичен составу озёр арктической тундры, но соотношение родов и видов беднее, чем в предыдущей группе озёр. В наибольшем количестве представлены роды: Pinnularia (14 видов), Eunotia (12 видов), Stauroneis (8), Gomphonema (7), их общая доля во флоре 82 %.

Таксономическая структура флоры **северотаежных озёр** насчитывает 140 видов, относящихся к 3 классам, 14 порядкам, 23 семействам. Наиболее представительными семействами являются Naviculaceae (12,1 %), Symbellaceae, Gomphonemataceae (по 9,2 %), Staurosiraceae (7,8). Среди родов по количеству видов лидируют: Navicula (10 видов), Diploneis, Pinnularia (по 9 видов), Eunotia (8), Gomphonema (7).

Видовое богатство диатомей неодинаково в разных сообществах. Анализ сравнения диатомовой флоры по растительным зонам показал, что наибольшим видовым разнообразием обладали озёра, расположенные в зоне субарктической тундры (177 видов), на втором месте лесотундровые озера (150 видов), затем – водоёмы северной тайги (140 видов).

Эколого-географическая характеристика диатомовых водорослей исследованных озёр, отражает преобладание во флоре донных видов – 47,5 %, далее следует группа эпифитов (обрастателей) – 43,2 % и планктонные виды составляют всего 9,3 %. Донные виды достигают 69,9 % в озере Ю30 (при минимальном 8,7 %), относительная численность обрастателей достигает от 16,8 до 91,2 % в Ю32, планктонные же виды составляют от 0 до 66,6 % в озере Ю12.

По отношению к солёности воды (известно для 226 таксонов) в исследуемых водоёмах абсолютно преобладают индифференты (66,1 %), одинаковой долей представлены галофилы и галофобы – по 9,7 %, галофобы – по 9,7 %.

незначительная доля принадлежит мезогалобам (1,9 %) и эвгаломам (0,3 %). Преобладающая группа индифферентов, развитие которых при минерализации 200-300 мг/л достигает от 34,9 % до 93,3 % в Ю40. Сопоставление минерализации озёр с экологическими группами диатомей по отношению к солёности воды не демонстрирует четкой закономерности в приуроченности высокой доли галофильных диатомей к воде с повышенной минерализацией, а также роста доли галофобных диатомей по мере сокращения минерализации воды. Наиболее минерализованные воды, однако, характеризуются высокой долей галофильных диатомей и низкой долей или отсутствием галофобов. Тяготеющие к водам с повышенной минерализацией мезогалобы (*Melosira moniliformis*, *Navicula digitoradiata*, *N. peregrina*, *Pauliella taeniata* и *Pinnularia aestuarii*) присутствуют в незначительных количествах (менее 2 %) и лишь в озёрах с минерализацией не ниже 73 мг/л.

Также интересным фактом является наличие во флоре водорослей вида *Diploneis schmidtii*, обитающего в солёных морских водах (эугалоб). Их наличие отмечено в северотаежных озёрах с частотой «единично».

ДК по отношению к водородному показателю (для 210 таксонов) распределились как алкалифилы (39 %), нейтрофилы (19 %), ацидофилы (15 %) и наименьшая доля алкалибионтов (6,6) и ацидобионтов (1,1 %). Алкалифилы с преимущественным развитием при $pH > 7$ достигали 91,4 % (северная тайга, далее ст). Сопоставление значений водородного показателя воды исследуемых озёр и диатомовых водорослей – индикаторов pH не позволило установить выраженных тенденций в изменении долей индикаторных групп при изменении водородного показателя, при этом наиболее высокие доли ацидофильных и наименьшие количества алкалифильных диатомей приурочены к озёрам с наиболее низким pH (типичная тундра).

Географический анализ (для 227 таксонов) видового спектра флор изученных озёр представлен почти одинаковой долей участия бореальных форм и видов-космополитов характеризующиеся широким географическим

ареалом, высокой пластичностью и выносливостью по отношению к действию факторов окружающей среды, что указывает на нестабильное состояние уровня режима водоёмов (Пестрякова, 2008б). Бореальные формы достигали 77 % (лесотундра, далее лт), космополиты 84 % (ст) (рисунок 4.3.4).

Сравнительный анализ численности створок диатомей показал относительно стабильную структуру комплексов отдела Bacillariophyta с абсолютным доминированием бентосных форм (донных и обрастателей), индифферентов по отношению к солености (66-75 %) и алкалифилов (45-70 %), предпочитающих слабощелочную среду. Следует отметить, что наибольшая численность планктонных форм (до 31 %) отмечена в озёрах лесотундровой зоны. Особенности ДК указывают на относительно малую глубину и размеры озёрных котловин, низкую минерализацию и повышенный рН воды.

Отсутствие ярко выраженных взаимосвязей между характеристиками воды и соответствующими индикаторными группами диатомей может быть объяснено особенностями методики отбора полевого материала: измеренные в полевых условиях физико-химические параметры воды характеризуют состояние воды в конкретный момент времени, в то время как отбор проб диатомей донных отложений позволяет получить состав указанной группы водорослей, обобщенный за ряд лет.

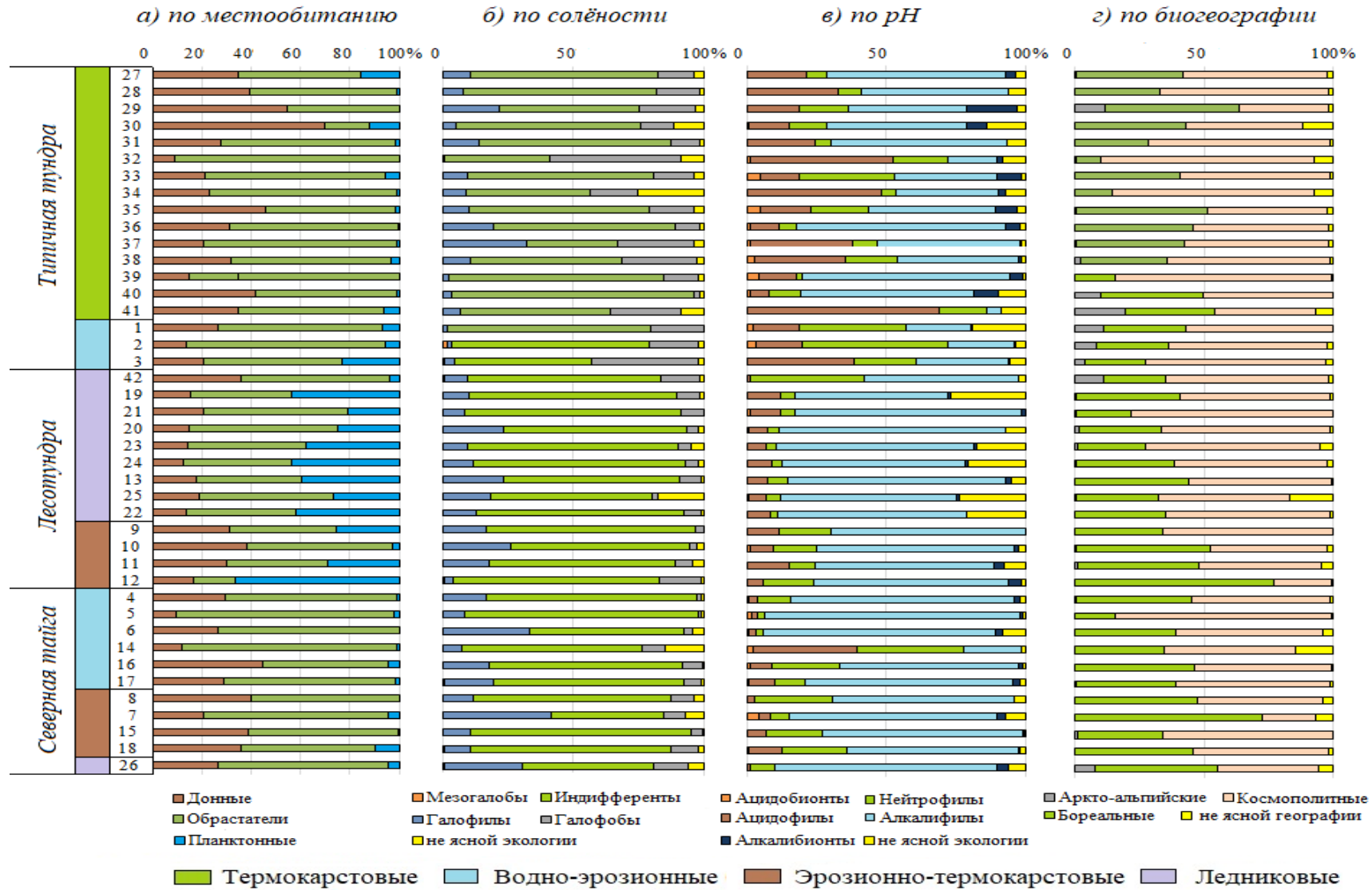


Рисунок 4.3.4 – Распределение диатомей озер по эколого-географическим предпочтениям

4.4 Индексы видового разнообразия диатомовых водорослей и оценка качества озерных вод по сапробности

Особенности видового разнообразия, меры доминирования и доли редких видов ДК описаны с использованием рассчитанных стандартных индексов (рисунок 4.4.1). Количество зарегистрированных видов (с разновидностями) по всей выборке варьирует от 13 (лт) до 69 (тт), среднее значение для всех водоёмов составляет 37. Количество таксонов составляет от 260 (ст) до 794 (лт).

Значение индекса Шеннона-Уивера варьирует от 1,7 до в 3,3 Ю39, равное, и максимальное Ю35 и Ю42 (тт, лс), среднее значение индекса равно 2,6. Индекс выравненности Пиелу варьирует 0,5 (тт) до 0,9 (тт, лт, ст), со средним значением 0,7.

Мера доминирования Симпсона в большинстве проб (71 %) равен 0,1 с максимальным значением 0,4 (тт). Наименьшее 12,8 (лт) и наибольшее 68,8 (тт) значения индекса Маргалефа отражают минимальное и максимальное количество видов, зарегистрированных в пробах.

Индекс видового разнообразия Менхиника варьирует от 0,6 до 3 в Ю3, как и индекс Маргалефа, и отражает количество видов в пробах. Значения индекса Животовского равны 10,2 (ст) и 39,6 (тт), в водоёмах которых было зарегистрировано 14 видов (при минимальном 13) и с максимальным видовым разнообразием.

Значения доли редких видов отмечаются от 0,2 (тт, лт, ст) до 0,6 (тт, ст). В озёрах с минимальным значением индекса было зарегистрировано от 13 до 48 видов, с максимальным значением 28 и 29 видов.

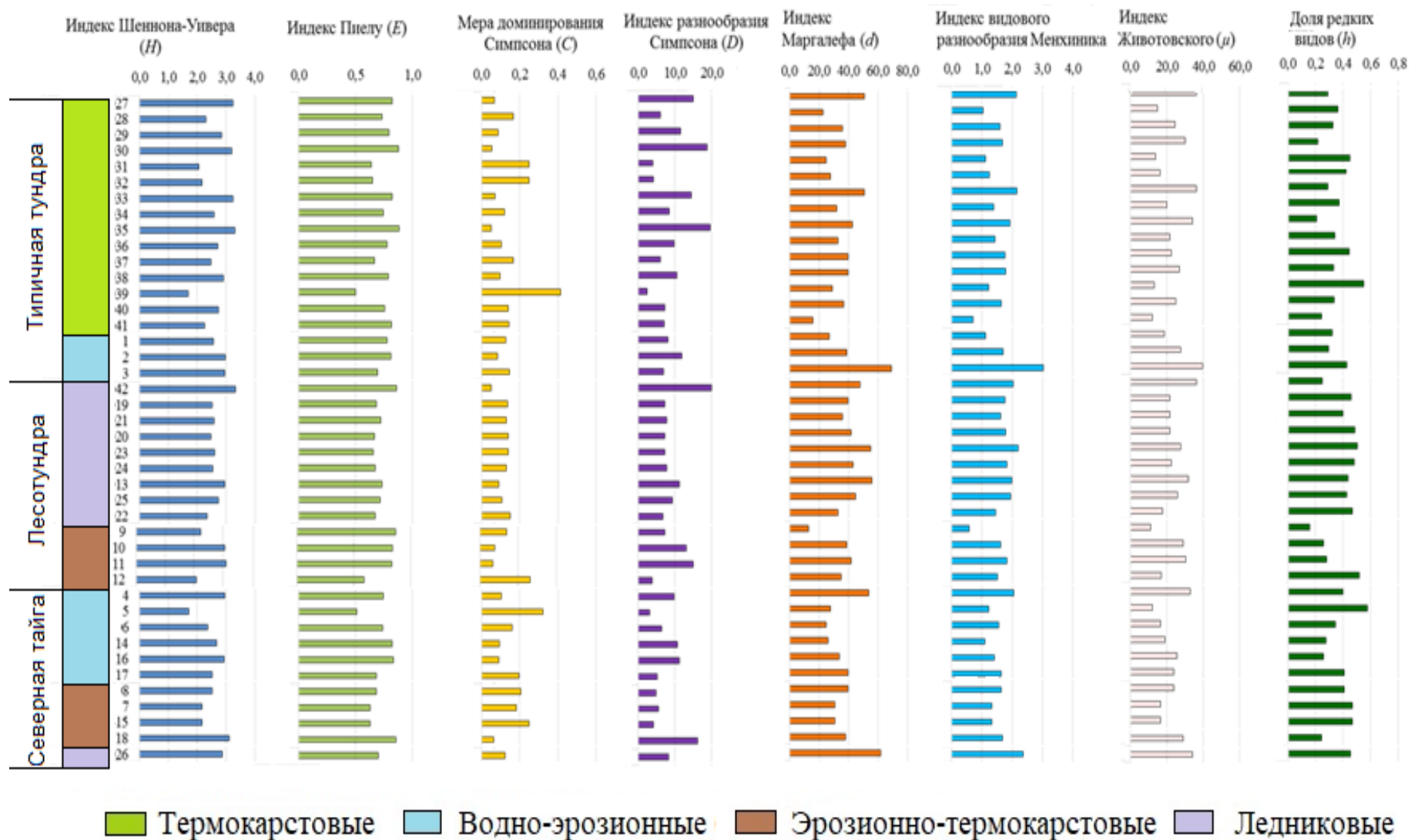


Рисунок 4.4.1 – Показатели индексов биологического разнообразия озёр

Оценка качества озёрных вод произведена на основе расчетов интегральных индексов сапробности по методу Пантле-Букка-Сладечека для 140 видов диатомей – индикаторов сапробности, что составляет более половины списка видов. Из них 25 % характеризуют бета-мезосапробную зону, 17,1 % – олигосапробную, 7,8 % – ксеносапробную. Наряду с ними 4,3 % диатомей характерны для альфа-мезосапробных водоёмов. Интегральные индексы сапробности, рассчитанные по диатомеям для изученных озёр колеблются от 0,73 до 1,73 (таблица 4.4.1 рисунок 4.4.2).

Таблица 4.4.1 – Классы качества вод изученных групп озёр в зависимости от индексов сапробности по диатомеям

Показатель	Группы озёр		
	Субарктические	Лесотундры	Северной тайги
Минимум значения сапробности	0,73	1,31	0,92
Максимум значения сапробности	1,54	1,73	1,69
Средний индекс сапробности	1,25	1,56	1,48
Зона самоочищения	Олигосапробная	Бета -мезосапробная	Олигосапробная
Класс качества вод	2	3	2
Уровень загрязненности водоёма	Чистые	Умеренно загрязненные	Чистые

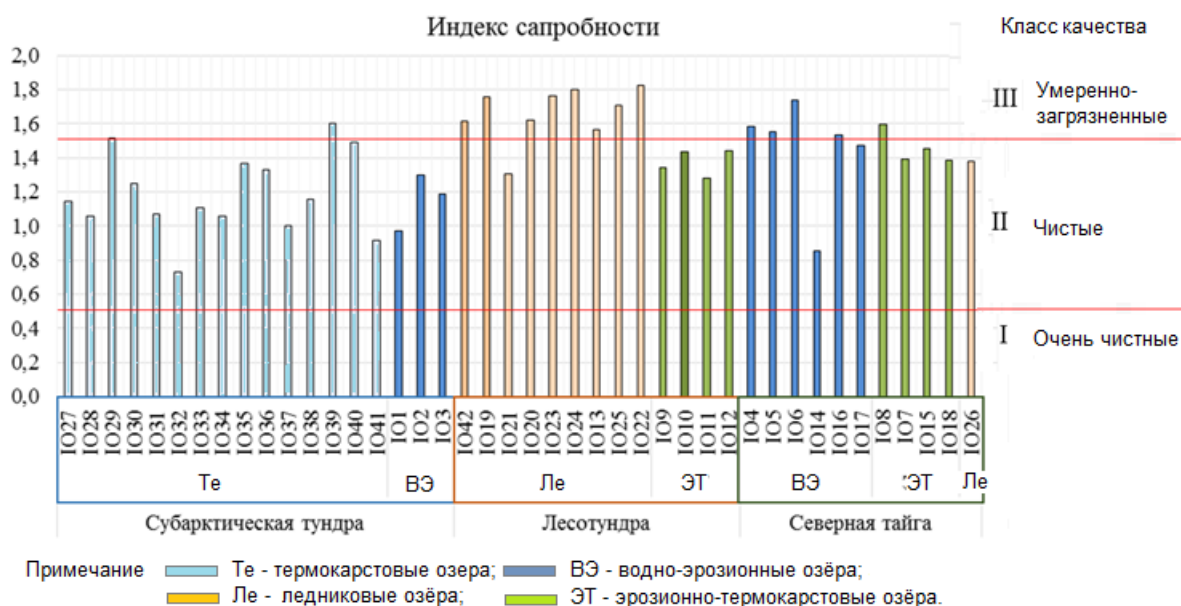


Рисунок 4.4.2 – Интегральный показатель сапробности озёр и их класс качества (по диатомеям)

В зоне лесотундры к умеренно-загрязненным отнесены озёра ледникового происхождения, относительно загрязненные участки района

исследований расположены вблизи населённых пунктов сёл Чокурдах (Аллаиховский район) и Сутуруоха (Абыйский район) (рисунок 4.4.3).

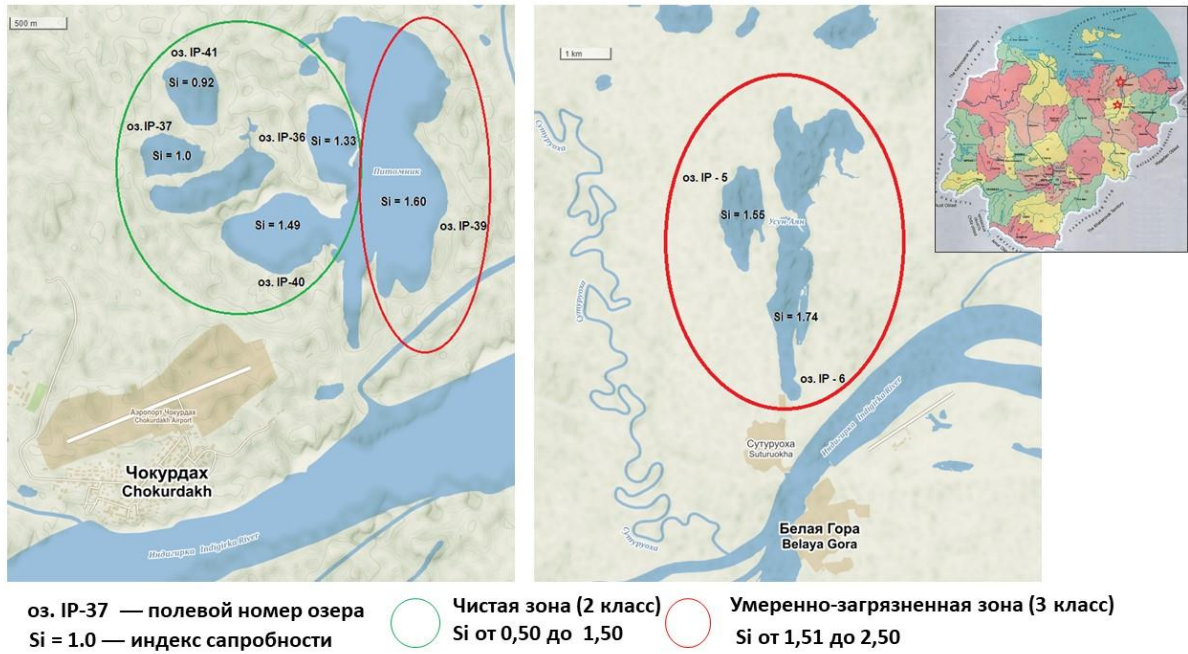


Рисунок 4.4.3 – Озёра окрестности сёл с наиболее загрязненными водами

Краткие выводы к главе 4.

Результаты исследований позволяют сделать следующие обобщения и выводы:

— исследуемые озёра бассейна реки Индигирка характеризуются, главным образом, малыми размерами и очень малой глубиной, имеют форму близкую к округлой (64 % водных объектов);

— по своим морфометрическим параметрам значительно выделяются озера Ожогоино (Ю42) и Сутуруоха (Ю13), они могут быть отнесены к числу крупнейших озёр Якутии;

— в большинстве случаев озёрная вода является ультрапресной, мягкой с преобладанием нейтральной и слабощелочной среды;

— вода озёр отнесена к классу гидрокарбонатных группе магниевых (50 %), группе кальциевых (28 %), группе натриевых (9 %); классу сульфатных группе натриевых (6 %), группе кальциевых (3 %) и классу хлоридных группе натриевых (3 %) вод.

— диатомовая флора изученных озёр, представляющая собой важную группу индикаторов состояния окружающей среды, включает 257 видов (в т. ч. 4 разновидности) из 75 родов, 30 семейств, 15 порядков и 3 классов, что составляет 18 % всей флоры диатомовых водорослей Якутии (11 видов обнаружены для флоры региона впервые);

— особенности диатомовых комплексов указывают на относительно малую глубину и размеры озёрных котловин, низкую минерализацию и повышенный рН воды, а также природно-климатические условия района исследования, характеризующиеся морозным арктическим климатом;

— структура семейств и родов в таксономическом составе исследуемых озёр отражает особенности абиотических факторов водоёмов, таких как небольшая глубина озёр (преобладание донных видов), низкая минерализация

(доминирование индифферентов), повышенный рН (преобладание алкалифилов);

— исследуемые озёра обладают относительно низким разнообразием диатомей и долей редких видов с выраженным дисбалансом количества особей в пользу нескольких «массовых видов»;

— по степени органического загрязнения воды, установленного с применением индекса сапробности, озёра субарктических территорий и северной тайги могут быть отнесены к категории чистых, а мелководные озёра лесотундры – к группе умеренно загрязнённых водных объектов;

— относительно загрязнённые участки района исследований относятся к населённым пунктам сёл Чокурдах (Аллаиховский район) и Сутуруоха (Абыйский район).

ГЛАВА 5. ЭКОЛОГО-ЛИМНОЛОГИЧЕСКАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ ОЗЁР БАССЕЙНА РЕКИ ИНДИГИРКА

5.1 Классификации озёр по авторам

Классификация или типизация – это способы группировки объектов исследования или наблюдения в соответствии с их общими признаками. Классификация является одним из обязательных атрибутов в познании мира, в современной науке весьма востребована, а ее методы или подходы все время совершенствуются. В рамках данного вопроса нами выполнен обзор существующих основных классификаций по литературным источникам (таблица 5.1.1). В таблице приведены классификации озёр по ведущим признакам: морфологическим, морфометрическим, гидрологическим, термическим, по уровню биологической продуктивности и другие.

Таблица 5.1.1 – Обзор изученности вопросов классификаций озёр

пп	Автор/соавторы	Год издания	Классификация, типизация	Название публикации
<i>Зональная классификация</i>				
1	Л. Л. Россолимо	1964	Основана на особенностях озёрного накопления, как единого типологического показателя.	Россолимо Л. Л. Основы типизации и лимнологического районирования. Накопление вещества в озерах. М.: Наука, 1964. – С. 5-46. (Россолимо, 1964)
<i>Генетическая классификация</i>				
1	М. А. Первухин	1937	Классификация отражает различия между генетическими типами озёр.	Первухин М. А. О генетической классификации озерных ванн // Землеведение. 1937. № 6. С. 526-537. (Первухин, 1937)
2	Ю. П. Пармузин	1975	Генетическая классификация озёрных котловин по их родам.	Пармузин Ю. П. Генетическая классификация озерных котловин и схема районирования СССР по их родам. – В кн.: Круговорот вещества и энергии в озерных водоёмах. – Новосибирск: Наука, 1975. С. 406-114. (Пармузин, 1975)
3	И. И. Жирков	1983	Морфогенетическая классификация озер Якутии по генезису озёрных котловин и пространственно-временным факторам формирования в них озёрных комплексов.	Жирков И. И. Морфогенетическая классификация как основа рационального использования, охраны и воспроизводства природных ресурсов озер криолитозоны (на примере Центральной Якутии) / И. И. Жирков // Вопросы рационального использования и охраны природных

Продолжение таблицы 5.1.1

				ресурсов разнотипных озёр криолитозоны (На примере Центральной Якутии). Межвузовский сборник. – Якутск: ЯГУ, 1983 – С. 4-47. (Жирков, 1983)
4	В. В. Богданов	1984	Морфолимническая классификация озёр по соотношению глубинных зон в озёрной котловине.	Богданов В. В. Зонально-региональные свойства лимногенеза и их роль в классификации и районировании озёр. В кн.: Географо-гидрологический метод исследования вод суши. — Л.: Изд-во АН СССР. Геогр. об-во СССР, 1984. С. 71-78. (Богданов, 1984)
5	Д. Д. Квасов	1986	Генетическая классификация озёрных котловин, основанная на их возрасте и происхождении.	Квасов Д.Д. Возрастно-генетическая классификация котловин озёр Северной и Центральной Евразии // Изв. ВГО, 1986, т. 118, вып. 6. С. 487-492. (Квасов, 1986)
Морфометрические классификации				
1	Г. Ю. Верещагин	1930	Классификация, подразумевающая определяющую роль морфометрии и морфологии котловины озера в лимнических процессах.	Верещагин Г. Ю. Методы морфологической характеристики озёр // Труды Олонекской науч. эксп. - 1930. Ч. II, вып. 1. – 114 с. (Верещагин, 1930)
2	П. В. Иванов	1948	Морфометрическая классификация озёр мира по величинам площадей их водной поверхности.	Иванов П. В. Классификация озёр мира по величине и по их средней глубине // Бюллетень ЛГУ. Л., 1948. № 20. С. 29-36. (Иванов, 1948)
3	С. В. Григорьев	1959	Классификация на основе коэффициента удлиненности и степени развития береговой линии.	Григорьев С. В. О некоторых определениях и показателях в озероведении // Труды Карельского филиала АН СССР. – 1959. – Вып. 18. (Григорьев, 1959)
4	И. Н. Сорокин	1983	Классификация озёр, основанная на морфометрии озёр и их внешнего водообмена.	Сорокин И. Н. Морфометрия озёр и их внешний водообмен. Поступление и удержание вещества в озерах // Изменение в системе «водосбор-озеро» под влиянием антропогенного фактора. – Л.: Наука, 1983. – 234 (Сорокин, 1983)
5	Л. А. Пестрякова	1983	Морфометрическая классификация, использующая инвентаризацию размерных характеристик разнотипных озёр, где разработаны типологические показатели морфометрии по их генезису.	Пестрякова Л. А. Типологическое значение морфометрических показателей озёр Центральной Якутии // Вопросы рационального использования и охраны природных ресурсов разнотипных озёр криолитозоны (на примере Центральной Якутии). – Якутск: ЯГУ, 1983. – С. 89-96. (Пестрякова, 1983)
Гидрологические классификации				
1	Б. Б. Богословский	1960	Гидрологическая классификация, основанная по особенностям водного баланса.	Богословский Б. Б. Схема гидрологической классификации озёр и районирование озёр СССР // Вестн. МГУ. Сер. геогр., 1960, № 2. С. 17-24 (Богословский, 1960)
2	Б. Б. Богословский	1984	Классификация водоёмов по внешнему водообмену.	Богословский Б. Б., Филь С. А. Классификация водоёмов по внешнему водообмену // Географо-

Продолжение таблицы 5.1.1

				гидрологический метод исследования вод суши. – М.: Изд-во АН СССР. Геогр. об-во СССР, 1984. С. 54-60. (Богословский, 1984)
3	С. В. Григорьев	1959	Классификация озёр по показателю условного водообмена, подразделение озёр на типы по проточности.	Григорьев С. В. О некоторых определениях и показателях в озероведении // Труды Карельского филиала АН СССР. 1959. Вып. 18. (Григорьев, 1959)
4	О. Ф. Якушко	1981	Классификация по показателю условного водообмена. Выделено 4 класса.	Якушко О. Ф. Озероведение. Озера Белоруссии. – Минск: Вышэйшая школа, 1981. – 224 с. (Якушко, 1981)
5	С. П. Китаев	1984	Классификация по показателю условного водообмена. Выделено 5 классов.	Китаев С. Л. Экологические основы биопродуктивности озёр разных природных зон. М., 1984. – 208 с. (Китаев, 1984)
Термические классификации				
1	Ф. Форель. (F. A. Forel)	1880	Термическая классификация, основанная на исследовании температуры озера Леман и других пресноводных озёр.	F. A. Forel, "Temperatures lacustres: Recherches sur la temperature du Lac Lemman et d'autres lacs d'eau-douce," Arch. sci. phys. et nat. (ser.3), 35, 505-575, 1880. (Forel, 1880)
2	Д. Н. Анучин	1897	Термическая классификация, основанная на температуре придонного слоя воды в летний период	Верхневолжские озера и верховья Западной Двины: Рекогносцировки и исслед. 1894-1895 гг. / [Соч.] Д.Н. Анучина. – Москва: типо-лит. т-ва "И.Н. Кушнерев и К°", 1897. -X, 156 с., 22 ил., [6] л. карт., диагр. ; 31. (Верхневолжские озера..., 1897)
3	В. В. Молчанов	1929	Термическая классификация водоёмов по характеристике теплоактивного слоя (эпилимниона) озёр.	Молчанов В. В. Термические типы озёр и факторы, их определяющие // Труды II Всесоюзного гидрологического съезда. Л., 1929. – Ч.2. (Молчанов, 1929)
4	Б. Аберг и др. (B. Aberg)	1942	Термическая классификация.	Aberg B., Rodhe W. Uber die Milieufaktoren in einigen siidswedischen Seen // Symb. bot. upsal. – 1942. - Vol. 5. – № 3. – S. 1-256. (Aberg et al., 1942)
5	Г.Э. Хатчинсон (G.E.Hutchinson)	1957	Термическая классификация.	Hutchinson G.E. A treatise on limnology. V.I. Geography, Physics and Chemistry. NY, 1957. – 1015 p. (Hutchinson, 1957)
6	А. И. Тихомиров	1982	В основе термической классификации озёр умеренной зоны по температурному режиму лежит годовой ход температуры и характер температурной стратификации озёр в летний период.	Термика крупных озёр [Текст]: монография / А. И. Тихомиров; ред. Н. Н. Филатов; Академия наук СССР, Институт озероведения. – Ленинград: Наука, Ленинградское отделение, 1982. – 232 с.: рис. – Библиогр.: С. 222-231. – 2.50 р. (Термика крупных..., 1982)
7	С. В. Рянжин	1989	Термическая классификация, приведено уточнение распространения теплых тропических, высокогорных и приэкваториальных озёр.	Рянжин С. В. Закономерности температурного режима пресноводных озёр мира. Л., 1989. – 70 с. (Рянжин, 1989)

Продолжение таблицы 5.1.1

Гидрохимическая классификация				
1	И. В. Баранов	1962	Гидрохимическая классификация, основанная на сумме основных ионов воды.	Баранов И. В. Лимнологические типы озёр СССР. Л., 1962. – 276 с. (Баранов, 1962)
2	О. А. Алекин	1970	Гидрохимическая классификация, основанная на количественном соотношении между преобладающими катионами и анионами.	Алекин О. А. Основы гидрохимии. Л.: Гидрометеиздат, 1970. – 444 с. (Алекин, 1970)
Гидробиологическая классификация				
1	Э. Науман	1927	Гидробиологическая классификация, на основе выделения типов озёр которой лежит трофность.	Науманн Э. Цель и основные проблемы региональной лимнологии. Перевод Н. К. Дексбаха // Труды Косинской биологической ст., вып. 6. 1927. (Науман, 1927)
2	В. В. Винберг	1960	Гидробиологическая классификация, в основе которой лежит величина первичной продукции, которая составляет первое звено биотического баланса водоёма.	Винберг Г. Г. Первичная продукция водоёмов. – Минск: АН БССР, 1960. – 329 с. (Винберг, 1960)
3	Р. Карлсон (R.E. Carlson)	1977	Гидробиологическая классификация, в основе которой лежит расчет трофического индекса Карлсона (TSI).	Carlson R. E. A trophic state index for lakes. Limnol. Oceanogr. 1977. V. 22. N2: 361-369. (Carlson, 1977)
4	С. П. Китаев	1984 2007	Гидробиологическая классификация озёр по средним и максимальным глубинам. Изучена биопродуктивность озёр. На основе статистической обработки массового материала выяснена зависимость развития первичной продукции, биомассы фито- и зоопланктона, бентоса и ихтиомассы от основных гидрологических и биологических показателей озёр разных природных зон.	Китаев С. П. Экологические основы биопродуктивности озёр различных природных зон. – М.: Наука, 1984. – 208 с. (Китаев, 1984) Китаев С. П. 2007. Основы лимнологии для гидробиологов и ихтиологов. Петрозаводск, Карельский научный центр РАН, 395 с. (Китаев, 2007)
Экологическая классификация				
1	А. Тинеман (A. Thienemann)	1925	Классификация определяется как экологическая, т.к. трофический тип строится на связи биологических показателей с абиотическими факторами (глубина, цветность, прозрачность водоёма, наличие гипolimниального (придонного) кислорода, рН, биогены и др.).	Thienemann A. Die Binnengewasser Mitteleuropas. Binnengewasser. 1925. Bd.1.S.1-255. (Thienemann, 1925)

Продолжение таблицы 5.1.1

2	Н. М. Мингазова, А. И. Галеева	2007	Эколого-лимнологическая классификация, основанная на 15 признаках с использованием формул.	Мингазова Н. М. Эколого-лимнологическая классификация (Среднее Поволжье) и возможности ее применения для озёр мира / Н. М. Мингазова, А. И. Галеева // Тез. докл. II Международной озерной конференции. – Нарочь, 2007. – С. 28-29. (Мингазова, Галеева 2007)
3	М. С. Потахин	2008	Эколого-географическая типизация. На основе методов автоматической классификации — факторный и кластерный.	Потахин М. С. Эколого-географическая типизация водоёмов Карелии. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата географических наук / Российский государственный педагогический университет им. А.И. Герцена. Санкт-Петербург, 2008 – 22 с. (Потахин, 2008)

На ранних этапах развития лимнологии вопросы классификации озёр были затронуты в трудах Ф. Фореля, Д. Н. Анучина, Э. Наумана, Г. Ю. Верещагина, В. В. Молчанова, М. А. Первухина. Позднее более широкое развитие лимнологические классификации получили в работах Б. Аберга, У. Роде, Д. Хатчинсона, У. Оле, Б. Б. Богословского, В. В. Винберга, Л. Л. Россолимо, А. И. Тихомирова, И. В. Баранова, О. А. Алекина, Р. Карлсона, С. П. Китаева и других. Наряду с ними внедряются региональные классификации, построенные по отдельным параметрам водоёмов (Якушко, 1981; Жирков, 1983 и др.). Новым толчком развития лимнологических классификаций в последнее десятилетие явилось внедрение методов математико-статистического анализа, в частности в работах А. М. Догановского, С. В. Рянжина, В. В. Дмитриева, В. В. Бульона, М. С. Потахина и других. Интересным и новым фактом становится появление множества лимнологических классификаций по комплексу параметров. Их как правило, называют «комплексными», или «универсальными», иногда «многофакторными», например, из современных – универсальная лимно-экологическая классификация А. И. Галеевой с соавторами (Галеева и др., 2022).

Ниже дается краткое описание некоторых классификаций.

Зональные классификации. На основании характера накопления озерных накоплений Л. Л. Россолимо (1964) предложена зональная классификация озёр. По данному типологическому показателю автором выделены три основных типа озёр – это аккумуляторы наносов, концентраторы растворенных минеральных веществ и накопители органического вещества. Типология не нашла широкого применения ввиду слабо изученности особенностей озёрного накопления.

Генетические классификации. Классификация М. А. Первухина подразумевает, что тип озера является функцией развития его в определенных физико-географических условиях (Первухин, 1937). Автор высказал мнение, что морфология озера полностью определяется его происхождением только на ранних стадиях развития и со временем различия между генетическими типами могут исчезать. Так, по его классификации озёрные котловины были разделены на 8 классов (таблица 5.1.2)

В 1957 году предложена более детальная генетическая классификация Д. Хатчинсоном, согласно которой автор подразделяет озера на 11 групп, которые включают подгруппы, типы и подтипы или всего 76 типов и подтипов котловин (Hutchinson, 1957).

Таблица 5.1.2 – Классификация озёр по генезису (М. А. Первухин (1937))

Класс	Описание
Тектонические	Связаны с такими формами рельефа как трещины, сбросы, грабены и распространены в областях крупных тектонических преобразований земной коры
Вулканические	Представлены кратерами потухших вулканов или лежат среди лавовых полей
Ледниковые	а) эрозионные (выпаханные ледниками углубления на крупных кристаллических массивах) б) аккумулятивные (располагаются среди моренных отложений областей древнего оледенения)
Гидрогенные	Образованные в результате эрозионной и аккумулятивной деятельности речных или морских вод
Просадочные	Возникающие при просадках грунта в результате действия подземных вод (карстовые, суффозионные) или таяния погребенного льда (термокарстовые)
Завальные	Возникающие в результате перегораживания речной долины обвалами и оползнями)
Вторичные	Образуются на месте заросших более крупных озер или на болотах)
Эоловые	Образованные действием ветра

В 1975 году Ю. П. Пармузиным сформирована генетическая классификация озёрных котловин, согласно которой установлено 6 классов, 11 типов, 7 подтипов и 123 рода озёрных котловин (Пармузин, 1975) (таблица 5.1.3).

Таблица 5.1.3 – Генетическая классификация озёр по Ю.П. Пармузину (1975)

Классификация озёрных котловин		
Классы	Эндогенные	
	Экзогенные	
	Космогенные	
	Биогенные	
	Антропогенные	
Подтипы	Тектонические	
	Вулканические	
	Гравитационные	
	Гидрогенные	
	Гляциогенные	
	Эоловые	
	Метеоритные	
	Активнобиогенные	
	Органодеструктивные	
	Подпрудные	
	Вырытых Котловин	
	Подтипы	Речные
		Грунтово-Дождевые
Карстово-Суффозионные		
Приморские		
Ледниковые		
Моренные		
Мерзлотных котловин		

И. И. Жирков (Жирков, 1983) при составлении принципиальной схемы морфогенетической классификации озёр Якутии за основные критерии принял генезис озёрных котловин и пространственно-временные факторы формирования в них озёрных комплексов. Автором типы и подтипы озёр в классификации выделены по способу образования котловин и по приуроченности водосборов озёр к определенным аональным и интразональным ландшафтам (типам местности), а группы и подгруппы озёр выделены по их местоположению в пределах морфологических частей ландшафтов (типов местности), а также в зависимости от стадии развития озер. Всего И. И. Жирковым выделено 14 типов, 29 подтипов, 64 вида и целый ряд подвидов и разновидностей озёр (таблица 5.1.4).

Таблица 5.1.4 – Схема ландшафтно-лимногенетической классификации озер Якутии (Жирков, 2014)

Типы	Подтипы	Виды	
1. Термокарстовые	1.1. Провальные	1.1.1 Первичные на ледовом комплексе	
		1.1.2 Первичные на аллювиальных	
		1.1.3 Реликтовые (аласные)	
		1.1.4 Повторно-провальные	
1.2. Просадочные	1.2.1 Суффозионно-просадочные	1.2.2 Пирогенно-просадочные	
		2. Водно-эрозионные	2.1. Старичные
2.1. Старичные	2.1.2 Протоковые старицы	2.2. Плесовые малых рек	2.2.1 В долинах сезонных водотоков
		2.2.2 В долинах эпизодических водотоков	2.2.3 В долинах «травяных рек» («от юряхов»)
			3. Эрозионно-термокарстовые
3.1. Террасовых равнин	3.1.2. III–IV террас «крупных» рек (постоянных водотоков)	3.2. Аласно-долинные	3.2.1. V–VI террас крупных рек
		3.2.2. В древних долинах стока	4. Тукулановые (озера песчаных массивов)
4.1. Современных тукуланов (перевеваемых песчаных массивов)	4.1.2. Навеянных котловин (при подпруживании стока навеянной дюной)	4.2. Древних тукуланов (закрепленных и полужакрепленных песчаных массивов)	4.2.1. Дефляционные (котловин выдувания)
			4.2.2. Дефляционно-эрозионных котловин
4.2.3. Дефляционно-термокарстовые	5.1. Соляного карста	5.1.1 Провальные	5.1.2 Просадочные
			5.1.3 Озёра-плесы
5. Карстовые	5.2. Карбонатного карста	5.2.1 Коррозионные (поверхностного выщелачивания)	5.2.2 Покрыто-провальные
			6. Трапповые
6.1. Водораздельные	6.1.2 На отпрепарированных пластовых интрузиях траппов	6.2. Межгрядовые	6.2.1. Грядово-холмистых равнин
			6.2.2. Межинтрузивных низин
7. Антропогенные	7.1. Плотинные	7.1.1. Крупных и средних рек (постоянных водотоков)	7.1.2 Малых и средних рек (промерзающих водотоков)
			7.2. Техногенные
7.2. Техногенные	8.1. На современных отложениях дельтовых островов крупных рек	8.1.1. Пойменные	8.1.2. Островные
			8.2. На островах внутриконтинентальных дельт крупных рек
8.2. На островах внутриконтинентальных дельт крупных рек	8.2.2. Трансформированные термокарстом	8.3. На высоких уровнях высоких дельтовых островов	8.3.1. Пойменные
			8.3.2. Эрозионно-термокарстовые а) трансформированные просадочным термокарстом
8.3.1. Пойменные	8.3.2. Эрозионно-термокарстовые а) трансформированные просадочным термокарстом	8.3.3. Термокарстовые	9.1.1 Конечно-моренные
			9.1.2. Подпрудные
9. Ледниково-зандровые	9.1. Ледниковые	9.1.1 Конечно-моренные	9.1.2. Подпрудные
			9.1.3. Каровые

Продолжение таблицы 5.1.4

		9.1.4. Троговые
	9.2. Зандровые	9.2.1 На флювиогляциальных песчаных равнинах 9.2.2. На песчано-щебнистых равнинах
10. Нагорно-платообразные	10.1. Горно-долинные	10.1.1. На слабобрезанных и слабодренированных долинах нагорий и плато
		10.1.2. Приналедные
	10.2. Привершинные	10.2.1 Водораздельные
		10.2.2 Депрессионные на столовых равнинах пенеппенов
11. Тектонические	11.1. Приразломные	11.1.1 Глубинно-разломные
		11.1.2 Трещинно-разломные
	11.2. Грабенные	11.2.1 Провальные
		11.2.2. Переработанные ледниковой экзарацией
		11.2.3. Рифтовые
12. Лагунные	12.1. Лагунные материковые	12.1.1. Расположенные ниже уровня сизигийского прилива (лайды)
		12.1.2. Отчленившиеся (не подвергающиеся воздействию морских приливов)
	12.2. Лагунные островные	то же
13. Вулканические	13.1 Кратерные	13.1.1 Собственно кратерные
		13.1.2 Кратерно-снежниково-ледниковые
	13.2. На продуктах разрушения вулканических конусов	13.2.1 Реликтивно-вулканические
		13.2.2 Подпитываемые минеральными источниками
14. Космогенные	14.1. Метеоритные	14.1.1. Ударные
	14.2. Астроблемные	14.2.1. Ударно-взрывные

В. В. Богданов (Богданов, 1984) создал морфолимническую классификацию озёр, включающую по соотношению глубинных зон в котловине, где вошли четыре типа: литоральный, литорально-профундальный, профундально-литоральный, батидальный.

Д. Д. Квасов отмечал, что возникновение озёрных котловин произошло в различное время, и предложил классификацию, основанную на их возрасте и происхождении. Всего автором (Квасов, 1986) выделено 5 классов и 24 типа озёр: 1) озёра, возникшие в отдалённом геологическом прошлом и представляющие собой части древнего океана, рифтовые впадины, результаты вулканической деятельности, движений земной коры; 2) озёра, возникшие во время плейстоценового оледенения и связанные с ледниковым выпахиванием, представляющие собой остатки приледниковых озёр, подпертые плейстоценовыми аллювиальными плотинами; 3) озёра, возникшие на рубеже позднеледниковья и голоцена (12 тыс. лет назад); 4) озёра, возникшие в

результате повышения уровня океана и представляющие собой озёра-лагуны; 5) озёра, возникшие в настоящее время в результате таяния многолетнемерзлых пород, озера речных долин и дельт, завальные озёра русел рек (Стенина, 2009).

Морфометрические классификации. Определяющая роль морфометрии и морфологии в изучении озёр была подчеркнута еще Г. Ю. Верещагиным (Верещагин, 1930), в дальнейшем данный подход был отражен в работах многих исследователей. Существуют однопараметровые и многопараметровые способы классификации озёр (Китаев, 2007). Однако в последнее время второй способ классификации превалирует над первым. В частности, во многих так называемых «универсальных» классификациях главными показателями являются морфометрические характеристики. В частности, разработаны (в т. ч. региональные) классификации озёр по различным формам, в том числе по величинам площадей их водной поверхности, объемам водной массы, средней и максимальной глубинам озёр, по показателю относительной глубины и расчлененности берегов, по показателям формы озёрной котловины и удлиненности озёр (Иванов, 1948; Григорьев, 1959; Захаренков, 1964; Пестрякова, 1983; Китаев, 2007; Потахин, 2009 и др.).

Гидрологические классификации. В категорию гидрологических классификаций, основанных на гидрологическом режиме озёра входит работа Б. Б. Богословского (Богословский, 1960), основанная на особенностях водного баланса. Автором выделены стоковые и испаряющие типы водоёмов, также Б. Б. Богословским (Богословский, 1984) разработана классификация водоёмов по внешнему водообмену – заменой вод водоёма, водами, поступающими извне, с водосборной площади. Для озёр, в зависимости от интенсивности их водообмена, автор выделил три класса: сильно проточные (транзитные), где водообмен (K_v) >100 ; умеренно проточные (транзитно-аккумулятивные) K_v от 4 до 100; слабо проточные (аккумулятивно-транзитные) $K_v <4$.

В монографии Н. В. Мякишевой «Многокритериальная классификация озёр» приводится классификация озёр по показателю условного водообмена нескольких авторов (таблица 5.1.5).

Таблица 5.1.5 – Классификация озёр по показателю условного водообмена

Класс	Подкласс	Водообмен	Автор
Малый	Очень малый	<0,5	С.В. Григорьев (1959)
		<0,2	
Средний		0,5-5,0	
Большой	Очень большой	>5,0	
		>50,0	
Малый		<1	О.Ф. Якушко (1981)
Средний		1-5	
Большой		5-50	
Очень большой		>50	
Очень малый		<0,25	С.П. Китаев (1984)
Малый		0,25-1,0	
Средний		1-4	
Большой		4-16	
Очень большой		>16	

Термические классификации. Одним из основателей термической классификации озёр считается Ф. Форель, который предложил свою классификацию, основанную на температуре придонного слоя (Forel, 1904). Автор подразделил озёра на полярные, умеренных широт, тропические и позже он добавляет подразделения на мелководные и глубоководные озёра.

Позже Хатчинсон (Hutchinson, 1957) представил классификацию основанную на гомотермии (т. е. перемешивании водных масс) и выделил 5 классов, включающие амиктические, холодные мономиктические, димиктические, теплые мономиктические и олигомиктические озёра. В 1963 г. в данную классификацию были внесены изменения Ф. Раттнером (Ruttner, 1963), который добавил к ней еще 2 класса (холодные полимиктические, теплые полимиктические).

Гидробиологические классификации. Классификации трофического статуса. Наиболее распространенная классификация Гинемана (1926) и Наумана (1932), которая была дополнена современными исследователями, выделяет три типа озёр: олиготрофный, эвтрофный и дистрофный. Данные классификации отражают, в первую очередь, то, что

трофический статус (уровень биологической продуктивности) тесно взаимосвязан с абиотическими факторами, географическим положением, характером водосбора водоёма. Так же трофическая типизация с продукционно-биологическим или балансовым подходом была предложена У. Оле (1958), данное направление получило дальнейшее развитие в работах авторов Г. Г. Винберга (1960), В. В. Бульона (1994, 1985), С. П. Китаева (2007). В 1977 – Р. Карлсоном предложен расчет трофического индекса, трофические индексы и их расчеты так же были представлены другими исследователями М. Айзаки (Aizaki et al., 1981), В. В. Бульон (1987) и др.

Гидрохимические классификации. Классификация пресноводных водоёмов по сумме ионов была введена И. В. Барановым. Автор (Баранов, 1962) подразделял водоёмы на ультрапресные (<100 мг/л), маломинерализованные (100-200 мг/л), среднеминерализованные (200-500 мг/л), с повышенной минерализацией (500-1000 мг/л). Классификации на основе главнейших ионов и преобладающих катионов и анионов принадлежат авторам С. А. Щукареву, В. А. Александрову (Справочник по..., 1961). Среди гидрохимических классификаций следует выделить классификацию вод, предложенную О. А. Алекиным (Алекин, 1960). Так, по преобладающим катионами анионам воды были разделены на 3 класса гидрокарбонатных (и карбонатных), сульфатных и хлоридных вод и далее на 3 группы, 4 типа вод.

Комплексные классификации. М. И. Петрова и Б. П. Власов на основании абиотических показателей предложили типизацию озёр Белорусского Поозерья. При помощи факторного анализа определены четыре основных типа озёр, формирующихся в результате воздействия естественных факторов (Петрова, Власов, 2008). Каждый выделенный тип характеризуется определенным диапазоном присущих ему морфометрических и фоновых гидрохимических параметров. В качестве показателей качества вод, характеризующих эталонное состояние выделенных типов озёр, рассматриваются общая минерализация вод и концентрации в них основных макрокомпонентов, содержание органического вещества и биогенных

элементов, активная реакция среды, прозрачность и цветность вод в летний период. Среди морфометрических параметров ими учитывались площадь озера, объем водной массы, средняя и максимальная глубины. Особенности водосборов и их влияния на исследуемые озёра определяются такими показателями, как площадь, лесистость и заболоченность водосбора, удельный водосбор, удельный водообмен. Степень антропогенной трансформации определялась авторами (Петрова, Власов, 2008) на основании сведений о наличии диффузных и локальных источников загрязнения в пределах водосборной территории. Полученные результаты могут быть использованы для решения различных теоретических или практических задач лимнологии, в том числе для оценки трансформации озёрных водоёмов в результате антропогенной деятельности.

В монографии «Многокритериальная классификация озёр» Н. В. Мякишевой рассмотрены теоретические вопросы классификации озёр и приводит обзор существующих классификаций. Большое внимание уделяется методам расчета признаков многокритериальной классификации озёр в условиях неопределенности исходной информации. Вводятся многомерные классы озёр, согласованные между собой шкалы и градации для исходных параметров классификации, обучающие выборки для каждого класса, решающие правила отнесения неизученных озёр к известному классу. Обсуждаются результаты гидрологического районирования территории в зависимости от распределения озёр разных классов (Мякишева, 2009).

На наш взгляд, интересной оказалась универсальная лимно-экологическая классификация (УЛЭК) А. И. Галеевой с соавторами (Исследование междисциплинарного..., 2022) на примере озёр России, Абхазии и Турции, посвященная исследованию междисциплинарного потенциала лимносистем. По мнению авторов, УЛЭК учитывает все основные компоненты озёрной системы, позволяющей описать тип озера в виде единой формулы.

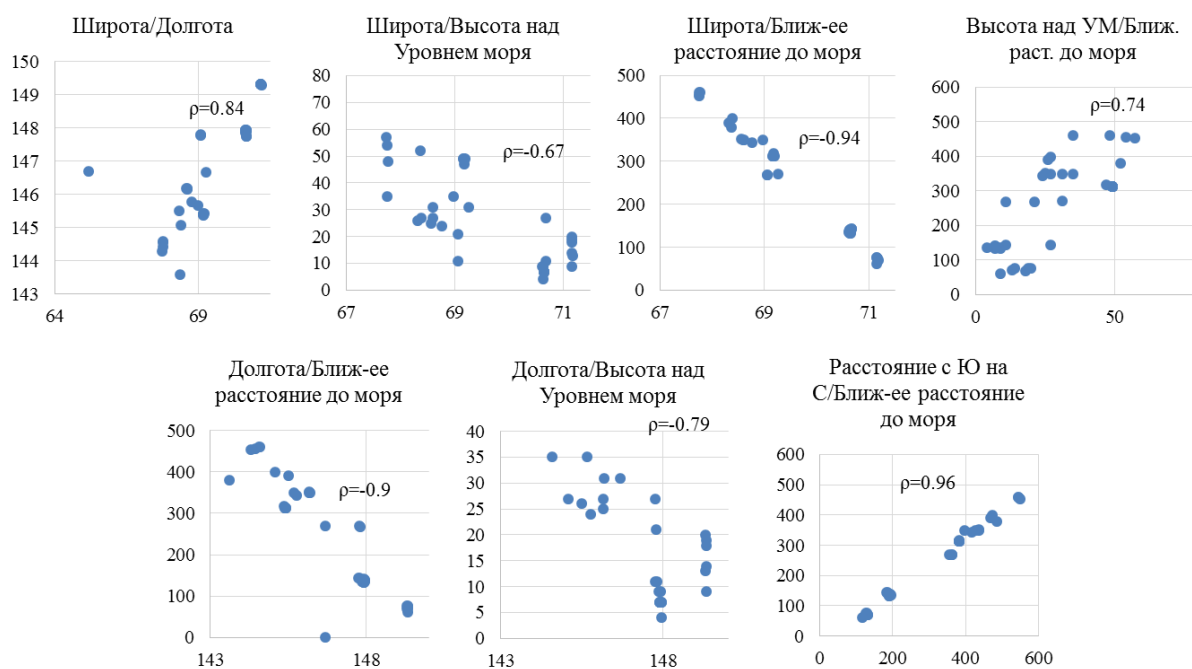
Довольно оригинальным и чрезвычайно, на наш взгляд, востребованным в условиях возрастания антропогенного загрязнения окружающей среды, является природно-хозяйственная классификация, предложенная Б. П. Власовым (2001) для белорусских озёр. Она базируется на основных признаках: 1) тип (вид) потребляемых ресурсов, 2) качество ресурсов, 3) степень (объем) потребления (частичное, полное).

Таким образом, приведенные в данном разделе большое количество лимнологических классификаций, в основу которых положены отдельные признаки озёр, ориентированы на конкретный регион.

5.2 Выявление взаимосвязей параметров озёр бассейна реки Индигирка

На основании полученных в ходе выполнения данной работы фактического материала (Левина, Черосов, 2014; Левина и др., 2018; Морфометрические параметры..., 2019; Левина и др., 2020; Морфометрические параметры..., 2020; Левина и др., 2021; Левина и др., 2022 и др.) и составленных баз данных (База данных, 2018; Schirrmeyer et al., 2022) по озёрам бассейна реки Индигирки автором выполнена статистическая обработка абиотических и биологических параметров озёр бассейна реки Индигирка.

Взаимосвязи абиотических параметров. Для исследуемых озёр установлены взаимосвязи параметров местоположения объектов (рисунок 5.2.1). Координаты изученных озёр по широте и долготе объединены положительными корреляционными связями. При этом по мере продвижения на север исследуемые водоёмы располагаются восточнее, повторяя направления русла реки Индигирка.

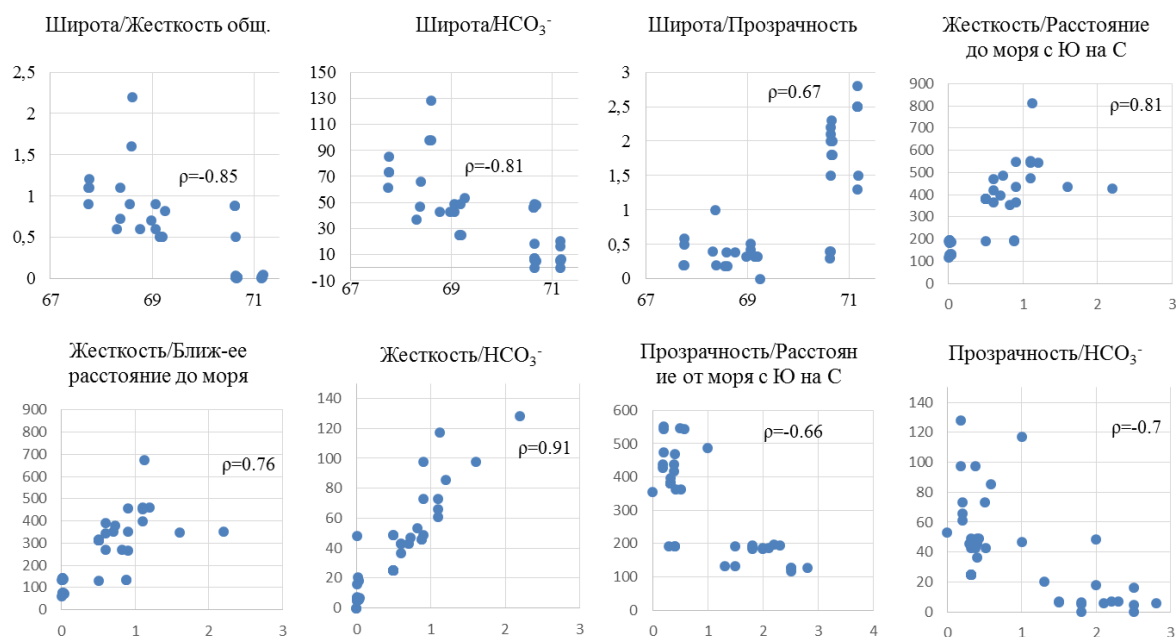


***Примечание:** ρ – коэффициент ранговой корреляции Спирмена; широта и долгота в °С; расстояние – км; высота над УМ – м.

Рисунок 5.2.1 – Взаимные связи параметров местоположения озёр

Возрастание широты и долготы расположения водных объектов происходит параллельно сокращению значений высоты над уровнем моря и приближению к морскому побережью.

Установлены зональные изменения общей жесткости воды и концентрации гидрокарбонатов (рисунок 5.2.2). Возрастание широты местности сопровождается сокращением значений указанных характеристик, что отмечалось для озёр Севера Якутии ранее (Городничев и др., 2015, Ушницкая и др., 2021) и, вероятно, является результатом изменения степени увлажнённости климата и водного баланса изучаемой территории. Прозрачность воды рассматриваемых озёр, возрастает с юга на север. Более холодные северные условия, по всей видимости, препятствуют бурному цветению водорослей, снижающих степень проникновения солнечных лучей в водную толщу.

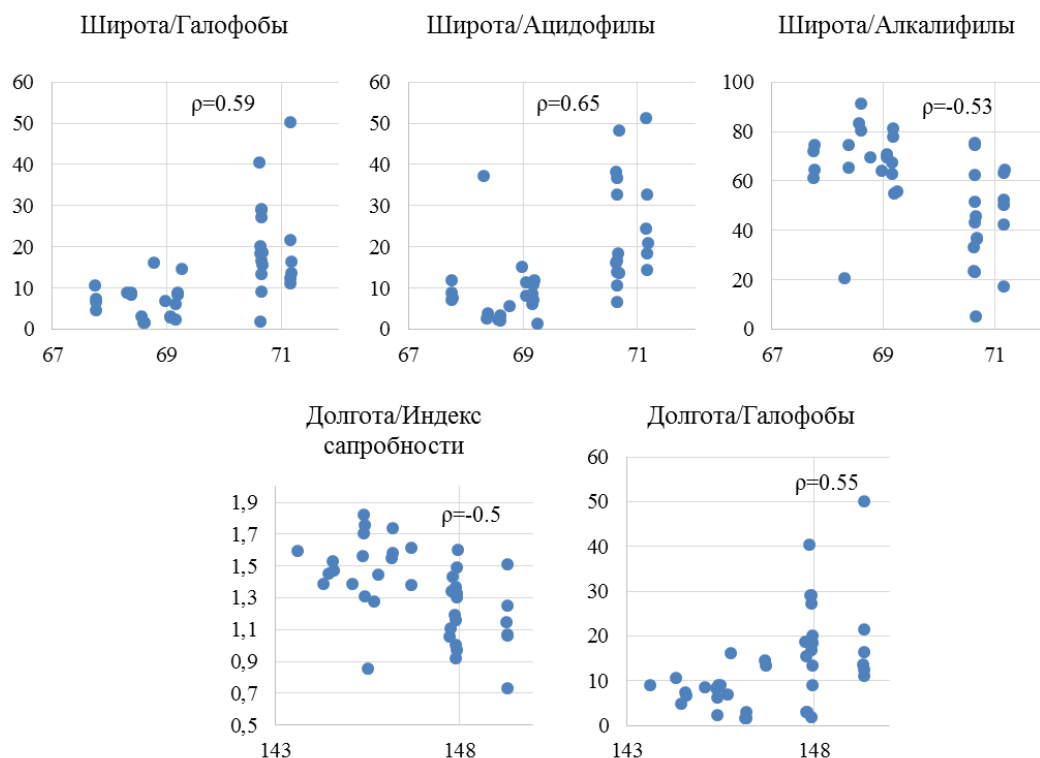


**Примечание:* Жесткость общая – мг-экв/л; HCO_3^- – мг/л; прозрачность – м; расстояние – км.

Рисунок 5.2.2 – Взаимные связи абиотических параметров

Взаимосвязи показателей, характеризующих диатомовые комплексы. Продвижение на север и восток района исследования сопровождается возрастанием доли галофобов и ацидофилов, снижением

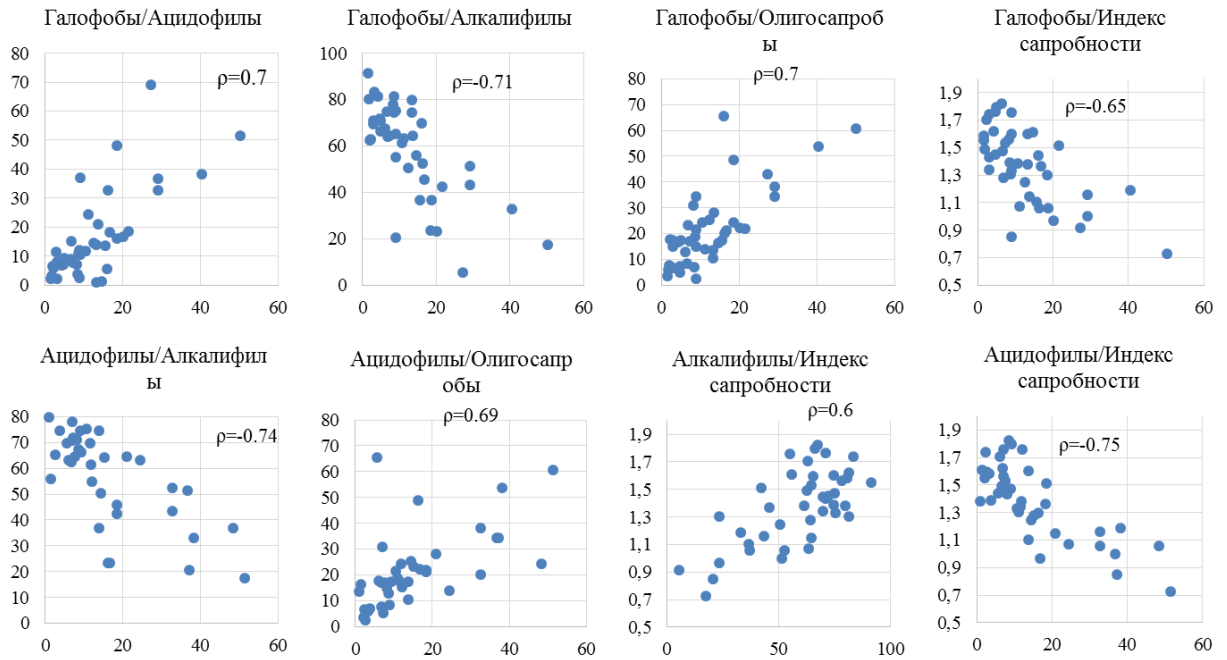
процентной численности алкалифилов и некоторым уменьшением значений индекса сапробности (рисунок 5.2.3).



***Примечание:** ρ – коэффициент ранговой корреляции Спирмена; экологические группы приведены в значения относительной численности особей (%)

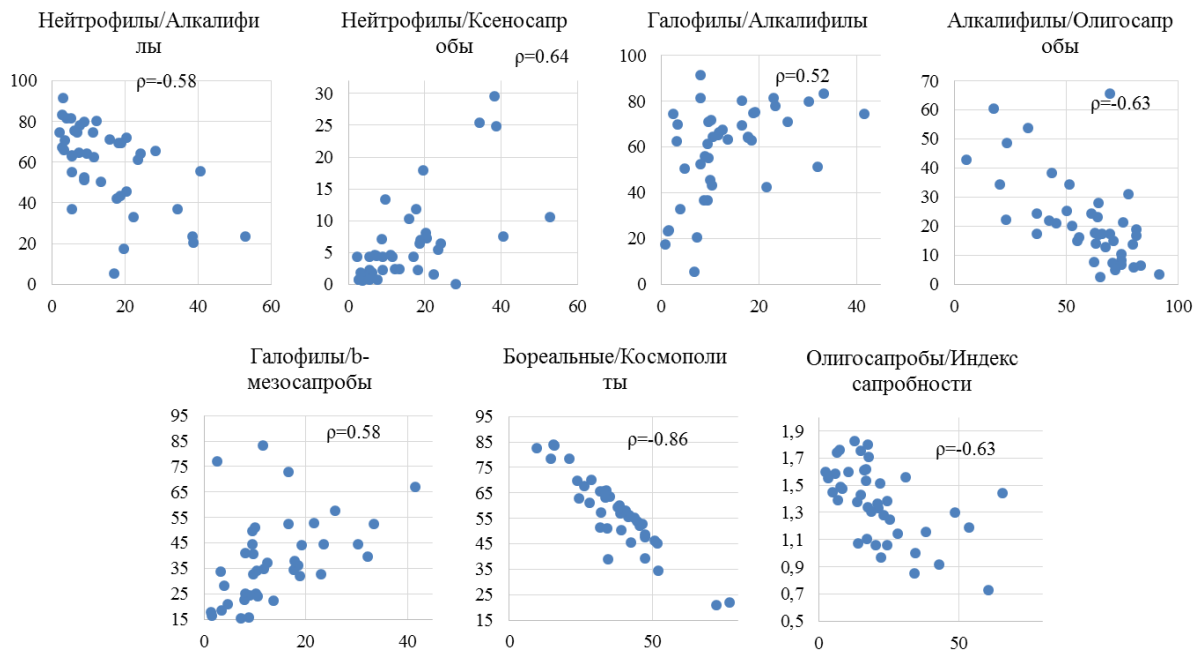
Рисунок 5.2.3 – Взаимные связи параметров местоположения озёр и характеристик диатомей

Установленные взаимные связи между экологическими группами диатомей указывают, что особи галофобных (избегающих даже небольшую концентрацию хлорида натрия) диатомей в значительной степени являются ацидофилами и олигосапробами, предпочитающими холодную и чистую воду (рисунок 5.2.4). Возрастание относительной численности алкалифильных диатомовых напротив происходит на фоне возрастания индекса сапробности озёр. Такие же тенденции отмечены и для водоёмов полигона Кыталык района исследования (см. раздел 3.4). Значительная часть особей диатомей-нейтрофилов (по отношению к рН) являются ксеносапробными (обитателями очень чистых вод). Галофилы в значительной степени выступают в-мезосапробами (рисунок 5.2.5).



***Примечание:** ρ – коэффициент ранговой корреляции Спирмена; экологические группы приведены в значения относительной численности особей (%).

Рисунок 5.2.4 – Взаимные связи экологических групп диатомей озёр

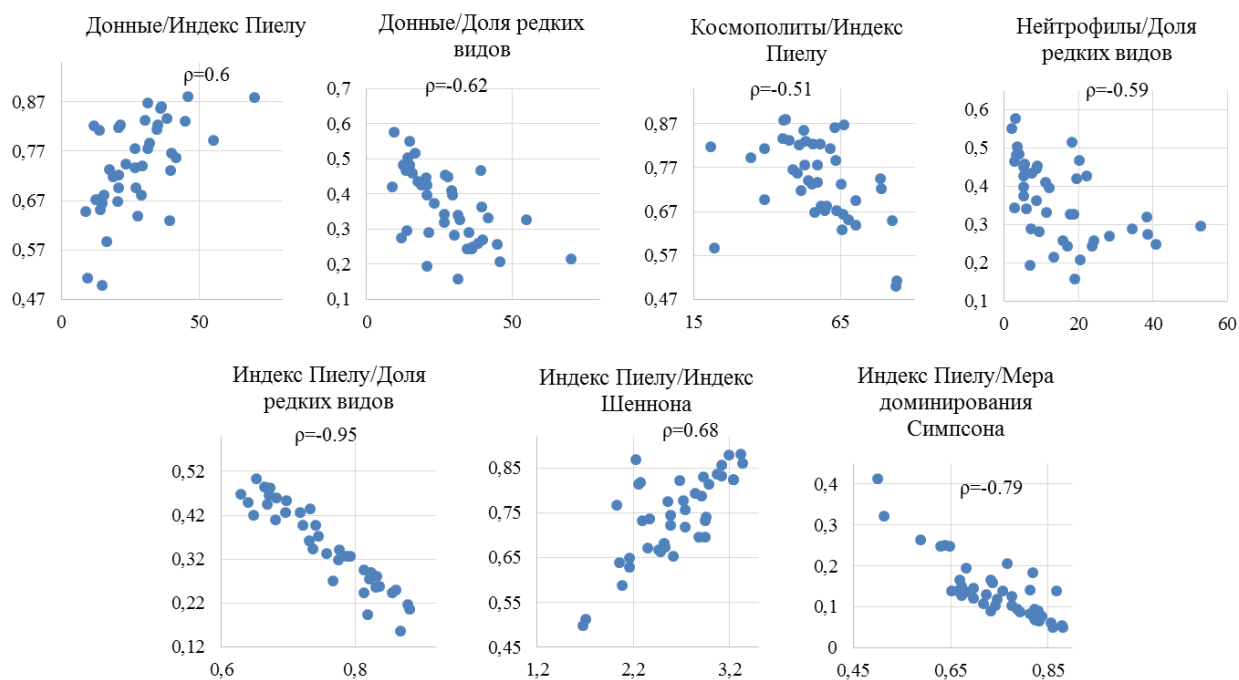


***Примечание:** ρ – коэффициент ранговой корреляции Спирмена. Экологические группы приведены в значения относительной численности особей (%).

Рисунок 5.2.5 – Взаимные связи групп диатомей озёр

Возрастание относительной численности донных форм диатомей способствует росту индекса выровненности Пиелу и снижению доли редких

видов, что позволяет более равномерному распределению особей между отдельными таксонами, вызывая рост биоразнообразия (рисунок 5.2.6).



**Примечание:* ρ – коэффициент ранговой корреляции Спирмена; экологические группы приведены в значения относительной численности особей (%).

Рисунок 5.2.6 – Взаимные связи экологических групп диатомей и показателей разнообразия

Таким образом, изучаемые озёра бассейна реки Индигирка характеризуются закономерным местоположением внутри района исследования. Более северные озёра расположены восточнее, при этом по мере продвижения на север происходит уменьшение высоты местоположения озёр над уровнем моря и их приближение в морское побережье. Вода озёр с ростом широты местности становится мягче и прозрачнее. Параллельно этому возрастает относительная численность галофобов, представленных в значительной степени ацидофилами, и степень чистоты воды, оцениваемая по индексу сапробности. Возрастание относительного обилия, напротив, происходит с ростом индекса сапробности. Увеличение относительной численности донных диатомей способствует возрастанию выравненности в структуре диатомовых комплексов, способствуя снижению доминирования отдельных таксонов.

5.3 Разработка региональной эколого-лимнологической классификации озёр Якутии (на примере бассейна реки Индигирка)

Все рассмотренные в разделе 5.1 лимнологические классификации имеют право быть примененными на практике. Однако природно-климатические условия криолитозоны, в том числе нашего региона (наличие ММП, почти повсеместное распространение льдонасыщенных грунтов, экстремальные гидрометеорологические условия), затрудняют их применить и требуют разработки региональной классификации для озёр Якутии.

Большой объём фактического материала по озёрам бассейна реки Индигирки позволил нам разработать РЭЛК для озёр Якутии. За основу РЭЛК учитывались существующие классификации, в том числе структура универсальной лимно-экологической классификации (УЛЭК) (Галеева, Мингазова, 2010; Мингазова и др., 2014; Исследование междисциплинарного..., 2022) с существенными изменениями и дополнениями. Структура разработанной РЭЛК включает: 3 параметра, 18 признаков и 108 показателей (таблица 5.3.1). Каждому признаку прикреплен код обозначения. Для первого признака – географического параметра включены: показатель высоты над уровнем моря (E1), генезис (G), величина водного зеркала (A), максимальная глубина (D), средняя глубина (Da), коэффициент удлиненности (K), развитие береговой линии (L) и водный баланс (W). Для составления генетического признака (G) мы придерживались существующей схемы ландшафтно-лимногенетической классификации, разработанной специально для озёр Якутии (Жирков, 1983, 2014).

С целью дальнейшего применения данной классификации для статистической обработки на компьютерных программах (с учетом концепции искусственного интеллекта) кодирование показателей заданы английскими буквами.

Таблица 5.3.1 – РЭЛК озёр Якутии

ГЕОГРАФИЧЕСКИЙ	<i>Dm2</i> – большая, от 25 до 50 м	<i>T3</i> – тёплые: <i>tcp</i> = 15-20 °С	<i>pH6</i> – сильнощелочные (выше 9,5)
Высота над уровнем моря (Ei) <i>Ei1</i> -очень низкий (0-200 м) <i>Ei2</i> -низкий (200-500 м) <i>Ei3</i> -средний (500-1000 м) <i>Ei4</i> -высокий (1000-2000 м) <i>Ei5</i> -очень высокий (выше 2000 м)	<i>Dm3</i> – повышенная, от 12,5 до 25 м <i>Dm4</i> – средняя, от 6,25 до 12,5 м <i>Dm5</i> – малая, от 3,12 до 6,25 м <i>Dm6</i> – очень малая, меньше 3,12 м	<i>T4</i> – очень тёплые: <i>tcp</i> = 20-30 °С <i>T5</i> – горячие (термальные): <i>tcp</i> > 30 °С	Общая жесткость (Th) <i>Th1</i> – очень жесткие (выше 9) <i>Th2</i> – жесткие (6-9) <i>Th3</i> – умеренно-жесткие (3-6) <i>Th4</i> – мягкие (1,5-3) <i>Th5</i> – очень мягкие (менее 1,5)
Генезис (G) Термокарстовые – G1 Водно-эрозионные – G2 Эрозионно-термокарстовые – G3 Тукулановые – G4 Карстовые – G5 Трапповые – G6 Антропогенные – G7 Дельтовые – G8 Ледниково-зандровые – G9 Нагорно-плоскогорные – G10 Тектонические – G11 Лагунные – G12 Вулканические – G13 Космогенные – G14	Средняя глубина (Da) <i>Da1</i> – очень большие, больше 16 м <i>Da2</i> – большие, от 8 до 16 м <i>Da3</i> – средние, от 4 до 8 м <i>Da4</i> – малые, от 2 до 4 м <i>Da5</i> – очень малые, меньше 2 м	Прозрачность (Ts) <i>Ts1</i> – прозрачная (более 30 см) <i>Ts2</i> – слабо мутная (25-30 см) <i>Ts3</i> – средне мутная (20-25 см) <i>Ts4</i> – мутная (10-20 см) <i>Ts5</i> – очень мутная (менее 10 см)	ГИДРОБИОЛОГИЧЕСКИЙ
	Коэффициент удлиненности (K) <i>K1</i> – вытянутая (более 10,0) <i>K2</i> – удлиненная (7,0-10,0) <i>K3</i> – овально-удлиненная (5,0-7,0) <i>K4</i> – близкая к овалу (3,0-5,0) <i>K5</i> – близкая к кругу (1,5-3,0) <i>K6</i> – округлая (менее 1,5)	Минерализация (M) <i>M1</i> – очень малая, до 100 мг/л <i>M2</i> – малая, 100-200 мг/л <i>M3</i> – средняя, 200-500 мг/л <i>M4</i> – повышенная, 500-1500 мг/л <i>M5</i> – высокая, 1500-3000 мг/л <i>M6</i> – очень высокая, 3000 мг/л	Трофический статус (Tr) <i>Tr1</i> – ультраолиготрофный <i>Tr2</i> – олиготрофный <i>Tr3</i> – мезотрофный <i>Tr4</i> – эвтрофный <i>Tr5</i> – гипертрофный <i>Tr6</i> – дистрофный
	Развитие береговой линии (L) <i>L1</i> – изрезанная (более 6,0) <i>L2</i> – слабоизрезанная (2,0-6,0) <i>L3</i> – округлая (менее 2,0)	Ионный состав (I) <i>I1</i> (1) – гидрокарбонатная кальциевая <i>I1</i> (2) – гидрокарбонатная магниевая <i>I1</i> (3) – гидрокарбонатная натриевая <i>I2</i> (1) – сульфатная кальциевая <i>I2</i> (2) – сульфатная магниевая <i>I2</i> (3) – сульфатная натриевая <i>I3</i> (1) – хлоридная кальциевая <i>I3</i> (2) – хлоридная магниевая <i>I3</i> (3) – хлоридная натриевая	Зона сапробности по диатомеям (Si) <i>Si1</i> – ксеносапробная (до 0,50) <i>Si2</i> – олигосапробная (0,50 – 1,50) <i>Si3</i> – b-мезосапробная (1,51 – 2,5) <i>Si4</i> – a-мезосапробная (2,51 – 3,5) <i>Si5</i> – полисапробная (3,51 – 4,0) <i>Si6</i> – полисапробная (>4,0)
Площади водного зеркала (A) <i>A1</i> – очень большая, свыше 1000 км ² <i>A2</i> – большая, от 101 до 1000 км ² <i>A3</i> – средняя, от 10 до 100 км ² <i>A4</i> – небольшая, от 1,0 до 10 км ² <i>A5</i> – малая, от 0,1 до 1,0 км ² <i>A6</i> – маленькая, от 0,01 до 0,1 км ² <i>A7</i> – озёрки, от 0,001 до 0,01 км ²	Водный баланс (W) <i>W1</i> – проточное <i>W2</i> – приточное <i>W3</i> – сточное <i>W4</i> – бессточное	Водородный показатель (pH) <i>pH1</i> – кислые (3,0-5,0) <i>pH2</i> – слабокислые (5,0-6,5) <i>pH3</i> – нейтральные (6,5-7,5) <i>pH4</i> – слабощелочные (7,5-8,5) <i>pH5</i> – щелочные (8,5-9,5)	Флора (Fl) <i>Fl1</i> – слабозарастающие озера <i>Fl2</i> – макрофитные, с богатым видом <i>Fl3</i> – макрофитные с низким видовым составом <i>Fl4</i> – планктонные озера
Максимальная глубина (Dm) <i>Dm1</i> – очень большая, более 50 м	ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЙ		Фауна (Fa) <i>Fa1</i> – рыбные с редкими видами <i>Fa2</i> – рыбные с богатым видовым составом; <i>Fa3</i> – рыбные с фоновыми видами; <i>Fa4</i> – безрыбные озера
	Температурный режим (T) <i>T1</i> – холодные: <i>tcp</i> < 10 °С <i>T2</i> – умеренные: <i>tcp</i> = 10-15 °С		

Каждый признак включает в себя от 3 до 14 показателей. В наших исследованиях гидрологические параметры озёрных экосистем не были изучены, но тем не менее такие признаки как водный баланс и режим перемешивания имеют место быть в будущем. В структуре РЭЛК мы объединили гидрофизический и гидрохимический параметры под общим названием «физико-химические». В результате объединения, в 6 признаков было включено 36 показателей. В наших исследованиях вместо температуры воды использованы данные местных метеорологических станций июльской температуры воздуха, усредненные более чем за 20-летний период, с корректировкой по широте и расстоянию от побережья для каждого озера из базы данных «NOAA Physical Sciences Laboratory (PSL)»¹³. По данному температурному признаку изученные озёра бассейна реки Индигирка приурочены к холодному и умеренному режиму. Тогда как в целом по Якутии большинство озёр имели среднюю температуру в пределах 20-30 °С, т. е. «теплый» режим. Остальные признаки такие, как: прозрачность (Ts), минерализация (M), ионный состав (I), водородный показатель (pH) и общая жесткость (Th) в общих чертах совпадают с классификацией О. А. Алекина.

Гидробиологический параметр РЭЛК включает трофический статус (Tr) водоёма, включающий интегральную оценку взаимосвязанных гидрологических, гидрохимических и биологических характеристик водоёмов. Второе направление учитывает характеристику озёр по преобладающему распространению в них определенных водных организмов: флору (Fl) и фауну (Fa). Кроме вышеперечисленных признаков в эту категорию мы включили интегральный индекс сапробности, рассчитанный по диатомовым водорослям, а признак назвали как «зона сапробности по диатомеям» (Si). Следует отметить, что данный показатель включен в ГОСТ-17.1.3.07-82 в экспертную систему определения класса качества вод.

¹³ <https://psl.noaa.gov/data/gridded/>

Следует отметить, что структура РЭЛК будет в дальнейшем дополнена другими признаками и показателями водных объектов в зависимости от цели и задач типизации и/или инвентаризации озёрного природопользования разного уровня. В частности, при классификации озёр урбанизированных территорий (городов) можно дополнительно ввести такие показатели, как: содержание общего азота, показатель БПК₅ и растворенный кислород и другие.

Таким образом, разработанная структура РЭЛК позволит применить автоматизированные методы обработки большого объёма базы данных и будет востребована для типизации и инвентаризации озёрного фонда при решении междисциплинарных задач разного уровня.

Используя структуру РЭЛК по 66 показателям, входящим в 14 признаков и 3 параметра (таблица 5.3.2) был выполнен сравнительный анализ эколого-лимнологических параметров 42 озёр бассейна реки Индигирка с базой данных 199 озёр Якутии (Пестрякова, 2008б; 2009).

Относительно высоты над уровнем моря оказалось, что большинство изученных озёр Якутии расположены на очень низкой высоте. Изученные озёра бассейна реки Индигирка почти все находились в пределах высоты до 200 м, в том числе: до 25 м – 48 %; от 25 до 50 м – 43 %; от 50 до 75 м – 7 %. Исключение составляет озеро (Ю26) на Момском хребте – 596 м (2 %).

Таблица 5.3.2 – Сравнение эколого-лимнологических показателей изученных озёр бассейна реки Индигирка с озёрами Якутии

Показатель	Количество озёр, %	
	Якутия (n-199)	Индигирка (n-42)
ГЕОГРАФИЧЕСКИЙ ПАРАМЕТР		
Высота над уровнем моря (E)		
<i>E1-очень низкий (0-200 м)</i>	67,0*	98,0
<i>E12-низкий (200-500 м)</i>	26,0	-
<i>E13-средний (500-1000 м)</i>	5,0	2,0
<i>E14-высокий (1000-2000 м)</i>	2,0	-
Генезис (G)		
<i>Термокарстовые – G1</i>	66,0	36,0
<i>Водно-эрозионные – G2</i>	17,0	21,0
<i>Эрозионно-термокарстовые – G3</i>	9,0	19,0
<i>Ледниково-зандровые – G9</i>	3,0	24,0
Величина площади водного зеркала (A)		
<i>A2 – большая, от 101 до 1000 км²</i>	1,0	2,4

Продолжение таблицы 5.3.2

<i>A3 – средняя, от 10 до 100 км²</i>	5,0	19,0
<i>A4 – небольшая, от 1,0 до 10 км²</i>	18,0	21,4
<i>A5 – малая, от 0,1 до 1,0 км²</i>	39,0	33,4
<i>A6 – маленькая, от 0,01 до 0,1 км²</i>	29,0	21,4
<i>A7 – озёрки, от 0,001 до 0,01 км²</i>	8,0	2,4
Максимальная глубина (Dm)		
<i>D3 – повышенная, от 12,5 до 25 м</i>	2,0	2,0
<i>D4 – средняя, от 6,25 до 12,5 м</i>	3,0	-
<i>D5 – малая, от 3,12 до 6,25 м</i>	28,0	24,0
<i>D6 – очень малая, меньше 3,12 м</i>	67,0	74,0
Средняя глубина (Da)		
<i>Da1 – очень большие, больше 16 м</i>	1,1	
<i>Da2 – большие, от 8 до 16 м</i>	0,5	
<i>Da3 – средние, от 4 до 8 м</i>	1,1	2,4
<i>Da4 – малые, от 2 до 4 м</i>	3,7	
<i>Da5 – очень малые, меньше 2 м</i>	93,7	97,6
Коэффициент удлиненности (K)		
<i>K1 – вытянутая (более 10,0)</i>	3,0	-
<i>K2 – удлиненная (7,0-10,0)</i>	2,0	14,5
<i>K3 – овально-удлиненная (5,0-7,0)</i>	4,0	-
<i>K4 – близкая к овалу (3,0-5,0)</i>	10,0	9,5
<i>K5 – близкая к кругу (1,5-3,0)</i>	46,0	64,0
<i>K6 – округлая (менее 1,5)</i>	36,0	12,0
Развитие береговой линии (L)		
<i>L1 – изрезанная (более 6,0)</i>	1,0	-
<i>L2 – слабоизрезанная (2,0-6,0)</i>	14,0	7,0
<i>L3 – округлая (менее 2,0)</i>	85,0	93,0
ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЙ ПАРАМЕТР		
Температурный режим (T)		
<i>T1 – холодные: tcp < 10 °C</i>	4,0	40,0
<i>T2 – умеренные: tcp = 10-15 °C</i>	24,0	50,0
<i>T3 – тёплые: tcp = 15-20 °C</i>	72,0	10,0
Прозрачность (Ts)		
<i>Ts1 – прозрачная (более 30 см)</i>	77,0	87,0
<i>Ts2 – слабо мутная (25-30 см)</i>	8,0	2,0
<i>Ts3 – средне мутная (20-25 см)</i>	6,0	7,0
<i>Ts4 – мутная (10-20 см)</i>	8,0	4,0
<i>Ts5 – очень мутная (менее 10 см)</i>	1,0	-
Минерализация (M)		
<i>M1 – очень малая, до 100 мг/л</i>	24,0	81,0
<i>M2 – малая, 100-200 мг/л</i>	18,0	12,0
<i>M3 – средняя, 200-500 мг/л</i>	30,0	7,0
<i>M4 – повышенная, 500-1500 мг/л</i>	25,0	-
<i>M5 – высокая, 1500-3000 мг/л</i>	2,0	-
<i>M6 – очень высокая, 3000 мг/л</i>	1,0	-
Ионный состав (I)		
<i>I 1 (1) – гидрокарбонатная кальциевая</i>	37,0	28,0
<i>I 1 (2) – гидрокарбонатная магниевая</i>	41,0	50,0
<i>I 1 (3) – гидрокарбонатная натриевая</i>	13,0	9,0
<i>I 2 (1) – сульфатная кальциевая</i>	-	3,0
<i>I 2 (3) – сульфатная натриевая</i>	3,0	6,0
<i>I 3 (3) – хлоридная натриевая</i>	6,0	3,0
Водородный показатель (pH)		
<i>pH1 – кислые (3,0-5,0)</i>	0,5	2,0
<i>pH2 – слабокислые (5,0-6,5)</i>	7,0	12,0
<i>pH3 – нейтральные (6,5-7,5)</i>	29,0	24,0
<i>pH4 – слабощелочные (7,5-8,5)</i>	34,0	48,0
<i>pH5 – щелочные (8,5-9,5)</i>	25,0	14,0
<i>pH6 – сильнощелочные (выше 9,5)</i>	4,5	-

Продолжение таблицы 5.3.2

Общая жесткость (Th)		
Th1 – очень жесткие (выше 9)	3,0	-
Th2 – жесткие (6-9)	9,0	-
Th3 – умеренно-жесткие (3-6)	32,0	-
Th4 – мягкие (1,5-3)	25,0	5,0
Th5 – очень мягкие (менее 1,5)	31,0	95,0
ГИДРОБИОЛОГИЧЕСКИЙ ПАРАМЕТР		
Зона сапробности по диатомеям (Si)		
S ₂ – олигосапробная (0,50 – 1,50)	29,0	64,0
S ₃ – б-мезосапробная (1,51 – 2,5)	66,0	36,0
S ₄ – а-мезосапробная (2,51 – 3,5)	4,0	-

*Примечание: Жирным шрифтом и серым цветом отмечены максимальные значения параметров.

По происхождению котловин все изученные объекты относились к четырем генетическим типам озёр с преимущественным преобладанием термокарстового происхождения (до 36 %). Аналогичная картина наблюдается в целом по Якутии, где отмечено абсолютное преобладание озёр термокарстового генезиса.

Морфометрические параметры (площадь водного зеркала, максимальная глубина, коэффициент удлиненности и развитие береговой линии) в обоих наборах (озёр бассейна Индигирки и Якутии) очень схожи. Преобладают озёра с малой площадью, мелководные с глубиной менее 3 м, с формой близкой к кругу, округлые по развитию береговой линии, с прозрачной слабощелочной водой.

Однако по температурному признаку они различаются: по всей Якутии преобладают озёра с теплой водой, а в «индигирских» озёрах температурный режим умеренно-холодный. То же самое по минерализации: ультрапресная вода в «индигирских» озёрах, а в целом по Якутии – минерализация меняется в широких пределах. Хотя по ионному составу вод они оказались близки. По общей жесткости в «индигирских» объектах абсолютно доминировали озёра с очень мягкой водой. Тогда как во втором наборе отмечен разброс значений. По сапробности также оба набора существенно различаются: олиго-, бета-мезосапробная зона характерна для озёр Индигирки, а бета-мезосапробная – олигосапробная зона для всей Якутии.

5.3.1 Классификация (типизация) озёр бассейна реки Индигирка

При помощи РЭЛК составлена типизация 42 озёр бассейна реки Индигирка. При этом из-за отсутствия данных (исследования не проводились), из списка 18 признаков были исключены: водный баланс (W), трофический статус (Tr), флора (Fl) и фауна (Fa). Остальные 79 % признаков с показателями легли в основу индивидуальных профилей изученных озёр.

Используя РЭЛК к изученным озёрам бассейна реки Индигирка, были присвоены индивидуальные паспорта с формулой для каждого озера (таблица 5.3.1.1). Для составления индивидуальных паспортов с формулой использованы следующие данные: высота над уровнем моря (E), генетический тип (G), величина водного зеркала (A), максимальная глубина (D), коэффициент удлиненности (K), развитие береговой линии (L), средняя июльская температура (T), прозрачность воды (Ts), минерализация (M), ионный состав (I), водородный показатель (pH), общая жесткость (Th) и интегральный индекс сапробности (Si).

Таблица 5.3.1.1 – Индивидуальные паспорта 42 озёр бассейна реки Индигирка

Группа	Озеро	Формула паспорта озера	Описание индивидуального паспорта озера
СТ*	Ю04	$E_1 G_2 A_4 D_6 K_1 L_3 T_3 Ts_4$ $M_2 I_1(2) Ph_4 Th_4 S_{i3}$	Водно-эрозионное озеро, расположено на очень низкой высоте над уровнем моря, не большая по площади, очень малой глубиной, округлое, вытянутой формы, с теплой и мутной водой, малой минерализацией, с гидрокарбонатно-магниево мягкой водой, слабощелочное, с бета-мезосапробной зоной
	Ю06	$E_1 G_2 A_4 D_6 K_1 L_2 T_3 Ts_4$ $M_3 I_3(2) Ph_2 Th_5 S_{i3}$	Водно-эрозионное озеро, расположено на очень низкой высоте над уровнем, небольшая по площади, с очень малой глубиной, слабоизрезанное, вытянутой формы, с теплой и мутной водой, средней минерализацией, с хлоридно-магниево очень мягкой водой, слабокислое, с бета-мезосапробной зоной
	Ю08	$E_1 G_3 A_5 D_6 K_1 L_3 T_3 Ts_4$ $M_1 I_1(2) Ph_4 Th_5 S_{i2}$	Водно-термокарстовое озеро, расположено на очень низкой высоте над уровнем, малая по площади, с очень малой глубиной, округлое, вытянутой формы, с теплой и мутной водой, очень малой минерализацией, с гидрокарбонатно-
			магниево очень мягкой водой, слабощелочное, с олигосапробной зоной
	Ю016	$E_1 G_2 A_6 D_6 K_5 L_3 T_3 Ts_4$ $M_1 I_{1-3,2} Ph_4 Th_5 S_{i3}$	Водно-эрозионное озеро, расположено на очень низкой высоте над уровнем моря, маленькое по площади, с очень малой глубиной, округлое, близкой к кругу формы, с теплой

Продолжение таблицы 5.3.1.1

			и мутной водой, очень малой минерализацией, с гидрокарбонатно-магниевого очень мягкой водой, слабощелочное, с бета-мезосапробной зоной
	IO7	El ₁ G ₃ A ₄ D ₆ K ₆ L ₂ T ₃ Ts ₄ M ₁ I ₁ (1) Ph ₃ Th ₅ S ₁₂	Эрозионно-термокарстовое озеро, расположено на очень низкой высоте над уровнем моря, небольшая по площади, с очень малой глубиной, слабоизрезанное, округлой формы, с теплой и мутной водой, очень малой минерализацией, с гидрокарбонатно-кальциевой очень мягкой водой, слабощелочное, с олигосапробной средой
	IO5	El ₁ G ₂ A ₄ D ₆ K ₁ L ₃ T ₃ Ts ₁ M ₂ I ₁ (2) Ph ₄ Th ₄ S ₁₃	Водно-эрозионное озеро, расположено на очень низкой высоте над уровнем моря, небольшое по площади, с очень малой глубиной, округлое, вытянутой формы, с теплой и прозрачной водой, малой минерализацией слабощелочное, с гидрокарбонатно-магниевого мягкой водой, с бета-мезосапробной зоной
	IO14	El ₁ G ₂ A ₆ D ₆ K ₆ L ₃ T ₃ Ts ₁ M ₁ I ₁ (2) Ph ₄ Th ₅ S ₁₂	Водно-эрозионное озеро, расположено на очень низкой высоте над уровнем моря, маленькое по площади, с очень малой глубиной, округлое, с округлой формой, с теплой и прозрачной водой, очень малой минерализацией, щелочное, с гидрокарбонатно-магниевого очень мягкой водой, с олигосапробной зоной
	IO15	El ₁ G ₃ A ₅ D ₆ K ₅ L ₃ T ₃ Ts ₁ M ₁ I ₁ (2) Ph ₃ Th ₅ S ₁₂	Эрозионно-термокарстовое озеро, расположено на очень низкой высоте над уровнем моря, малой площади, с очень малой глубиной, округлое, близкой к кругу формы, с теплой и прозрачной водой, очень малой минерализацией, нейтральное, с гидрокарбонатно-магниевого очень мягкой водой, с олигосапробной зоной.
	IO17	El ₁ G ₂ A ₅ D ₅ K ₅ L ₃ T ₃ Ts ₁ M ₂ I ₁ (2) Ph ₄ Th ₅ S ₁₂	Эрозионно-термокарстовое озеро, расположено на очень низкой высоте над уровнем моря, маленькое по площади, с малой глубиной, округлое, близкой к кругу формы, с теплой и прозрачной водой, малой минерализацией, слабощелочное, с гидрокарбонатно-магниевого очень мягкой водой, с олигосапробной зоной
	IO8	El ₁ G ₃ A ₆ D ₆ K ₁ L ₃ T ₃ Ts ₁ M ₁ I ₁ (1) Ph ₃ Th ₅ S ₁₃	Эрозионно-термокарстовое озеро расположено на очень низкой высоте над уровнем моря, маленькое по площади, с очень малой глубиной, округлое, вытянутой формы, с теплой и прозрачной водой, с малой минерализацией, щелочное, с гидрокарбонатно-натриевой очень мягкой водой, с бета-мезосапробной зоной
	IO26	El ₃ G ₉ A ₆ D ₆ K ₅ L ₃ T ₁ Ts ₁ M ₂ I ₁ (3) Ph ₂ Th ₅ S ₁₂	Ледниковое озеро, расположено на средней высоте над уровнем моря, маленькое по площади, с очень малой глубиной, округлое, близкой к кругу формы, с холодной и прозрачной водой, с малой минерализацией, слабокислое, с гидрокарбонатно-магниевого очень мягкой водой, с олигосапробной зоной
ЛТ	IO13	El ₁ G ₉ A ₃ D ₆ K ₅ L ₃ T ₂ Ts ₁ M ₁ I ₁ (3) Ph ₄ Th ₅ S ₁₃	Ледниковое озеро, расположено на очень низкой высоте над уровнем моря, среднее по площади, с очень малой глубиной, округлое, близкой к кругу формы, с умеренной и прозрачной водой, с очень малой минерализацией, слабощелочное, с гидрокарбонатно-натриевой очень мягкой водой, с бета-мезосапробной зоной
	IO19	El ₁ G ₉ A ₃ D ₆ K ₅ L ₃ T ₂ Ts ₁ M ₁ I ₁ (3) Ph ₄ Th ₅ S ₁₃	Ледниковое озеро, расположено на очень низкой высоте над уровнем моря, среднее по площади, с очень малой глубиной, округлое, близкой к кругу формы, с умеренной и прозрачной водой, с очень малой минерализацией, слабощелочное, с
			гидрокарбонатно-натриевой очень мягкой водой, с бета-мезосапробной зоной
	IO20	El ₁ G ₉ A ₃ D ₆ K ₅ L ₃ T ₂ Ts ₁ M ₁ I ₁ (3) Ph ₄ Th ₅ S ₁₃	Ледниковое озеро, расположено на очень низкой высоте над уровнем моря, среднее по площади, с очень малой глубиной, округлое, близкой к кругу формы, с умеренной и прозрачной

Продолжение таблицы 5.3.1.1

			водой, с очень малой минерализацией, нейтральное, с гидрокарбонатно-кальциевой очень мягкой водой, с бета-мезосапробной зоной
ТТ	IO2	El ₁ G ₂ A ₆ D ₆ K ₅ L ₃ T ₂ Ts ₁ M ₁ I ₁ (1) Ph ₄ Th ₅ S ₁₂	Водно-эрозионное озеро, расположено на очень низкой высоте над уровнем моря, маленькое по площади, с очень малой глубиной, округлое, близкой к кругу формы, с умеренной и прозрачной водой, с очень малой минерализацией, слабощелочное, с гидрокарбонатно-кальциевой очень мягкой водой, с олигосапробной зоной
	IO3	El ₁ G ₂ A ₆ D ₆ K ₅ L ₃ T ₂ Ts ₁ M ₁ I ₁ (1) Ph ₄ Th ₅ S ₁₂	Водно-эрозионное озеро, расположено на очень низкой высоте над уровнем моря, маленькое по площади, с очень малой глубиной, округлое, близкой к кругу формы, с умеренной и прозрачной водой, с очень малой минерализацией, слабощелочное, с гидрокарбонатно-кальциевой очень мягкой водой, с олигосапробной зоной
	IO40	El ₁ G ₁ A ₅ D ₆ K ₅ L ₃ T ₂ Ts ₁ M ₁ I ₁ (1) Ph ₃ Th ₅ S ₁₂	Термокарстовое озеро, расположено на очень низкой высоте над уровнем моря, малое по площади, с очень малой глубиной, округлое, близкой к кругу формы, с умеренной и прозрачной водой, с очень малой минерализацией, нейтральное, с гидрокарбонатно-кальциевой очень мягкой водой, с олигосапробной зоной
	IO39	El ₁ G ₁ A ₄ D ₆ K ₄ L ₃ T ₂ Ts ₁ M ₁ I ₁ (1) Ph ₃ Th ₅ S ₁₃	Термокарстовое озеро, расположено на очень низкой высоте над уровнем моря, небольшое по площади, с очень малой глубиной, округлое, близкой к овалу формы, с умеренной и прозрачной водой, с очень малой минерализацией, нейтральное, с гидрокарбонатно-кальциевой очень мягкой водой, с бета-мезосапробной зоной
	IO38	El ₁ G ₁ A ₅ D ₆ K ₄ L ₃ T ₂ Ts ₁ M ₁ I ₁ (2) Ph ₃ Th ₅ S ₁₂	Термокарстовое озеро, расположено на очень низкой высоте над уровнем моря, малое по площади, с очень малой глубиной, округлое, близкой к овалу формы, с умеренной и прозрачной водой, с очень малой минерализацией, нейтральное, с гидрокарбонатно-магниевого очень мягкой водой, с олигосапробной зоной
	IO37	El ₁ G ₁ A ₅ D ₆ K ₅ L ₃ T ₂ Ts ₁ M ₁ I ₁ (1) Ph ₄ Th ₅ S ₁₂	Термокарстовое озеро, расположено на очень низкой высоте над уровнем моря, малое по площади, с очень малой глубиной, округлое, близкой к кругу формы, с умеренной и прозрачной водой, с очень малой минерализацией, слабощелочное, с гидрокарбонатно-кальциевой очень мягкой водой, с олигосапробной зоной
	IO36	El ₁ G ₁ A ₅ D ₆ K ₅ L ₃ T ₂ Ts ₁ M ₁ I ₁ (1) Ph ₄ Th ₅ S ₁₂	Термокарстовое озеро, расположено на очень низкой высоте над уровнем моря, малое по площади, с очень малой глубиной, округлое, близкой к кругу формы, с умеренной и прозрачной водой, с очень малой минерализацией, слабощелочное, с гидрокарбонатно-кальциевой очень мягкой водой, с олигосапробной зоной
	IO35	El ₁ G ₁ A ₅ D ₆ K ₅ L ₃ T ₂ Ts ₁ M ₁ I ₁ (1) Ph ₄ Th ₅ S ₁₂	Термокарстовое озеро, расположено на очень низкой высоте над уровнем моря, малое по площади, с очень малой глубиной, округлое, близкой к кругу формы, с умеренной и прозрачной водой, с очень малой минерализацией, слабощелочное, с гидрокарбонатно-кальциевой очень мягкой водой, с олигосапробной зоной
	IO1	El ₁ G ₂ A ₄ D ₆ K ₁ L ₂ T ₂ Ts ₁ M ₁ I ₁ (3) Ph ₂ Th ₅ S ₁₂	Водно-эрозионное озеро, расположено на очень низкой высоте над уровнем моря, небольшое по площади, с очень малой глубиной, слабоизрезанное, вытянутой формы, с умеренной и прозрачной водой, с очень малой минерализацией, слабокислое, с гидрокарбонатно-натриевой очень мягкой водой, с олигосапробной зоной
	IO41	El ₁ G ₁ A ₅ D ₆ K ₅ L ₃ T ₂ Ts ₁ M ₁ I ₁ (1) Ph ₄ Th ₅ S ₁₂	Термокарстовое озеро, расположено на очень низкой высоте над уровнем моря, малое по площади, с очень малой глубиной, округлое, близкой к кругу формы, с умеренной и

Продолжение таблицы 5.3.1.1

		прозрачной водой, с очень малой минерализацией, слабощелочное, с гидрокарбонатно-кальциевой очень мягкой водой, с олигосапробной зоной
Ю034	El ₁ G ₁ A ₄ D ₅ K ₂ L ₃ T ₂ Ts ₁ M ₁ I ₁ (2) Ph ₃ Th ₅ S _{i2}	Термокарстовое озеро, расположено на очень низкой высоте над уровнем моря, небольшое по площади, с малой глубиной, округлое, удлинённой формы, с умеренной и прозрачной водой, с очень малой минерализацией, нейтральное, с гидрокарбонатно-магниевого очень мягкой водой, с олигосапробной зоной
Ю033	El ₁ G ₁ A ₆ D ₅ K ₆ L ₃ T ₂ Ts ₁ M ₂ I ₁ (1) Ph ₂ Th ₅ S _{i2}	Термокарстовое озеро, расположено на очень низкой высоте над уровнем моря, маленькое по площади, с малой глубиной, округлое, округлой формы, с умеренной и прозрачной водой, с малой минерализацией, слабощелочное, с гидрокарбонатно-кальциевой очень мягкой водой, с олигосапробной зоной
Ю031	El ₁ G ₁ A ₆ D ₅ K ₂ L ₃ T ₁ Ts ₁ M ₂ I ₁ (2) Ph ₄ Th ₅ S _{i2}	Термокарстовое озеро, расположено на очень низкой высоте над уровнем моря, маленькое по площади, с малой глубиной, округлое, удлинённой формы, с холодной и прозрачной водой, с малой минерализацией, слабощелочное, с гидрокарбонатно-магниевого очень мягкой водой, с олигосапробной зоной
Ю032	El ₁ G ₁ A ₆ D ₅ K ₂ L ₃ T ₁ Ts ₁ M ₂ I ₁ (2) Ph ₄ Th ₅ S _{i2}	Термокарстовое озеро, расположено на очень низкой высоте над уровнем моря, маленькое по площади, с малой глубиной, округлое, удлинённой формы, с холодной и прозрачной водой, с малой минерализацией, слабощелочное, с гидрокарбонатно-магниевого очень мягкой водой, с олигосапробной зоной
Ю030	El ₁ G ₁ A ₅ D ₅ K ₂ L ₃ T ₁ Ts ₁ M ₂ I ₁ (2) Ph ₄ Th ₅ S _{i2}	Термокарстовое озеро, расположено на очень низкой высоте над уровнем моря, малое по площади, с малой глубиной, округлое, удлинённой формы, с холодной и прозрачной водой, с малой минерализацией, слабощелочное, с гидрокарбонатно-магниевого очень мягкой водой, с олигосапробной зоной
Ю029	El ₁ G ₁ A ₆ D ₅ K ₅ L ₃ T ₁ Ts ₁ M ₁ I ₁ (2) Ph ₄ Th ₅ S _{i2}	Термокарстовое озеро, расположено на очень низкой высоте над уровнем моря, маленькое по площади, с малой глубиной, округлое, близкой к кругу формы, с холодной и прозрачной водой, с очень малой минерализацией, слабощелочное, с гидрокарбонатно-магниевого очень мягкой водой, с олигосапробной зоной
Ю028	El ₁ G ₁ A ₆ D ₅ K ₅ L ₃ T ₁ Ts ₁ M ₁ I ₁ (2) Ph ₄ Th ₅ S _{i2}	Термокарстовое озеро, расположено на очень низкой высоте над уровнем моря, маленькое по площади, с малой глубиной, округлое, близкой к кругу формы, с холодной и прозрачной водой, с очень малой минерализацией, слабощелочное, с гидрокарбонатно-магниевого очень мягкой водой, с олигосапробной зоной
Ю027	El ₁ G ₁ A ₅ D ₅ K ₆ L ₃ T ₁ Ts ₁ M ₁ I ₁ (2) Ph ₃ Th ₅ S _{i2}	Термокарстовое озеро, расположено на очень низкой высоте над уровнем моря, малое по площади, с малой глубиной, округлое, округлой формы, с холодной и прозрачной водой, с очень малой минерализацией, нейтральное, с гидрокарбонатно-магниевого очень мягкой водой, с олигосапробной зоной

*Примечание: Группы озёр: СТ – северная тайга, ЛС – лесотундра, ТТ – типичная тундра.

На основании полученных индивидуальных паспортов выполнен кластерный анализ для создания групп озёр, схожих между собой. В качестве меры сходства применено евклидово расстояние (рисунок 5.3.1.1).

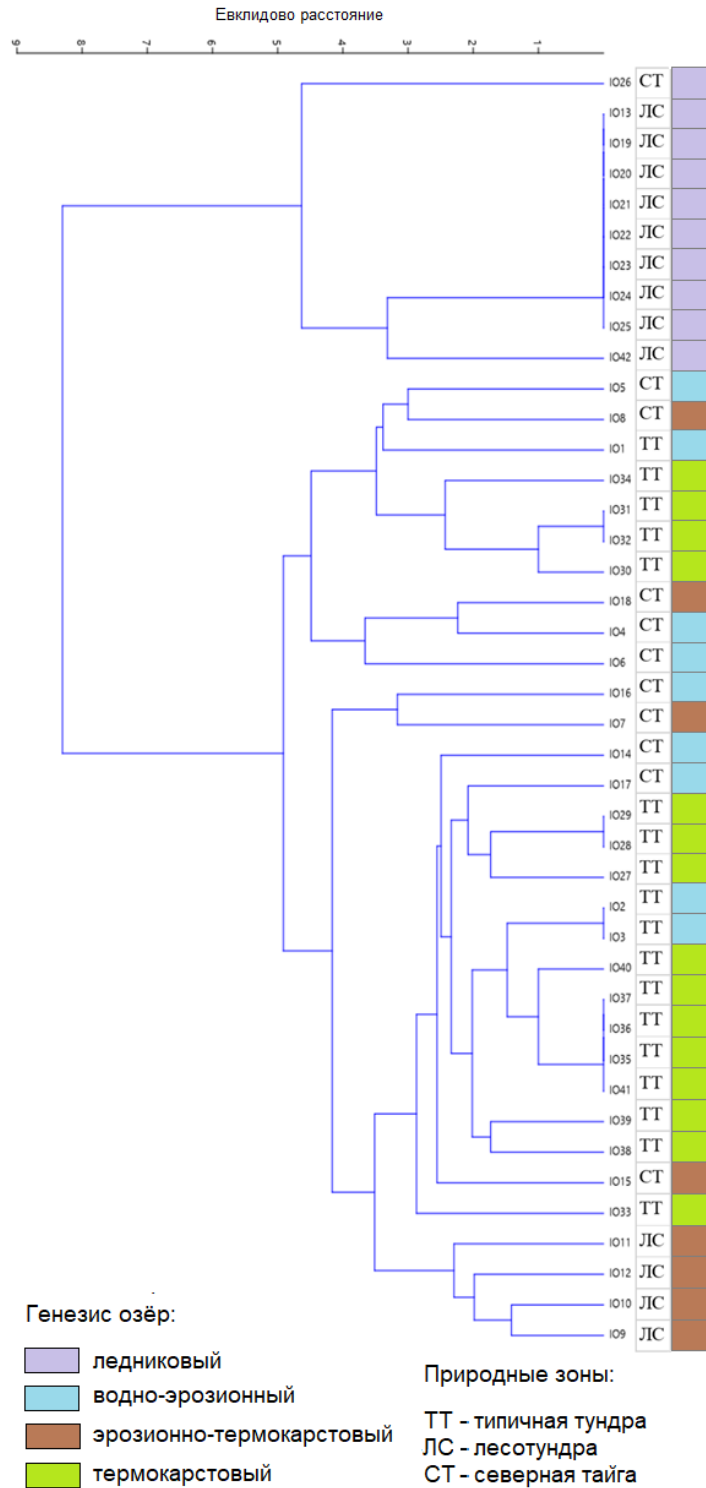


Рисунок 5.3.1.1 – Кластеризация разнотипных озёр бассейна реки Индигирка

Из анализа полученных выше результатов следует отметить, что основным объединяющим показателем оказался генезис озёрных котловин: ледниковые, термокарстовые и эрозионно-термокарстовые. Тип озёр водно-эрозионного происхождения в наших исследованиях оказался внутри

термокарстовых и эрозионно-термокарстовых озёр. Вероятно, этот факт указывает на то, что котловины водно-эрозионных озёр образовались в области древней и современной миграции рек и их притоков. Они могут быть на разных природных зонах одновременно.

Не менее важный показатель объединения озёр в разные классы – ионный состав воды озера: ледниковые – с гидрокарбонатно-натриевой водой; термокарстовые – с гидрокарбонатно-кальциевой водой; эрозионно-термокарстовые – с сульфатно-натриевой водой.

Благодаря полученным при помощи РЭЛК индивидуальным паспортам 42 озёр района исследований, а также используя результат кластерного анализа, нами выявлены три преобладающих класса со следующими формулами озёр:

I. $E1_1 G_9 A_3 D_6 K_5 L_3 T_2 Ts_1 M_1 I_1(3) Ph_4 Th_5 S_{13}$ – **ледниковое озеро**, расположено на очень низкой высоте над уровнем моря, **среднее по площади**, с очень малой глубиной, округлое, близкой к кругу формы, с умеренной и прозрачной водой, с очень малой минерализацией, слабощелочное, с **гидрокарбонатно-натриевой** очень мягкой водой, с **бета-мезосапробной зоной** (озёра ледникового происхождения лесотундры и северной тайги);

II. $E1_1 G_1 A_5 D_6 K_5 L_3 T_2 Ts_1 M_1 I_1(1) Ph_4 Th_5 Si_2$ – **термокарстовое озеро**, расположено на очень низкой высоте над уровнем моря, **малое по площади**, с очень малой глубиной, округлое, близкой к кругу формы, с умеренной и прозрачной водой, с очень малой минерализацией, слабощелочное, с **гидрокарбонатно-кальциевой** очень мягкой водой, с **олигосапробной зоной** (большинство термокарстовых озёр субарктической тундры и северной тайги);

III. $E1_1 G_3 A_4 D_5 K_4 L_3 T_3 Ts_1 M_2 I_2(3) Ph_5 Th_5 Si_2$ – **эрозионно-термокарстовое озеро**, расположено на очень низкой высоте над уровнем моря, **небольшое по площади**, с **малой глубиной**, округлое, **близкой к овалу формы**, с **теплой** и прозрачной водой, с **малой минерализацией**,

слабощелочное, с **сульфатно-натриевой** очень мягкой водой, с **олигосапробной зоной** (большинство озёр лесотундры).

Таким образом, структура разработанной РЭЛК помогает выявить отдельные классы озёр для решения конкретных задач озёрного природопользования, в том числе по использованию озёрных ресурсов.

Краткие выводы к главе 5

Результаты исследований позволяют сделать следующие обобщения и выводы к главе:

— основные классификации озёр отражают различные особенности их параметров: местоположение (зональная классификация), генезис, морфометрические характеристики, гидрологические и гидрохимические свойства, гидробиологические и экологические особенности. Возможности применения современной электронно-вычислительной техники дают возможность применения комплексных многокритериальных классификаций озёр, таких как классификация Галеевой и др. (2022);

— установлен ряд интересных взаимосвязей абиотических и биотических параметров озёрных экосистем. Вода озёр с ростом широты местности становится мягче и прозрачнее. Параллельно этому (с увеличением широты) возрастает относительная численность диатомей-галофобов («соле ненавистников»), представленных в значительной степени ацидофилами (предпочитающих кислую среду), и степень чистоты воды, оцениваемая по индексу сапробности. Увеличение относительной численности донных диатомей способствует возрастанию выравненности в структуре диатомовых комплексов за счет снижения доминирования отдельных таксонов;

— выявлены закономерности в распределении экологических групп диатомей. Таксоны диатомовых, предпочитающие исключительно слабоминерализованную воду, в большинстве своем, являются обитателями чистых вод с кислой средой. Диатомей, тяготеющие к нейтральной среде, в значительной степени являются видами-обитателями очень чистых вод. Диатомей, предпочитающие высокую минерализацию, часто являются обитателями умеренно-загрязнённых вод;

— разработана региональная эколого-лимнологическая классификация озёр Якутии на примере бассейна реки Индигирка.

Классификация состоит из 3 параметров, 18 признаков и 108 показателей. На основе РЭЛК произведена типизация изученных озёр бассейна реки Индигирка с присвоением индивидуальных паспортов и формул каждому водному объекту;

— по индивидуальным паспортам 42 озёр района исследования используя результат кластерного анализа выявлены три преобладающих класса, объединённых преимущественно по генезису озёрных котловин (ледниковые, термокарстовые и эрозионно-термокарстовые). Вторым важным показателем объединения озёр на разные классы – ионный состав воды: ледниковые – гидрокарбонатно-натриевой водой; термокарстовые – гидрокарбонатно-кальциевой водой; эрозионно-термокарстовые – сульфатно-натриевой водой.

Таким образом, структура разработанной РЭЛК помогает выявить отдельные классы озёр для решения конкретных задач озёрного природопользования, в том числе по использованию озёрных ресурсов.

ВЫВОДЫ

1) На полигоне Кыталык установлены 3 основные формы рельефа: термокарстовые котловины (аласы), едомные возвышенности (едома) и пойма реки Бёрёлёх (пойма). На термокарстовых котловинах выделено пять типов водоёмов: внутриполигональные (I); межполигональные в понижениях над протаивающими повторно-жильными льдами (ПЖЛ) (II); межполигональные в понижениях над протаивающими ПЖЛ со сложной конфигурацией (III); водоёмы на деградирующих полигонально-валиковых образованиях ПЖЛ (IV) и остаточные термокарстовые озёра (V). На едомных возвышенностях расположены водоёмы на первичных термокарстовых западинах (VI). На пойме реки Бёрёлёх расположены внутриполигональные (I), межполигональные в понижениях над протаивающими ПЖЛ (II) и озёрки пойменные термокарстово-эрозионные (VII).

Все водоёмы характеризуются очень маленькой площадью водного зеркала, очень малой глубиной, округлой и близкой к округлой формами. Максимальные размеры зеркала (до 50 x 39 м) принадлежат водоёмам аласа и поймы, водные объекты едомы отличаются небольшими размерами (до 13,5 x 10 м). Глубина всех водоёмов полигона небольшая (до 0,8 м), прозрачность воды 100 % (до дна). Вода слабоминерализованная, очень мягкая, ультрапресная. pH варьирует в широких пределах. Водоёмы едомы характеризуются слабокислой и кислой средой, а водные объекты I, II, III, IV, V типов аласов обладают pH в диапазоне от кислых до слабощелочных; объекты поймы – от нейтральных до слабощелочных. Большинство водоёмов на аласах обладает водами сульфатного класса натриевой группы (48 %); едомы – сульфатными магниевыми (33 %) и натриевыми (33 %). В водоёмах поймы реки преобладают воды гидрокарбонатного класса натриевой группы (71 %). Идентичные типы водоёмов на аласе и в пойме имеют различный химический состав воды, что может говорить о значительном влиянии на него речных вод.

Во всех исследованных водоёмах зарегистрировано 152 вида (в т.ч. 2 разновидности) диатомовых водорослей, относящиеся к 38 родам, 21 семейству, 12 порядкам и 3 классам (*Bacillariophyceae*, *Coscinodiscophyceae* и *Mediophyceae*). Список массовых (более 5 % клеток) таксонов диатомовых насчитывает 40 видов. Массовые формы представлены типичными видами северных пресноводных водоёмов такими, как *Tabellaria flocculosa*, *Eunotia bilunaris*, *Eunotia subarcuatoides*, *Pinnularia brevicostata* др. По сходству таксономического состава диатомовой флоры объекты исследования подразделены на 3 группы: водоёмы на аласе; на едомной возвышенности и на пойме. Группа аласных водоёмов разделилась на 2 уровня (верхний алас и нижний алас). Водоёмы поймы объединены в подгруппы внутриволигональных (I) и межволигональных (II) водоёмов. По эколого-географическим характеристикам в диатомовых комплексах водоёмов преобладают эпифиты (51 %); по отношению к солености воды – индифференты (63 %); по предпочтениям к pH –ацидофилы (46 %); по географическому распределению равной долей космополитов (39 %) с широким географическим распространением и относительно тепловодных бореальных (34,8 %) форм.

Характер изменения абиотических и биотических параметров в пределах модельного водоёма IP-1 указывает на то, что водоёмы полигона Кыталык достаточно быстро реагируют на внешние факторы. Уровень мониторингового водоёма изменяется во взаимосвязи с температурой воздуха и воды. Частые колебания физических и химических характеристик воды оказывают сильное влияние на соотношение экологических групп диатомей.

2) Площадь водного зеркала исследуемых озёр варьирует в широких пределах (от 0,003 до 157 км²), длина котловин – от 0,1 до 28 км, максимальная глубина – от 1,1 до 15 м. Большинство озёр (74 %) обладает очень малой глубиной (<3,12 м). По площади водного зеркала большая часть озёр субарктической тундры отнесены к малым (33 %) и небольшим (44 %), северной тайги – к небольшим (55 %). В лесотундре преобладают средние

озёра (62 %). По форме котловины в зоне субарктической тундры (67 %) и лесотундры (85 %) преобладают округлые, в северной тайге – удлинённые озёра (46 %). Степень развития береговой линии всех озёр очень слабая, 93 % объектов по данному параметру отнесены к круглым озёрам. По длине, ширине, максимальной глубине выделяются озёра, расположенные в лесотундре (ледниковые озёра Сутуруоха и Ожогоино). Крупные по размерам, но достаточно мелководные (3,1-15 м), они образуют сильную вариацию выборки по морфометрическим характеристикам.

Все озёра субарктической тундры, лесотундры и большинство озёр северной тайги (54 %) характеризуются прозрачной водой. Мутной и средне мутной водой отмечаются водно-эрозионные и эрозионно-термокарстовые озёра северной тайги, расположенные вблизи населённых пунктов. Водородный показатель озёр варьирует в широких пределах от 4,1 до 8,95. Изученные озёра характеризуются «очень мягкой» (95 %), ультрапресной (100 %) водой. Электропроводность воды варьирует в широких диапазонах (4,7-340 мкСм/см), достигая максимальных значений в водно-эрозионных озёрах северной тайги. В целом по озёрам преобладают воды класса гидрокарбонатных группы магниевых (50 %). 28 % имели воду класса гидрокарбонатных группы кальциевых; 9 % – гидрокарбонатных группы натриевых. Установлены зональные изменения общей жёсткости, гидрокарбонатов и прозрачности воды. По мере продвижения с юга на север прозрачность увеличивается, а общая жёсткость и концентрация гидрокарбонатов снижаются.

В диатомовой флоре исследованных озёр зарегистрировано 257 видов (в т.ч. 4 разновидности), относящихся к 75 родам, 30 семействам, 15 порядкам, 3 классам Bacillariophyta. Преобладают донные формы (48 %) и обрастатели (43 %), по отношению к рН – алкалофилы (39 %). По предпочтению к солености (так же как и в водоёмах полигона) доминируют индифференты (66 %). По преимущественному ареалу обитания преобладали космополиты (37 %) и бореальные формы (39 %). Наибольшим видовым богатством обладали озёра,

расположенные в зоне субарктической тундры (177 видов). Озёра лесотундры (150 видов) и северной тайги (140 видов) характеризуются ощутимо меньшим количеством таксонов. Выявлены закономерные взаимосвязи видового состава, эколого-географических условий, количественных соотношений таксонов диатомовых водорослей исследуемых водных объектов с показателями сапробности, параметрами местоположения и др. характеристиками.

По индексу сапробности водоёмы полигона Кыталык отнесены к категории чистых (II класс качества). Отмечено превышение рыбохозяйственного ПДК общего железа и ионов аммония. Водоёмы находятся на значительном удалении от населённых пунктов и мест выраженного антропогенного воздействия, что позволяет сделать вывод о естественных причинах повышения концентраций указанных компонентов. Исследуемые озёра обладают чистой (57 % озёр, II класс) и умеренно загрязненной (47 %, III класс) водой. Наибольшие значения индекса сапробности отмечены для озёр лесотундры (в среднем 1,56). Большинство озёр субарктической тундры (94 %) и северной тайги (63 %) отнесены ко II классу качества (чистая вода), наибольшая часть водных объектов лесотундры (61 %) принадлежат III классу качества (умеренно-загрязненная вода). Относительно загрязненные участки района расположены вблизи сёл Чокурдах (Аллаиховский район) и Сутуруоха (Абыйский район).

3) С целью обобщения сведений о состоянии водных объектов Якутии создана региональная эколого-лимнологическая классификация озёр Якутии на примере бассейна реки Индигирка. Классификация состоит из 3 параметров (географический, физико-химический и гидробиологический), 18 признаков и 106 показателей. На основе РЭЛК произведена типизация изученных озёр бассейна реки Индигирка с присвоением индивидуальных профилей с формулой каждому водному объекту. Разработанная РЭЛК применима для инвентаризации озёрного фонда и может быть использована для решения задач озёрного природопользования разного уровня. На основании

кластерного анализа индивидуальных паспортов озёр были выявлены 3 преобладающих класса, отличающиеся по генезису озёрной котловины, площади и форме зеркала, химическому типу и сапробности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Адаменко, В. Н. Климат и озера (К оценке настоящего, прошлого и будущего) / В. Н. Адаменко. – Ленинград : Гидрометеиздат, 1985. – 263 с.
2. Алекин, О. А. Основы гидрохимии / О. А. Алекин. – Ленинград : Гидрометеиздат, 1970. – 444 с.
3. Алисов, Б. П. Климатология / Б. П. Алисов, Б. В. Полтараус. – [2-е изд., перераб., доп.]. – Москва : Издательство МГУ, 1974. – 300 с.
4. Атлас сельского хозяйства Якутской АССР / Гос. агропром. ком. Якутской АССР ; гос. ком. РСФСР по народному образованию ; Якутский государственный университет ; редколлегия И. А. Матвеев [и др.]. – Москва : ГУГК, 1989. – 115 с.
5. Атлас Якутской АССР / под ред. Т. Д. Сивцева ; науч. рук. З. М. Дмитриева. – Москва : ГУГК, 1981. – 40 с.
6. База данных №2018621972. Разнообразие водорослей отдела *Vasillariophyta* термокарстовых водоемов бассейна р. Индигирка : №2018621972 : заявл. 30.11.2018 : опубл. 06.12.2018 / Л. А. Пестрякова, Р. М. Городничев, И. М. Перепелица [и др.] ; заявитель, правообладатель Северо-Вост. фед. ун-т. – 1 с.
7. Баранов, И. В. Лимнологические типы озер СССР / И. В. Баранов. – Ленинград : Гидрометеиздат, 1962. – 276 с.
8. Баринава, С. С. Атлас водорослей – индикаторов сапробности (российский Дальний Восток) / С. С. Баринава, Л. А. Медведева. – Владивосток : Дальнаука, 1996. – 364 с.
9. Баринава, С. С., Биоразнообразие водорослей-индикаторов окружающей среды / С. С. Баринава, Л. А. Медведева, О. В. Анисимова // *Pilies Studio*, Tel Aviv, 2006, 498 pp.
10. Богданов, В. В. Зонально-региональные свойства лимногенеза и их роль в классификации и районировании озер / В. В. Богданов // Географо-

гидрологический метод исследования вод суши. – Ленинград : Изд-во АН СССР ; Геогр. об-во СССР, 1984. – С. 71-78.

11. Богословский, Б. Б. Классификация водоемов по внешнему водообмену / Б. Б. Богословский, С. А. Филь // Географо-гидрологический метод исследования вод суши. – Москва : Изд-во АН. СССР ; Геогр. об-во СССР, 1984. – С. 54-60.

12. Богословский, Б. Б. Схема гидрологической классификации озер и районирование озер СССР / Б. Б. Богословский // Вестник МГУ. Серия География. – 1960. – № 2. – С. 17-24

13. Бульон, В. В. Закономерности первичной продукции в лимнических экосистемах / В. В. Бульон. – Санкт-Петербург : Наука, 1994. – С. 77–83.

14. Бульон, В. В. Первичная продукция планктона и классификация озер // Продукционно-гидробиологические исследования водных экосистем / В. В. Бульон. – Ленинград : Наука, 1987. – С. 45–51.

15. Бульон, В. В. Первичная продукция планктона и типология озер Монголии / В. В. Бульон // Водные ресурсы. – 1985. – № 1. – С. 170–175.

16. Васильчук, Ю. К. Повторно-жильные льды : гетероцикличность, гетерохронность, гетерогенность / Ю. К. Васильчук. – Москва : Издательство МГУ, 2006. – 404 с.

17. Верещагин, Г. Ю. Методы морфологической характеристики озер / Г. Ю. Верещагин // Труды Олонецкой науч. эксп. – 1930. – Ч. II. – Вып. 1. – 114 с.

18. Верхневолжские озера и верховья Западной Двины : Рекогносцировки и исслед. 1894-1895 гг. / [Соч.] Д. Н. Анучина. – Москва : типо-лит. т-ва "И.Н. Кушнерев и К°", 1897. – X. – 156 с., 22 ил., [6] л. карт., диагр.; 31.

19. Винберг, Г. Г. Первичная продукция водоемов / Г. Г. Винберг. – Минск : Издательство АН БССР, 1960. – 329 с.

20. Витвицкий, Г. Н. Климат Якутии / Г. Н. Витвицкий. – Москва : Наука. 1965. – С. 115-143.
21. Власов, Б. П. Природно-хозяйственная классификация озер Беларуси / Б. П. Власов. – Минск, 2001. – Т. 7. – С. 314–332.
22. Волкова, В. П. Особенности формирования химического состава природных вод и льдов в условиях сплошного распространения низкотемпературных мерзлых толщ (на примере мерзлотно-гидрогеологических структур Яно-Индибирского междуречья). Диссертация на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук / В.П. Волкова. – Москва, 1978.
23. ВСН 014–89. Строительство магистральных и промысловых трубопроводов. Охрана окружающей среды. – Москва : ВНИИСТ, 1990.
24. Втюрин, Б. И., Местная стратиграфическая схема четвертичных отложений побережья моря Лаптевых : «Труды Межведомств. совещ. по стратигр. Сибири». / Б. И. Втюрин, Н. Ф. Григорьев, Е. М. Катасонов [и др.]. – Ленинград : Гостоптехиздат, 1957.
25. Габышев, В. А. Фитопланктон крупных рек Якутии и сопредельных территорий Восточной Сибири / В. А. Габышев, О. И. Габышева. – Новосибирск : Сибирская академическая книга, 2018. – 414 с. – ISBN 978-5-4379-0567-8.
26. Гаврилова, М. К. Климаты холодных регионов Земли : учебное пособие / М. К. Гаврилова. – Якутск : Издательство СО РАН, 1998. – 206 с.
27. Галеева, А. И. Использование универсальной лимно-экологической классификации для региональной типизации и инвентаризации озерного фонда на примере г. Казани / А. И. Галеева, Н. М. Мингазова // Известие Самарского научного центра Российской академии наук. – 2010. – № 1(4). – С. 71-75.
28. Генкал, С. И. Диатомовые водоросли озер юга и севера Восточной Сибири / С. И. Генкал, Н. А. Бондаренко, Л. А. Щур. – Рыбинск : Рыбинский Дом печати, 2011. – 72 с.

29. Генкал, С. И. Диатомовые водоросли планктона Ладожского озера и водоемов его бассейна / С. И. Генкал, И. С. Трифонова. – Рыбинск : Рыбинский дом печати, 2009. – 72 с.

30. Генкал, С. И. Морфометрическая изменчивость, таксономия и распространение *Cyclotella Bodanica Eulenstein* (Bacillariophyta) в России / С. И. Генкал, Е. Ю. Митрофанова, М. С. Куликовский. – Москва : Наука, 2013. – С. 3.

31. Геокриологический словарь / Г. И. Дубиков, В. И. Аксенов В. И., М. М. Корейша [и др.] ; Под редакцией В. В. Баулина. – Москва : ГЕОС, 2003. – 140 с. ISBN 5-89118-338-2.

32. Гидрохимические параметры воды и таксономический состав диатомовых водорослей полигональных водоемов мониторингового участка ГПЗ «Кыталык» (бассейн реки Индигирка) / С. Н. Левина, М. И. Федулова, Н. М. Нигматуллин [и др.]. // География :. Том I. Коллективная монография по материалам ежегодной Всероссийской с международным участием научно-практической конференции LXXII Герценовские чтения, посвященной 150-летию со дня рождения В. Л. Комарова, 135-летию со дня рождения П. В. Гуревича, 90-летию со дня рождения В. С. Жекулина, Санкт-Петербург, РГПУ им. А. И. Герцена, 18-21 апреля 2019 г. / Отв. ред. С. И. Богданов [и др.]. – Санкт-Петербург : Астерион, 2019. – 547 с.

33. Гляциологический словарь / Редактор В. М. Котляков. – Ленинград : Гидрометеоздат, 1984. – С. 57.

34. 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 Северо-Восточного федерального университета им. М.К. Аммосова. – 2015. – № 6 (50). – С. 14-26.

35. Городничев, Р. М. Взаимосвязь состава диатомовых комплексов, морфометрических и гидрохимических характеристик озерных экосистем Севера Якутии : специальность 03.02.08 «Экология» : диссертация на

соискание ученой степени кандидата биологических наук: / Городничев Руслан Михайлович ; Северо-Восточный федеральный университет. – Якутск, 2015. – 187 с.

36. ГОСТ 17.1.3.07-82. Охрана природы. Гидросфера. Правила контроля качества воды водоемов и водотоков : нормативно-технический документ : издание официальное : введен 1984-01-01. – Москва : Издательство стандартов, 2010. – 10 с.

37. Григорьев, С. В. О некоторых определениях и показателях в озероведении / С. В. Григорьев // Труды Карельского филиала АН СССР. – 1959. – Вып. 18.

38. Давыдова, Н. Н. Диатомовые водоросли – индикаторы экологических условий водоемов в голоцене / Н. Н. Давыдова. – Ленинград : Наука, 1985. – 244 с.

39. Данилова, Н. С. Биология охраняемых растений Центральной Якутии / Н.С. Данилова, С.З. Борисова, Н.С. Иванова – Якутск : Издательство ЯФ СО РАН, 2005. – 112 с.

40. Десяткин, Р. В. Почвы криогенных форм микрорельефа тундровой и лесотундровой зон северо-восточной Якутии / Р. В. Десяткин, А.З. Иванова, М.В. Оконешникова [и др.]. // Природные ресурсы Арктики и Субарктики. 2022. – Т. 27. – № 1. – С. 98-108.

41. Десяткин, Р. В. Почвы Якутии / Р. В. Десяткин, М. В. Оконешникова, А. Р. Десяткин. – Якутск : Бичик, 2009. – 64 с.

42. Диатомовые водоросли СССР : Ископаемые и современные / под редакцией З. И. Глезер [и др.]. – Ленинград : Наука, 1974. – Т. 1. – 403 с.

43. Диатомовые водоросли СССР : Ископаемые и современные / под редакцией И. В. Макаровой. – Ленинград : Наука, 1988. – Т. 2. – Вып. 1. – 116 с.

44. Диатомовые водоросли СССР : Ископаемые и современные / под редакцией И. В. Макаровой. – Ленинград : Наука, 1992. – Т. 2. – Вып. 2. – 125 с.

45. Диатомовый анализ / Под общей редакцией А. Н. Криштофовича ; Всесоюзный научно-исследовательский геологический институт Министерства геологии ; Ботанический институт им. В. Л. Комарова АН СССР. – Ленинград : Госгеолиздат, 1949а. – Кн. 1. – 273 с.;
46. Диатомовый анализ / Под общей редакцией А. Н. Криштофовича ; Всесоюзный научно-исследовательский геологический институт Министерства геологии ; Ботанический институт им. В. Л. Комарова АН СССР. – Ленинград : Госгеолиздат, 1949б. – Кн. 2. – 283 с.
47. Егорова, А. А. Конспект флоры Арктической Якутии : Сосудистые растения / А. А. Егорова. – Новосибирск : Наука, 2016. – 188 с.
48. Егорова, А. А. Флора тундровой зоны Якутии / А. А. Егорова, И. И. Васильева, Н. А. Степанова, Н. Н. Фесько. – Якутск : ЯНЦ СО АН СССР, 1991. – 186 с.
49. Еловская, Л. Г. Почвы Северной Якутии / Л. Г. Еловская, Е. И. Петрова, Л. В. Тетерина. – Новосибирск : Наука, 1979. – 303 с.
50. Животовский, Л. А. Показатели внутривидового разнообразия / Л. А. Животовский // Журнал общей биологии. – 1980. – Т. 41. – № 6. – С. 828-836.
51. Жирков, И. И. К ландшафтно-генетической классификации озер Центральной Якутии / И. И. Жирков // Природа и хозяйство Сибири. – Якутск, 1977. – С. 32-33.
52. Жирков, И. И. Морфогенетическая классификация как основа рационального использования, охраны и воспроизводства природных ресурсов озер криолитозоны (на примере Центральной Якутии) / И. И. Жирков // Вопросы рационального использования и охраны природных ресурсов разнотипных озер криолитозоны (На примере Центральной Якутии) : Межвузовский сборник. – Якутск : ЯГУ, 1983. – С. 4-47.
53. Жирков, И. И. Схема лимногенетической классификации озер Северо-Востока России / И. И. Жирков // Ученые записки Российского

государственного гидрометеорологического университета. – 2014. – № 34. – С. 18-25.

54. Захаренков, И. С. О лимнологической классификации озер Белоруссии / И. С. Захаренков // Биологические основы рыбного хозяйства на внутренних водоемах Прибалтики. – Минск, 1964. – С. 175-176.

55. Захарова, В.И. Разнообразие сосудистых растений Центральной Якутии / В. И. Захарова. – Новосибирск : Наука, 2014. – 180 с.

56. Иванов, П. В. Классификация озер мира по величине и по их средней глубине / П. В. Иванов // Бюллетень ЛГУ. – Ленинград, 1948. – № 20. – С. 29–36.

57. Иванова, А.З. Особенности почвообразования в районе северной тайги в пределах бассейна реки Алазея / А. З. Иванова, Р. В. Десяткин // Биологические проблемы криолитозоны : Материалы Всероссийской конференции (30 июля–05 августа 2012). – Якутск : Сфера, 2012. – С. 70–72.

58. Исаченко, А. Г. Природа мира : Ландшафты / А. Г. Исаченко, А. А. Шляпников. – Москва, 1989. – 505 с. – (Природа мира).

59. Исследование междисциплинарного потенциала УЛЭК на примере озер России, Абхазии и Турции / А. И. Галеева, Н. М. Мингазова, Н. Уздемир, И. Р. Гильманшин // Международный научно-исследовательский журнал. – 2022. – № 8(122). – DOI 10.23670/IRJ.2022.122.85.

60. Каплина, Т. Н. Аласные комплексы Северной Якутии / Т. Н. Каплина // Криосфера Земли, 2009. – Т. XIII. – № 4. – С. 3–17.

61. Каплина, Т. Н. Опорный разрез плейстоценовых отложений на р. Аллаиха (низовья Индигирки) / Т. Н. Каплина, А. В. Шер, Р. Е. Гитерман [и др.]. // Бюллетень Комиссии по изучению четвертичного периода АН СССР. – Москва : Наука, 1980. – № 50. – С. 73-95.

62. Качурин, С. П. Термокарст на территории СССР / С. П. Качурин. – Москва : Издательство АН СССР, 1961. – 291 с.

63. Квасов, Д. Д. Возрастно-генетическая классификация котловин озер Северной и Центральной Евразии / Д. Д. Квасов // Известия ВГО, 1986. – Т. 118. – Вып. 6. – С. 487-492.
64. Китаев, С. П. Основы лимнологии для гидробиологов и ихтиологов / С. П. Китаев. – Петрозаводск : Карельский научный центр РАН, 2007. – 395 с.
65. Китаев, С. П. Экологические основы биопродуктивности озер разных природных зон / С. П. Китаев. – Москва : Наука, 1984. – 208 с.
66. Климат России / Н. В. Кобышева, Е. М. Акентьева, Э. Г. Богданова [и др.]. – Санкт-Петербург : Гидрометеиздат, 2001. – 651 с.
67. Климаты холодных регионов Земли : учебное пособие / М. К. Гаврилова ; Ответственный редактор В. В. Шепелев ; Институт мерзлотоведения им. П. И. Мельникова СО РАН ; Якутский государственный университет им. М.К. Аммосова. – Якутск : Издательство СО РАН, 1998 (Тип. ИМЗ СО РАН). – 206 с.: ил., карт., табл.; 29 см.; ISBN 5-7692-0129-0 (в обл.).
68. Комаренко, Л. Е. Водоросли бассейна р. Анабар / Л. Е. Комаренко, И. И. Васильева // Ботанические материалы по Якутии. – Якутск, 1975а. – С. 78-86.
69. Коржуев, С. С. Морфотектоника и рельеф земной поверхности (на примере происхождения и возраста рельефа Восточной Сибири) / С. С. Коржуев ; ответственный редактор Думитрашко Н. В. – Москва : Наука, 1974. – 529 с.
70. Кравцова, В. И. Изменение размеров термокарстовых озер в различных районах России за последние 30 лет / В. И. Кравцова, А. Г. Быстрова // Криосфера Земли, 2009. – Т. XIII. – № 2. – С. 16-26.
71. Кузнецова, Т. П. О четвертичных отложениях с подземным льдом на Яно-Индибирской низменности и о. Б. Ляховский / Т. П. Кузнецова // Подземный лед. – Москва : Издательство МГУ, 1965. – С.120-132.
72. Кузнецова, Т. П., Особенности морфологии береговых склонов, сложенных многолетнемерзлыми горными породами с жильными льдами / Т.

П. Кузнецова, Т. Н. Каплина // «Труды северо-восточного отделения Института мерзлотоведения им. В. А. Обручева». Вып. 2. – Якутск, 1960.

73. Курлов, М. Г. Классификация сибирских целебных минеральных вод / М. Г. Курлов – Томск : Издание Физиотерапевтического института, 1928. – 74 с.

74. Лаврушин, Ю. А. Аллювий равнинных рек субарктического пояса и перигляциальных областей материковых оледенений / Ю. А. Лаврушин. – Москва : Наука, 1963. – 265 с.

75. Левина, С. Н. Жизненные стратегии тундровых растений в сообществах Южной субарктической тундры в Нижнем течении Р. Индигирка / С. Н. Левина, М. М. Черосов // Успехи современного естествознания. – 2014. – № 8. – С. 45-46.

76. Левина, С. Н. Оценка современного состояния озер низовья реки Индигирка / С. Н. Левина, П. В. Давыдова, И. А. Баишева // Региональные геосистемы. – 2021. – Т. 45. – № 2. – С. 168-182. – DOI 10.52575/2712-7443-2021-45-2-168-182.

77. Левина, С. Н. Физико-химические особенности воды полигональных водоемов ресурсного резервата «Кыталык» (бассейн р. Индигирка) / С. Н. Левина, И. В. Ядрихинский, Р. М. Городничев [и др.]. // Успехи современного естествознания. – 2018. – № 9. – С. 64-71.

78. Любомиров, А. С. Озера криолитозоны Чукотки / А. С. Любомиров. – Якутск : Институт мерзлотоведения, 1990. – 176 с.

79. Макрушин, А. В. Библиографический указатель по теме «Биологический анализ качества вод» с приложением списка организмов-индикаторов загрязнения / А. В. Макрушин. – Ленинград : ЗИН АН СССР, 1974а. – 53 с.

80. Макрушин, А. В. Биологический анализ качества вод / А. В. Макрушин. – Ленинград : ЗИН АН СССР, 1974б. – 60 с.

81. Мерзлотно-ландшафтная карта Республики Саха (Якутия). Масштаб 1: 1 500 000 / А. Н. Федоров, Я. И. Торговкин, А. А. Шестакова [и др.]

др.] ; главный редактор М. Н. Железняк. – Якутск : ИМЗ СО РАН, 2018. – 2 л. Фонды ИМЗ.

82. Мингазова, Н. М. Инвентаризация и экологическая паспортизация водных объектов как способ сохранения и оптимизации их состояния / Н. М. Мингазова, О. Ю. Деревенская, О. В. Палагушкина [и др.]. // Астраханский вестник экологического образования. – 2014. – № 2 (28). – С. 37-43.

83. Мингазова, Н. М. Эколого-лимнологическая классификация (Среднее Поволжье) и возможности ее применения для озер мира / Н. М. Мингазова, А. И. Галеева // Тезисы докладов II Международной озерной конференции. –Нарочь, 2007. – С. 28-29.

84. Молчанов, В. В. Термические типы озер и факторы, их определяющие / В. В. Молчанов // Труды II Всесоюзного гидрологического съезда. – Ленинград, 1929. – Ч. 2.

85. Морфометрические параметры разнотипных озер севера Якутии / Р. М. Городничев, С.Н. Левина, Л.А. Ушницкая [др.] // Успехи современного естествознания. – 2020. – № 1. – С. 18-25.

86. Муравейский, С. Д. Очерки по теории и методам морфометрии озер / С. Д. Муравейский // В кн.: Реки и озера. Гидробиология. Сток. – Москва : Географгиз, 1948. – С. 91-125.

87. Мухин, Н. И. Значения различных генетических типов подземных льдов для образования термокарстовых озер на территории Яно-Индигорской низменности / Н. И. Мухин // Озера криолитозоны Сибири. – Новосибирск : Наука, 1974а. – С. 26–32.

88. Мухин, Н. И. Особенности возникновения и развития термокарстовых озер на территории Яно-Индигорской низменности / Н. И. Мухин // Озера криолитозоны Сибири. – Новосибирск : Наука, 1974б. – С. 18–25.

89. Мякишева, Н. В. Многокритериальная классификация озер / Н. В. Мякишева. – Санкт-Петербург : Российский государственный гидрометеорологический университет, 2009. – 160 с.

90. Науманн, Э. Цель и основные проблемы региональной лимнологии / Перевод Н. К. Дексбаха ; Э. Науманн // Труды Косинской биологической станции. – Вып. 6. – Ленинград, 1927.

91. Национальный атлас почв Российской Федерации / Редактор С. А. Шоба. – Москва : Астель, 2011. – 632 с.

92. Нежиховский, Р. А. Гидрологические расчёты и прогнозы при эксплуатации водохранилищ / Р. А. Нежиховский. – Ленинград : Гидрометеоиздат, 1976. – 191 с.

93. Нежиховский, Р. А. Объем воды в реках, озерах и водохранилищах Советского Союза / Р. А. Нежиховский. – Ленинград : Труды ГГИ, 1973. – № 203 – С. 239-247.

94. Нестерева, М. И. Морфометрические показатели наиболее крупных и значимых озер Бурятии / М. И. Нестерева // Чита : Молодой ученый, 2014. – № 14. – С. 81-83.

95. Никитина, Н. М. О вертикальном распределении наледей в горах Восточной Якутии / Н. М. Никитина, О. Н. Толстихин // Наледи Сибири. – Москва : Наука, 1969. – С. 42-45.

96. Николин, Е. Г. Общие черты структурной организации растительности Центрального Верхоянья / Е. Г. Николин // Тезисы докладов X Всесоюзного совещания по изучению флоры и растительности высокогорий. – Новосибирск : ЦСБС СО РАН, 1992. – С. 106.

97. Новоселова, Н. Типы почв / Н. Новоселова. – Архивная копия от 14 августа 2016 на Wayback Machine.

98. Новые находки редких видов флоры низовьев Р. Индигирки (северная Якутия) / Т. М. Королева, П. А. Гоголева, В. В. Петровский [и др.]. // Природные ресурсы Арктики и Субарктики. – 2015. – № 2 (78).

99. Общее мерзлотоведение / под ред. В. А. Кудрявцева. – Москва : Издательство МГУ, 1978. – С. 278

100. Общие закономерности возникновения и развития озер : Методы изучения истории озер. – Ленинград : Наука. 1986. – 254 с. – (История озер СССР).

101. Озеро Ожогоино. oort.aari.ru. Дата обращения: 7 февраля 2021. Архивировано 16 апреля 2021 года.

102. Озеро Сутуруоха: [рус.] / verum. wiki // Государственный водный реестр: [арх. 15 октября 2013] / Минприроды России. – 2009. – 29 марта.

103. Оконешникова, М. В. Почвы Верхоянского хребта в пределах Аркачанского плато / М. В. Оконешникова, А. З. Иванова, Р. В. Десяткин // Почвоведение. – 2020. – № 5. – С. 509–518. – DOI 10.31857/S0032180X2005010X.

104. Определитель высших растений Якутии : определитель / Якутский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук [и др.] ; ответственный редактор Е. Г. Николин. – [2-е изд., перераб. и доп.]. – Москва : Товарищество научных изданий КМК. – Новосибирск : Наука, 2020. – 895, [1] с., [16] л. ил.: ил. – Библиогр.: с. 819-826. – ISBN 978-5-907372-32-0.

105. Определитель пресноводных водорослей СССР : В 14-ти вып. / Редколлегия профессора М. М. Голлербах ; ответственный редактор В. П. Савич. – Москва : Советская наука, 1951. – 14 т. : Харовые водоросли.

106. Орловская, Н. В. Проблемы, методы и анализ растительного покрова северо-востока европейской части России: лекции и практика по местной флоре : Учебное пособие / Н. В. Орловская, М. В. Аниськина. – Сыктывкар : Сыктывкарский государственный университет им. Питирима Сорокина, 2014. – 210 с.

107. Основные особенности растительного покрова Якутской АССР / В. Н. Андреев, Т. Ф. Галактионова, В. И. Перфильева, И. П. Щербаков. – Якутск : ЯФ СО АН СССР, 1987. – 156 с.

108. Основные этапы геологического развития (отдельный отпечаток) / Под ред. Т.Т. Трофимука – Москва : Академия Наук СССР, 1963. – 239 с.

109. Павлов, А. В. Современные изменения климата на севере России / А. В. Павлов, Г. В. Малкова. – Новосибирск : ГЕО, 2005. – 80 с.
110. Пармузин, Ю. П. Генетическая классификация озерных котловин / Ю. П. Пармузин // Круговорот вещества и энергии в озерных водоемах. – Новосибирск, 1975. – С. 406-414.
111. Первухин, М. А. О генетической классификации озерных ванн / М. А. Первухин // Землеведение. – 1937. – № 6. – С. 526-537.
112. Перфильева, В. И. Основные черты растительности горной части бассейна р. Яны / В. И. Перфильева // Теоретические и прикладные проблемы биологии на Северо-Востоке СССР. – Якутск : ЯФ СО АН СССР. – 1977. – С. 85–94.
113. Пестрякова, Л. А. Анализ пространственного разнообразия диатомей озер Якутии / Л. А. Пестрякова // Проблемы региональной экологии. – 2008а. – № 2. – С. 68-71.
114. Пестрякова, Л. А. Диатомовые комплексы озер Якутии : монография / Л. А. Пестрякова. – Якутск : Издательство ЯГУ, 2008б. – 197 с.
115. Пестрякова, Л. А. Закономерности развития озер Якутии и их современное состояние (по материалам диатомового анализа донных отложений) : специальность 25.0036 «Геоэкология» : диссертация на соискание ученой степени доктора географических наук / Пестрякова Людмила Агафьевна ; Российский государственный педагогический университет. – Якутск, 2009. – 265 с.
116. Пестрякова, Л. А. Исследование водных экосистем : Метод диатомового анализа / Л. А. Пестрякова – Якутск: Издательство ЯГУ, 1997. – С. 21
117. Пестрякова, Л. А. Палеоэкологические исследования озера Сутуруоха (бассейн реки Индигирки) / Л. А. Пестрякова, Д. А. Субетто, М. С. Потахин [и др.]. // Общество. Среда. Развитие. – 2015. – № 4. – С. 190-195.
118. Пестрякова, Л. А. Типологическое значение морфометрических показателей озер Центральной Якутии / Л. А. Пестрякова // Вопросы

рационального использования и охраны природных ресурсов разнотипных озер криолитозоны (На примере Центральной Якутии) : Межвузовский сборник. – Якутск : Издательство ЯГУ, 1983. – С. 89-96.

119. Петрова, М. И. Типизация озер Белорусского Поозерья на основании абиотических показателей / М. И. Петрова, Б. П. Власов // Вестник БГУ. Серия 2 : Химия. Биология. География. – 2008. – № 2. – С. 77-81.

120. ПНД Ф 12.16.1–10. Определение температуры, запаха, окраски (цвета) и прозрачности в сточных водах, в том числе очищенных сточных, ливневых и талых : методические рекомендации. Дата обращения: 1 октября 2012. Архивировано из оригинала 31 июля 2013 года.

121. Постановление правительства Республики Саха (Якутия) № 337 «О создании Ресурсных Резерватов "Кыталык" в Аллаиховском и "Лена-Дельта" в Булуунском улусах» от 12 августа 1996 г.

122. Постановление правительства Республики Саха (Якутия) № 437 «Об изменении категории ресурсных резерватов республиканского значения "Большое Токко", "Кыталык", "Медвежьи Острова", "Пилька", "Суннагино-Силиглинский", "Сылгы-Ытар", "Томпорук", "Тукулан", "Ундюлюнг", "Хамра", "Чабда" и "Эргеджей" (Сунтарский улус) на категорию государственных природных заказников Республики Саха (Якутия)» от 5 декабря 2014 г.

123. Потахин, М. С. Эколого-географическая типизация водоемов Карелии : специальность 25.00.36 «Геоэкология (по отраслям)» : диссертация на соискание ученой степени кандидата географических наук / Потахин Максим Сергеевич ; Российский государственный педагогический университет. – Санкт-Петербург, 2008. – 157 с.

124. Природно-хозяйственная классификация озер Беларуси / Б. П. Власов // Выбранные научные работы Беларускага дзяржаўнага ўніверсітэта: у 7 т. – Минск, 2001. – Т. 7. – С. 314–332.

125. Прошкина-Лавренко, А. И. Диатомовые водоросли – показатели солености воды / А.И. Прошкина-Лавренко // Диатомовый сборник. – Ленинград, 1953. – С. 186–205.
126. Растительность низовий р. Индигирки (равнинные и горные тундры) / М. Ю. Телятников, Е. И. Троева, С. А. Пристяжнюк [и др.]. // *Turczaninowia*, 18 (4): 128–168, 2015 DOI: 10.14258/turczaninowia.18.4.16.
127. Растительность Якутии и ее охрана : Сборник научных трудов АН СССР. – Якутск : ЯФ СО АН СССР, 1981. – 127 с.
128. Резанов, И. А. Этапы развития рельефа и новейшей тектоники бассейна верхнего течения Колымы / И. А. Резанов, И. В. Мелекесцев // Материалы по регион, тектонике СССР. – Москва : Недра, 1964.
129. Резников, А.А. Методы анализа природных вод / А. А. Резников, Е. П. Муликовская, И. Ю. Соколов. – [3-е изд., доп. и перераб.]. – Москва : Недра, 1970. - 488 с.: ил.; 22 см.
130. Реки и озера Якутии : краткий справочник / С. К. Аржакова, И. И. Жирков, К. И. Кусатов, И. М. Андросов. – Якутск : Бичик, 2007. – 136 с.
131. Ресурсы поверхностных вод СССР : Гидрологическая изученность. Т. 17. Ленско-Индигирский район. Вып. 7. Яна, Индигирка / Под ред. И. В. Осиповой. – Ленинград : Гидрометеиздат, 1966. – 328 с.
132. Романовский, Н. Н. Формирование полигонально-жильных структур / Н. Н. Романовский. – Новосибирск : Наука, 1977. – 215 с.
133. Романовский, Н.Н. Основы криогенеза литосферы / Н.Н. Романовский – Москва : Издательство МГУ, 1993. – 336 с.
134. Россолимо, Л. Л. Основы типизации озер и лимнологического районирования / Л. Л. Россолимо // Накопление вещества в озерах. – Москва : Наука, 1964. – С. 5–46.
135. Рудой, А. Н. О возрасте тебелеров и времени окончательного исчезновения ледниково-подпрудных озёр на Алтае / А. Н. Рудой // Известия Всесоюзного географического общества, 1988. – Т. 121. – Вып. 4. – С. 344–348.

136. Рянжин, С. В. Закономерности температурного режима пресноводных озер мира / С. В. Рянжин ; АН СССР ; Институт озераедения. – Препр. – Ленинград : Б. и., 1989. – 70 с.

137. Саввинов, Д. Д. Почвы Якутии : Проблемы рационального использования почвенных ресурсов, их мелиорация и охрана / Д. Д. Саввинов. – Якутск : Якутское книжное издательство, 1989. – 152 с.

138. Связь относительной численности диатомовых водорослей и параметров местоположения озер Севера Якутии / Р. М. Городничев, Л. А. Пестрякова, С. Н. Левина [и др.]. // Вестник современных исследований. – 2019. – № 4.2(31). – С. 4-6.

139. Скрыбин, С. З. Степная растительность в среднем течении р. Индигирки : специальность 03.02.01 «Ботаника» : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата биологических наук / Скрыбин Семен Захарович ; Национальный исследовательский Томский государственный университет. – Якутск, 1968. – 23 с.

140. Соловьев, П. А. Криолитозона северной части Лено-Амгинского междуречья / П. А. Соловьев. – Москва : АН СССР, 1959. – 144 с.

141. Сорокин, И. Н. Морфометрия озер и их внешний водообмен : Поступление и удержание вещества в озерах / И. Н. Сорокин // Изменение в системе «водосбор-озеро» под влиянием антропогенного фактора. – Ленинград : Наука, 1983. – 234 с.

142. Сосудистые растения Юго-Западной Якутии : монография / А. А. Егорова ; ответственный редактор Н. С. Данилова ; Российская академия наук, Сибирское отделение, Институт биологических проблем криолитозоны. – Новосибирск : Наука, 2013. – 200, [2] с., [4] цв. ил.; 22 см.; ISBN 978-5-02-019143-3.

143. Спиридонова, И. М. Диатомовые комплексы водоемов полигональной тундры Якутии / И. М. Спиридонова, Л. А. Пестрякова // География: традиции и инновации в науке и образовании : Коллективная монография по материалам ежегодной Международной научно-практической

конференции LXVII Герценовские чтения, посвященной 110-летию со дня рождения А. М. Архангельского, Санкт-Петербург, 17–20 апреля 2014 года. – Санкт-Петербург : Российский государственный педагогический университет им. А. И. Герцена, 2014. – С. 95-97.

144. Справочник по гидрохимии / Под редакцией А. М. Никанорова. – Ленинград : Гидрометеиздат, 1961. – 267 с.

145. Стенина, А. С. Диатомовые водоросли (Bacillariophyta) в озерах востока Большеземельской тундры / А. С. Стенина. – Сыктывкар : Издательство Института биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН, 2009. – С. 176.

146. Термика крупных озер : монография / А. И. Тихомиров ; ред. Н. Н. Филатов ; Академия наук СССР, Институт озероведения. – Ленинград : Наука, Ленинградское отделение, 1982. – 232 с.: рис. – Библиогр.: С. 222-231. - 2.50 р.

147. Толмачев, А. И. Введение в географию растений : Лекции, читанные студ. Ленинградского ун-та в 1958-1971 гг.). / А. И. Толмачев – Ленинград : Издательство Ленинградского университета, 1974. – 244 с.

148. Топачевский, А. В. Определитель пресноводных водорослей Украинской ССР / А. В. Топачевский, О. П. Оксюк. – Вып. 11. – Киев : Издательство АН УССР, 1960. – 412 с.

149. Унифицированные методы исследования качества вод : Методы биологического анализа вод. – Москва : Издательство СЭВ, 1976. – 185 с.

150. Унифицированные методы исследования качества вод : Методы биологического анализа вод. Приложение 1 : Индикаторы сапробности. – Москва : Издательство СЭВ, 1977. – 92 с.

151. Ушницкая, Л. А. Морфометрические и гидрохимические характеристики озер сельских поселений Усть-Алданского района (Центральная Якутия) / Л. А. Ушницкая, Р. М. Городничев, Л. А. Пестрякова // Региональные геосистемы. – 2021. – Т. 45. – № 2. – С. 214–226.

152. Федоров, А. Н. Мерзлотные ландшафты Якутии / А. Н. Федоров, С. П. Варламов, Т. А. Ботулу. – Новосибирск : Наука, 1989. – 170 с.

153. Флора Якутии : географический и экологический аспекты / Л. В. Кузнецова, В. И. Захарова, Н. К. Сосина [и др.]. ; Российская академия наук, Сибирское отделение, Институт биологических проблем криолитозоны. – Новосибирск : Новосибирское отделение издательства Наука, 2010. – 192 с. – ISBN 978-5-02-018961-4.

154. Ядрихинский, И. В. Морфометрические и гидрохимические характеристики полигональных водоемов Северо-Востока Якутии : специальность 25.00.23 «Физическая география и биогеография, география почв и геохимия ландшафтов» : диссертация на соискание ученой степени кандидата географических наук / Ядрихинский Иван Васильевич ; Санкт-Петербургский государственный университет. – Якутск, 2017. – 125 с.

155. Ядрихинский, И. В. Предварительная лимнологическая характеристика некоторых озёр бассейна реки Индигирка (Аллаиховский район, Якутия) / И. В. Ядрихинский, Л. А. Пестрякова // География : традиции и инновации в науке и образовании : Коллективная монография по материалам ежегодной Международной научно-практической конференции LXVII Герценовские чтения, посвящённой 110-летию со дня рождения А. М. Архангельского. – Санкт-Петербург : Издательство РГПУ им. А.И. Герцена, 2014. – 114-115 с.

156. Якутия. Историко-культурный атлас (подарочное издание). – Москва : Дизайн. Информация. Картография. – Переплет : кожаный; 872 с.; 2007 г. ISBN: 978-5-287-00531-3.

157. Якушко, О. Ф. Озера Беларуси : справочник / О. Ф. Якушко. – Минск : Ураджай, 1988. – 216 с.

158. Якушко, О. Ф. Озероведение. Озера Белоруссии : учебное пособие для географических специальностей вузов / О. Ф. Якушко – Минск: Вышэйшая школа, 1981. – 224 с.

159. Aberg B. Uber die Milieufaktoren in einigen siidschwedischen Seen / B. Aberg, W. Rodhe // Symb. bot. upsal. – 1942. – Vol. 5. – № 3. – P. 1-256.

160. Aizaki, M. Application of Carlson's trophic state index to Japanese lakes and relationships between the index and other parameters / M. Aizaki, A. Otsuki, T. Fukushima, M. Hosomi, K. Muraoka // *SIL Proceedings, 1922-2010*. – 1981. – 21:1, 675-681. – DOI 10.1080/03680770.1980.11897067.

161. Alles, E. Taxonomy and ecology of characteristic Eunotia species in headwaters with low electric conductivity / E. Alles, M. Nörpel-Schempp and H. Lange-Bertalot // *Nova Hedwigia*. – 1991. – 53: 171-213.

162. An extreme flood caused by a heavy snowfall over the Indigirka River basin in Northeastern Siberia / S. Tei, T. Morozumi, A. Sugimoto [et al.] // *Hydrological Processes*. – 2020. – Vol. 34, No. 3. – P. 522-537. – DOI 10.1002/hyp.13601.

163. Antoniadou, D. Diatoms of North America: The freshwater floras of Prince Patrick, Ellef Ringnes and northern Ellesmere Islands from the Canadian Arctic Archipelago / P.B. Hamilton, M.S.V. Douglas & J.P. Smol // *Iconographia Diatomologica*. 17: 1–649.

164. Brown, J. Circum-arctic map of permafrost and ground ice conditions / J. Brown, O.J. Ferrians, J.A. Heginbottom, E.S. Melnikov // *National Snow and Ice Data Center*. – 1998.

165. Burge, D.R.L. Relations of water quality, land use buffers, and diatom communities of connected depressions within the Cache River Watershed, Arkansas, USA. M.S. / D.R.L. Burge // *Thesis*. Arkansas State University, Jonesboro, Arkansas. – 2014. – 141 pp.

166. Carlson, R.E. A trophic state index for lakes / R.E. Carlson // *Limnol. and Oceanogr.* 1977. – V. 22. – № 2. – P. 361-369.

167. Denus, L. A check-list of the diatoms in the Holocene deposits of the western Belgian coastal plain with a survey of their apparent ecological requirements / L. Denus // *Service Geologique de Belgique*. 1991. – V.2 – 41 p.

168. Fallu, M.A. Freshwater diatoms from northern Québec and Labrador (Canada). Species-environment relationships in lakes of boreal forest, forest-tundra

and tundra regions / M.A. Fallu, N. Allaire, R. Pienitz - Berlin; Stuttgart, 2000. – 200 p.

169. Forel, F. A. Températures lacustres: Recherches sur la température du Lac Lemman et d'autres lacs d'eau-douce / F. A. Forel // Arch. sci. phys. et nat. (ser.3). – 35. 1880.– P. 505-575.

170. Forel, F.A. Le Lemman; monographie limnologique / F.A Forel // T. 3. Lausanne: F. Ronge. – 1904. – 715 p.

171. Freshwater ostracods (Crustacea) and environmental variability of polygon ponds in the tundra of the Indigirka Lowland, north-east Siberia / A. Schneider, S. Wetterich, L. Schirrmeister [et al.] // . – 2016. – Vol. 35, No. 2016. – P. 25225. – DOI 10.3402/polar.v35.25225.

172. Furey, P.C. Eunotia Ehrenberg (Bacillariophyta) of the Great Smoky Mountains National Park, USA // P.C. Furey, R.L. Lowe, J.R. Johansen // Bibliotheca Diatomologica. – 2011. – 56: 1-134.

173. Grimm E.C. Tilia 1.7.16. Software / Springfield: Illinois State Museum. Research and Collection Center. – 2011.

174. Grosse, G. Thermokarst Lakes, Drainage, and Drained Basins / G. Grosse, C. Arp, B. Jones // Treatise on Geomorphology. Vol. 8, 2013. – P. 325-353. – DOI 10.1016/B978-0-12-374739-6.00216-5.

175. Hammer, Ø. PAST: Paleontological Statistics software package for education and data analysis / Ø. Hammer, D. A. T. Harper, P. D. Ryan // Paleontologia Electronica. – 2001. – Vol. 4, № 1. P. 1-9.

176. Hekansson, H.A. Compilation and evaluation of species in the genera Stephanodiscus, Cyclostephanos and Cyclotella with a new genus in the family Stephanodiscaceae / H.A. Hekansson // Diatom Res. – 2002. – Vol. 17 (1). – P. 1-139.

177. Hustedt, F. Die Kieselalgen Deutschlands, Österreichs und der Schweiz unter Berücksichtigung der übrigen Länder Europas sowie der angrenzender Meeresgebiete / F. Hustedt // Bd 7, Teil 2. Kryptogamen-Flora von Deutschland,

Österreich und der Schweiz. Akademische Verlagsgesellschaft. Leipzig: 1927–1966. – 845 p.

178. Hutchinson, G. E. A Treatise on Limnology / G. E. Hutchinson. – New York: John Willey & Sons, 1957. – Vol. 1. – Geography, Physics and Chemistry. – 1015 p. New York: John Willey & Sons, 1967. – Vol. 2. – Introduction to Lake Biology and Limnoplankton. – 1115 p.

179. Hutchinson, G.E. A treatise on limnology / G.E. Hutchinson // V.1. Geography, Physics and Chemistry. NY. – 1957. – 1015 p.

180. Iijima, Y. Snow disappearance in Eastern Siberia and its relationship to atmospheric influences / Y. Iijima, K. Masuda, T. Ohata // International Journal of Climatology. – 2007. – 27. – 169–177. – DOI 10.1002/joc.1382.

181. Kanevskiy, M. Cryostratigraphy of late Pleistocene syngenetic permafrost (yedoma) in northern Alaska, Itkillik River exposure / M. Kanevskiy, Y. Shur, D. Fortier, M.T. Jorgenson, E. Stephani // Quat. Res. – 75 (3). – (2011). – P. 584-596.

182. Kolbe, R. Zur Ökologie, Morphologia und Systematik der Brackwasser-Diatomeen / R. Kolbe. – Pflanzenforschung. – 1927. – Bd 7.

183. Krammer, K. Bacillariophyceae. Teil 1: Naviculaceae / K. Krammer, H. Lange-Bertalot – Süßwasserflora von Mitteleuropa. – 1986. – 876 p.

184. Krammer, K. Diatoms of Europe. The Cymbopleura, Delicata, Navicymbula, Gomphocymbellopsis, Afrocybella / K. Krammer. – Ruggell: A. R. G. Gantner Verlag K. G. – 2003. – 529 p.

185. Krammer, K. Diatoms of Europe. The Genus Cymbella / K. Krammer. – Ruggell: A. R. G. Gantner Verlag K. G. – 2002. – 584 p.

186. Krammer, K. Diatoms of Europe. The Genus Pinnularia / K. Krammer. – Ruggell: A. R. G. Gantner Verlag K. G. – 2000. – 703 p.

187. Lange-Bertalot, H. 85 neue Taxa und über 100 weitere neu definierte Taxa ergänzend zur Subwasserflora von Mitteleuropa / H. Lange-Bertalot // Bibliotheca Diatomologica. – 1993. – Vol. 27. – P. 1-454.

188. Lange-Bertalot, H. Diatoms from Siberia. I.: Islands in the Arctic Ocean (Yugorsky-Shar Strait). *Iconographia Diatomologica* / H. Lange-Bertalot, S.I. Genkal // *Iconographia Diatomologica*. – 1999. – Vol. 6. – P. 1-271.
189. Lange-Bertalot, H. Diatoms of Europe. *Navicula sensu stricto*. 10 Genera Separated from *Navicula sensu lato*. *Frustulia* / H. Lange-Bertalot. – Königstein: A.R.G. Gantner Verlag. – 2001. – 526 p.
190. Lange-Bertalot, H. *Hippodonta* gen. nov. Umschreibung und Begründung einer neuen Gattung der Naviculaceae / H. Lange-Bertalot, D. Metzeltin, A. Witkowski // *Iconographia Diatomologica*. – 1996. – Vol. 4. – P. 247-275.
191. Levina, S. N. Monitoring of the polygonal reservoir of the Kytalyk reserve (Indigirka River) / S. N. Levina, L. A. Pestryakova, L. Schirrmeister // *Limnology and Freshwater Biology*. – 2022. – No 4. – P. 1470-1472. – DOI 10.31951/2658-3518-2022-A-4-1470.
192. Naumann, E. Grundzüge der regionale Limnologie / E. Naumann // *Binnengewässer*. 1932. – Bd.11. – P. 291-323.
193. Nigamatzyanova, G. Hydrobiological investigations of Kytalyk Wildlife Reserve polygonal ponds (North-Eastern Yakutia) / G. Nigamatzyanova, L. Frolova, L. Pestryakova // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, Kazan, 27–29 сентября 2017 года. Vol. 107. – Kazan: Institute of Physics Publishing, 2018. – P. 012038. – DOI 10.1088/1755-1315/107/1/012038.
194. Ohle, W. Diurnal production and destruction rate of phytoplankton in lake / W. Ohle // *Rapp et procesverbaux. Conseil perman internat. explorat. mer*. – 1958. – Vol. 144. – P. 129–131.
195. Pestryakova, L.A., Herzsuh, U., Wetterich, S., Ulrich, M., 2012. Present-day variability and Holocene dynamics of permafrost-affected lakes in central Yakutia (Eastern Siberia) inferred from diatom records / *Quaternary Science Reviews*. – 51. – P. 56-70. – DOI 10.1016/j.quascirev.2012.06.020.
196. Pielou, E. C. *Ecological diversity* / E. C. Pielou. – New York: Gordon and Breach Science Publisher. – 1975. – 165 p.

197. Round, F. E. *The Diatoms: Biology and Morphology of the Genera* / F. E. Round, R. M. Crawford, D. G. Mann. – New York: Cambridge University Press, 1990. – 747 p.
198. Ruttner, F. *Fundamentals of limnology.* / F. Ruttner // 3rd. ed. translated by D.G. Frey and F.E.J. Fry Toronto: University of Toronto Press. – 1963. – P. 514-518.
199. Schirrmeister, L *Freshwater communities and environmental data of a polygonal tundra landscape at the Berelekh River in the Indigirka lowland (NE Siberia)* / L. Schirrmeister, U. Herzsuh, L. Pestryakova, S. Wetterichebastian, A. Bobrov, L. Frolova, L. Ushnitskaya, S. Levina, A. Schneider, G. Nigamatzyanova PANGAEA. – 2022. – DOI 10.1594/PANGAEA.946887.
200. Schirrmeister, L. *Joint Russian-German polygon project: East Siberia 2011– 2014; the expedition Kytalyk 2011* / L. Schirrmeister, L. Pestryakova, S. Wetterich, and V. Tumskoy // *Berichte zur Polar- und Meeresforschung = Reports on polar and marine research*, Bremerhaven, Alfred Wegener Institute for Polar and Marine Research – 2012. – 653. – 153 p. – DOI 10.2312/BzPM_0653_2012.
201. Schirrmeister, L. *Late Holocene ice-wedge polygon dynamics in northeastern Siberian coastal lowlands* / L. Schirrmeister, A. Bobrov, E. Raschke, U. Herzsuh, J. Strauss, L. Pestryakova, S. Wetterich // *Arctic, Antarctic, and Alpine Research.* – 2018. – Vol. 50. – P. e1462595. – DOI 10.1080/15230430.2018.1462595.
202. Schirrmeister, L. *Palaeoenvironmental studies on Bol'shoy Lyakhovsky Island* / L. Schirrmeister, L. Wetterich, V. Tumskoy, D. Dobrynin // *Reports on Polar and Marine Research.* – 2008. – Vol. 584. – P. 51-84.
203. *Sedimentary characteristics and origin of the Late Pleistocene Ice Complex on north-east Siberian Arctic coastal lowlands and islands - A review* / L. Schirrmeister, S. Wetterich, H. Meyer [et al.] // . – 2011. – Vol. 241, No. 1-2. – P. 3-25. – DOI 10.1016/j.quaint.2010.04.004.
204. Shannon, C. E. *A mathematical theory of communication* / C. E. Shannon // *The Bell System Technical Journal.* – 1948. – Vol. 27. – P. 379-423.

205. Simpson, E. H. Measurement of diversity / E. H. Simpson // *Nature*. – 1949. – Vol. 163. – P. 688.
206. Sládeček, V. Diatoms as indicators of organic pollution / V. Sládeček // *Acta hydrochimica et hydrobiologica*. – 1986. – Vol. 14. – № 5. – P. 555-566.
207. Sládeček, V. System of water quality from the biological point of view / V. Sládeček. – Stuttgart: Schweizerbart. – 1973. – 218 p.
208. Spearman, C. General Intelligence / C. Spearman // *Objectively Determined and Measured*. *American Journal of Psychology*. – 1904.
209. Testate amoebae and environmental features of polygon tundra in the Indigirka lowland (East Siberia) / A. A. Bobrov, L. Kokhanova, U. Herzsuh [et al.] // . – 2013. – Vol. 36, No. 6. – P. 857-870. – DOI 10.1007/s00300-013-1311-y.
210. Thienemann, A. Die Binnengewässer Mitteleuropas / A. Thienemann // *Binnengewässer*. – 1925. – Bd.1. – P.1-255.
211. Troeva, E. The Far North: Plant Biodiversity and Ecology of Yakutia / E. Troeva, A. Isaev, M.M. Cherosov, N. Karpov. – 2010. – DOI 10.1007/978-90-481-3774-9.
212. Walter, K.M. Thermokarst lakes as a source of atmospheric CH₄ during the last deglaciation / K.M. Walter, M.E. Edwards, G. Grosse, S.A. Zimov // *Chapin III FS 2007*. – *Science*. – Vol. 318. – P. 633e636. – DOI 10.1126/science.1142924.
213. Yedoma: Late Pleistocene Ice-Rich Syngenetic Permafrost of Beringia / L. Schirmer, D. Froese, V. Tumskey [et al.] // *Encyclopedia of Quaternary Science: Second Edition*, 2013. – P. 542-552. – DOI 10.1016/B978-0-444-53643-3.00106-0.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Список диатомовых водорослей, встреченных в водных объектах бассейна реки Индигирка

№№	Вид/разновидность	Эколого-географическая характеристика					Бассейн реки Индигирка		
		Местообитание	По солености	Отношение к рН	Биогеография	Группа	Индекс сапробности	Водоёмы полигона Кыталык	Озёра
1	<i>Achnantheiopsis fragilarioides</i> (J.B.Petersen) Lange-Bertalot	Ep	I	N	Nalp	Os			1
2	<i>Achnanthes coarctata</i> (Brébisson ex W. Smith) Grunow *	Ep	HI	N	C	x			1
3	<i>Achnanthes lanceolata subsp. robusta</i> Hustedt	Ep	I	Ak	C	b			1
4	<i>Achnanthes laterostrata</i> Hustedt	Ep	I	Ak	C	b			1
5	<i>Achnanthes microsporica</i> (Choln.) L.-B. et Krammer **	Ep		Ac					1
6	<i>Achnanthes spp.</i> Bory	Ep						1	1
7	<i>Achnanthidium minutissimum</i> (Kützing) Czarnecki	Ep	I	N	C	Os	1,45	1	1
8	<i>Amphipleura pellucida</i> (Kützing) Kützing	Btm	I	Ak	C	Os			1
9	<i>Amphora libyca</i> Ehrenberg **	Btm	I	Ak	C	Os	1,4	1	1

Примечание: здесь и далее символом «» отмечены таксоны, впервые встреченные для флоры водоёмом Якутии; «**» таксоны, редкие для флоры водоёмов Якутии.

Характеристики экологических предпочтений и географического распространения диатомовых водорослей приведены:

По местообитанию: Btm – донные; Ep – обрастатели; Pl – планктонные.

По отношению к солености: Eh – эвгалобы (обитатели морской воды); Mh – мезогалобы (развиваются при минерализации воды >500 мг/л); HI – галофилы (при 400-500 мг/л); I – индифференты (200-300 мг/л); Hb – галофобы (при <200 мг/л).

По отношению к водородному показателю: Acb – ацидобионты (развитие только при pH <7); Ac – ацидофилы (преимущественное развитие); N – нейтрофилы (предпочитают pH=7); Ak – алкалофилы (преимущественное развитие при pH>7); Akb – алкалобионты (развитие только при pH>7).

По географической распространенности: NAlp – арктоальпийские (холодноводные), Bor – бореальные (относительно тепловодные); C – космополитные (с широким географическим распространением).

По сапробности: x – ксеносапробные (обитатели очень чистых вод); Os – олигосапробные (обитатели чистых вод); b – β-мезосапробный (обитатели умеренно-загрязненных вод); a – α-мезосапробный (обитатели тяжело загрязненных вод).

Продолжение приложения 1

10	<i>Amphora ovalis</i> (Kützing) Kützing	Btm	I	Ak	C	b	1,05	1	1
11	<i>Amphora pediculus</i> (Kützing) Grunow	Btm	I	Ak	C				1
12	<i>Amphora inariensis</i> Krammer **	Btm							1
13	<i>Amphora staurosiroides</i> Loseva	Btm							1
14	<i>Aneumastus stroesei</i> (Østrup) D.G.Mann **	Btm	I	Akb	Bor				1
15	<i>Asterionella formosa</i> Hassall	Pl	I	Ak	Bor	Os		1	1
16	<i>Aulacoseira distans</i> (Ehr.) Sim.	Pl	I	Ac	C	x	0,5	1	1
17	<i>Aulacoseira granulata</i> (Ehrenberg) Simonsen	Pl	I	Ak	C	b	1,8		1
18	<i>Aulacoseira islandica</i> (O.Mull.) Sim.	Pl	I	Ak	C	Os	1,4		1
19	<i>Aulacoseira italica</i> (Ehr.)Sim.	Pl	I	Ak	C	b	1,6		1
20	<i>Aulacoseira</i> spp. Thwaites	Pl						1	1
21	<i>Aulacoseira subarctica</i> (O.Mull.) Haworth	Pl	I	Ak	C			1	1
22	<i>Aulacoseira tethera</i> E.Y.Haworth	Pl	I	Acb	Bor				1
23	<i>Aulacoseira valida</i> (Grun.) Kram.	Pl	I	Ak	C				1
24	<i>Brachysira brebissonii</i> R.Ross **	Btm	Hb	Ac	NAlp			1	1
25	<i>Caloneis baccilum</i> (Grun.) Cl.	Btm	I	Ak	Bor	x	0,4	1	1
26	<i>Caloneis silicula</i> (Ehrenberg) Cleve	Btm	I	Ak	Bor	b	1,5	1	1
27	<i>Cavinula cocconeiformis</i> (Gregory) Mann & Stickle	Btm	Hb	N	C			1	1
28	<i>Cavinula jaernefeltii</i> (Hust.) D.G.Mann & A.J.Stickle in Round **	Btm	I	N	Bor				1
29	<i>Cavinula pseudoscutiformis</i> (Hustedt) D.G.Mann & A.J.Stickle	Btm	I	N	C				1
30	<i>Cocconeis pediculus</i> Ehrenberg	Ep	Hl	Ak	C	b	1,75		1
31	<i>Cocconeis placentula</i> Ehrenberg	Ep	I	Ak	Bor	b	1,35		1
32	<i>Craticula cuspidata</i> (Kützing) D.G.Mann	Btm	I	Ak	Bor	a	2,6		1
33	<i>Craticula halophila</i> (Grunow) D.G.Mann	Btm	Hl	Akb	Bor			1	1
34	<i>Cyclostephanos dubius</i> (Hustedt) Round	Pl	I	Ak	C	b			1
35	<i>Cyclotella iris</i> Brun & Héribaud-Joseph **	Pl	I	N	Bor				1
36	<i>Cyclotella radiosa</i> (Grun.) Lemm.	Pl	I	Ak	C	Os	1,15		1
37	<i>Cyclotella</i> spp.	Pl						1	
38	<i>Cyclotella meneghiniana</i> Kützing	Pl	Hl	Ak	C	a			1
39	<i>Cymatopleura apiculata</i> W.Smith	Btm							1
40	<i>Cymatopleura elliptica</i> (Brébisson) W.Smith	Btm	I	Ak	Bor	b			1

Продолжение приложения 1

41	<i>Cymatopleura solea</i> Hustedt	Btm	I	Ak	C	b			1
42	<i>Cymbella affinis</i> Kützing	Ep	I	Ak	Bor	b	1,6	1	
43	<i>Cymbella arctica</i> (Lagerstedt) A.W.F.Schmidt	Ep	I	Ak	NAlp				1
44	<i>Cymbella aspera</i> Skvortzov	Ep	I	Ak	C	b	2,05		1
45	<i>Cymbella cistula</i> M.Hirano	Ep	I	Ak	Bor	b	1,8	1	1
46	<i>Cymbella helvetica</i> Kützing	Ep	I	Ak	Bor	Os			1
47	<i>Cymbella heteropleura</i> (Ehrenberg) Kützing	Ep	I	Ac	NAlp	Os			1
48	<i>Cymbella spp.</i> C.Agardh	Ep						1	1
49	<i>Cymbella proxima</i> Reimer	Ep	I	Ak	Bor				1
50	<i>Cymbella tumidula</i> Grunow	Ep	I	Ak	Bor			1	
51	<i>Cymbellafalsa diluviana</i> (Krasske) Lange-Bertalot & Metzeltin	Btm	I		Bor				1
52	<i>Cymbopleura angustata</i> (W.Smith) Krammer	Ep	I	N	NAlp			1	
53	<i>Cymbopleura cuspidata</i> (Kützing) Krammer	Ep	I	Ak	C	Os		1	1
54	<i>Cymbopleura hybrida</i> (Grunow ex Cleve) Krammer	Ep	I	N	NAlp				1
55	<i>Cymbopleura inaequalis</i> (Ehrenberg) Krammer	Ep	I	Akb	Bor	b	1,5	1	1
56	<i>Cymbopleura lapponica</i> (Grunow ex Cleve) Krammer	Ep	Hb	Ac				1	
57	<i>Cymbopleura naviculiformis</i> Krammer	Ep	I	N	Bor	b	2	1	1
58	<i>Cymbopleura stauroneiformis</i> (Lagerstedt) Krammer	Ep	Hb	Ac				1	
59	<i>Cymbopleura subcuspidata</i> (Krammer) Krammer	Ep	I	N	C			1	1
60	<i>Cymbopleura tynnii</i> (Krammer) Krammer	Ep			NAlp			1	1
61	<i>Denticula elegans</i> Kützing	Btm	I	Akb	Bor	b			1
62	<i>Denticula kuetzngii</i> Grunow	Btm							1
63	<i>Denticula tenuis</i> Kützing	Btm	I	N	Bor	x		1	1
64	<i>Diatoma elongata</i> (Lyngbye) C.Agardh	Pl	Hl	N	Bor	b			1
65	<i>Diatoma tenuis</i> (Poretzky) Mitrofanova, Skabitchevskaya, et al.	Pl	Hl	N	Bor	b	1,5		1
66	<i>Diatoma vulgaris</i> A.Mayer	Ep	I	Akb	C	b			1
67	<i>Didymosphenia geminata</i> (Lyngbye) Mart.Schmidt	Ep	I	N	NAlp	x			1
68	<i>Diploneis elliptica</i> (Kütz.) Cleve	Btm	I	Ak	C				1
69	<i>Diploneis finnica</i> (Ehrenberg) Cleve **	Btm	I	N	C				1
70	<i>Diploneis ladogensis</i> (Cleve) Lange-Bertalot & Fuhrmann	Btm	I	N	NAlp				1
71	<i>Diploneis oblongella</i> (Naegeli) Cleve-Euler	Btm	Hl		Bor				1

Продолжение приложения 1

72	<i>Diploneis ovalis</i> (Hilse.)	Btm	I	Ak	Bor	b	2	1	1
73	<i>Diploneis schmidtii</i> Cleve **	Btm	Eh		Bor				1
74	<i>Diploneis</i> spp. Ehrenberg ex Cleve	Btm							1
75	<i>Diploneis marginestriata</i> Hustedt **	Btm	I	Ac	Bor				1
76	<i>Diploneis modica</i> Hustedt **	Btm							1
77	<i>Diploneis parma</i> Cleve	Btm	I		C				1
78	<i>Discostella pseudostelligera</i> (Hustedt) Houk & Klee	Pl	I	Ak	C	b			1
79	<i>Encyonema alpinum</i> (Grunow) D.G.Mann	Ep	Hb		Bor			1	1
80	<i>Encyonema caespitosum</i> Kützing	Ep	Hl		C	b		1	1
81	<i>Encyonema elginense</i> (Krammer) D.G.Mann	Ep	I	Ak	C	b			1
82	<i>Encyonema gracile</i> Kirchner	Ep	Hb	Ac	C	x	0,2	1	
83	<i>Encyonema gracile</i> Kirchner	Ep	Hb	Ac	C	x	0,2	1	
84	<i>Encyonema lapponicum</i> (A.Cleve) Krammer **	Ep	I	N	C				1
85	<i>Encyonema latens</i> (Krasske) D.G.Mann	Ep	Hb	Ac	C				1
86	<i>Encyonema mesianum</i> (Cholnoky) D.G.Mann	Ep	I	Akb	C			1	1
87	<i>Encyonema minutum</i> (Krasske) Reimer	Ep	I	Ak	C	b		1	1
88	<i>Encyonema muelleri</i> (Hustedt) D.G.Mann **	Ep	I	N	C				1
89	<i>Encyonema obscurum</i> (Krasske) D.G.Mann **	Ep	I	N	NAIp	Os			1
90	<i>Encyonema paucistriatum</i> (Cleve-Euler) Mann in Round, et al.	Ep			C			1	
91	<i>Encyonema silesiacum</i> Krammer	Ep	I	N	C	Os	1,2		1
92	<i>Encyonopsis cesatii</i> (Rabenhorst) Krammer	Ep	I	Ak	C	x	0,1	1	1
93	<i>Entomoneis ornata</i> (Bailey) Reimer	Btm	I	Akb	Bor	b	1,9		1
94	<i>Epithemia adnata</i> (Kützing) Brébisson	Ep	I	Akb	C	b	1,5		1
95	<i>Epithemia turgida</i> var. <i>granulata</i> (Ehrenberg) Brun	Ep	Hl	Akb	Bor				1
96	<i>Eucocconeis flexella</i> (Kützing) Meister	Ep	I	Akb	C	x	0,1	1	1
97	<i>Eucocconeis laevis</i> (Østrup) Lange-Bertalot **	Ep							1
98	<i>Eunotia arculus</i> (Grun.) L.-B. & Nörpel	Ep		Ac	C			1	
99	<i>Eunotia arcus</i> Metzeltin & Lange-Bertalot	Ep	I	N	C	Os	1,4	1	1
100	<i>Eunotia bilunaris</i> (Ehrenberg) Schaarschmidt	Ep	I	N	C	x	0,55	1	1
101	<i>Eunotia curtagrunowii</i> Nörpel-Schempp & Lange-Bertalot	Ep	Hb		C			1	
102	<i>Eunotia denticulata</i> (Brébisson ex Kützing) Rabenhorst	Ep	I		NAIp			1	

Продолжение приложения 1

103	<i>Eunotia diodon</i> Ehrenberg	Ep	Hb	Ac	NAlp	x			1
104	<i>Eunotia excelsa</i> (Krasske) Nörpel	Ep	Hb	Ac	Bor			1	
105	<i>Eunotia faba</i> Ehrenberg	Ep	Hb	Ac	C			1	1
106	<i>Eunotia fallax</i> A.Cleve	Ep	Hb	Acb	C			1	
107	<i>Eunotia flexuosa</i> (Breb.) Kutz.	Ep	I		C			1	
108	<i>Eunotia formica</i> Ehrenberg	Ep	I	N	Bor			1	1
109	<i>Eunotia gracilis</i> (Ehrenberg) Rabenhorst	Ep	I		NAlp	Os	1	1	
110	<i>Eunotia groenlandica</i> Nörpel-Schempp & L.-B., nom. inval.	Ep	Hb	Acb	Bor			1	
111	<i>Eunotia implicata</i> Norpel & L.-B.	Ep		Ac				1	
112	<i>Eunotia intermedia</i> (Krasske ex Hustedt) Nörpel & Lange-Bertalot	Ep		Ac				1	
113	<i>Eunotia minor</i> (Kützing) Grunow	Ep	I	Ac	C	Os	0,6	1	
114	<i>Eunotia monodon</i> Ehrenberg	Ep	Hb	Ac	C	Os	0,8	1	1
115	<i>Eunotia mucophila</i> (Lange-Bertalot, Nörpel-Schempp & Alles)	Ep		Ac				1	
116	<i>Eunotia nymanniana</i> Grunow	Ep						1	
117	<i>Eunotia paludosa</i> Grunow	Ep	HI		C			1	1
118	<i>Eunotia parallela</i> var. <i>angusta</i> Grunow	Ep	I	N	C			1	
119	<i>Eunotia pectinalis</i> Manguin	Ep	I	Ac	C	x	0,2	1	1
120	<i>Eunotia praerupta</i> Ehrenberg	Ep	Hb	Acb	Bor	x	0,4	1	1
121	<i>Eunotia septentrionalis</i> Østrup	Ep	I	Ac	NAlp	Os		1	1
122	<i>Eunotia serra</i> Ehrenberg **	Ep	I	Ac	NAlp	Os			1
123	<i>Eunotia silvahercynia</i> Norpel et al.	Ep		Ac				1	
124	<i>Eunotia spp.</i> Ehrenberg	Ep						1	1
125	<i>Eunotia subarcuatoides</i> Alles, Nörpel & Lange-Bertalot	Ep	I	Ac				1	
126	<i>Eunotia sudetica</i> Berg	Ep	Hb	Ac	NAlp			1	1
127	<i>Eunotia tenella</i> (Grun.) Hust.	Ep	HI	Ac	C			1	
128	<i>Eunotia triodon</i> Ehrenberg	Ep	Hb	Ac	NAlp	Os		1	1
129	<i>Eunotia veneris</i> (Kützing) De Toni	Ep	I	Ac	NAlp	Os	1	1	1
130	<i>Eunotia ambivalens</i> Lange-Bertalot & Tagliaventi	Ep	I	N	C			1	
131	<i>Eunotia exigua</i> (Brébisson ex Kützing) Rabenhorst	Ep	I	Acb	C	x	0,1	1	
132	<i>Eunotia incisa</i> W.Smith ex W.Gregory **	Ep		Ac	C			1	1
133	<i>Eunotia parallela</i> Ehrenberg	Ep	I	N	NAlp	Os	0,5	1	

Продолжение приложения 1

134	<i>Eunotia pseudopectinalis</i> Hustedt	Ep	Hb	Ac	NAIp			1	
135	<i>Eunotia rhomboidea</i> Hustedt	Ep	Hl	Ac	C			1	
136	<i>Fistulifera pelliculosa</i> (Kützing) Lange-Bertalot **	Btm	I	Ak	C	b			1
137	<i>Fragilaria capucina</i> Desmazières	Pl	I	Ak	C	b	1,6	1	1
138	<i>Fragilaria constricta</i> Ehrenberg	Ep	I	Ac	NAIp				1
139	<i>Fragilaria laterostrata</i> Hustedt **	Ep							1
140	<i>Fragilaria spp.</i> Lyngbye	Ep						1	1
141	<i>Fragilaria vaucheriae</i> (Kützing) J.B.Petersen *	Ep	I	Ak	Bor	b	1,7		1
142	<i>Fragilariforma virescens</i> (Ralfs) D.M.Williams & Round	Ep	I	Ac	NAIp	x	0,2		1
143	<i>Frustulia rhomboides</i> (Ehrenberg) De Toni	Btm	I	Ac	NAIp	Os	0,6		1
144	<i>Geissleria similis</i> (Hustedt) J.Y.Li & Y.Z.Qi *	Btm	I		C	Os			1
145	<i>Genkalia digituloides</i> (Lange-Bertalot) Lange-Bertalot & Kulikovskiy	Btm	I	N	Bor				1
146	<i>Gomphoneis quadripunctata</i> (Østrup) P.Dawson ex R.Ross & P.A.Sims	Ep	I	Ak	Bor				1
147	<i>Gomphonema acuminatum</i> Ehrenberg	Ep	I	Ak	Bor	b	1,7	1	1
148	<i>Gomphonema affine</i> Kützing **	Ep	I	Ak	Bor	Os	1,15		1
149	<i>Gomphonema angustatum</i> (Kützing) Rabenhorst	Ep	I	Ak	Bor	Os	1,15	1	1
150	<i>Gomphonema angustum</i> C.Agardh	Ep	I	Ak	Bor	Os	0,7	1	1
151	<i>Gomphonema augur</i> Ehrenberg	Ep	I	N	NAIp	b	2		1
152	<i>Gomphonema gracile</i> Ehrenberg	Ep	I	Ak	C	Os		1	1
153	<i>Gomphonema helveticum</i> Brun	Ep							1
154	<i>Gomphonema lagerheimii</i> A.Cleve	Ep	I	N	Bor			1	
155	<i>Gomphonema minutum</i> (Skvortzov) Z.X.Shi	Ep		Ak	C			1	1
156	<i>Gomphonema olivaceum</i> (Hornemann) Brébisson	Ep	I	N	Bor			1	1
157	<i>Gomphonema parvulum</i> (Kützing) Kützing	Ep	I	Ak	Bor	b	1,05	1	1
158	<i>Gomphonema spp.</i> Ehrenberg	Ep						1	1
159	<i>Gomphonema subtile</i> Ehrenberg	Ep	I	N	Nalp				1
160	<i>Gomphonema truncatum</i> Ehrenberg	Ep	I	Ak	Bor	b	2,2	1	1
161	<i>Gyrosigma attenuatum</i> (Kütz.) Rabenhorst	Btm	I	Akb	B	b	1,8		1
162	<i>Hannaea arcus</i> (Ehrenberg) R.M.Patrick	Ep	Hb	Acb	NAIp	x	0,4	1	1
163	<i>Hantzschia amphioxys</i> (Ehr.) Grun.	Btm	I	Ak	C	a	2,9		1

Продолжение приложения 1

164	<i>Hippodonta linearis</i> (Østr.) L.-B.t, Metzeltin & Witkowski **	Btm	HI	Ak	Bor	b	2		1
165	<i>Hippodonta capitata</i> (Ehrenberg) L.-B., Metzeltin & Witkowski	Btm	HI	Ak	C	b			1
166	<i>Hippodonta costulata</i> (Grun.) L.-B., Metzeltin & Witkowski *	Btm	I	Ak	Bor				1
167	<i>Iconella biseriata</i> (Brébisson) Ruck & Nakov	Btm	I	Ak	C	b	2		1
168	<i>Iconella capronii</i> (Brébisson & Kitton) Ruck & Nakov	Btm	I	Akb	Bor	b	2		1
169	<i>Iconella hibernica</i> (Ehrenberg) Ruck & Nakov	Btm	I	Akb	Bor	x			1
170	<i>Iconella linearis</i> (W.Smith) Ruck & Nakov	Btm	I	Ac	C	b	2,2		1
171	<i>Kobayasiella subtilissima</i> (Cleve) Lange-Bertalot	Btm	HI	Ac	C			1	
172	<i>Kurtkrammeria aequalis</i> (W.Smith) Bahls	Ep	I	Ak	Bor	b			1
173	<i>Lemnicola hungarica</i> (Grunow) Round & Basson	Ep	HI	Ak	C	a			1
174	<i>Lindavia praetermissa</i> (Lund) T.Nakov et al. **	Pl							1
175	<i>Melosira moniliformis</i> (O.F.Müller) C.Agardh	Pl	Mh		Bor				1
176	<i>Meridion circulare</i> (Greville) C.Agardh	Ep	Hb	Ak	C	Os	0,65		1
177	<i>Navicula cincta</i> (Ehrenberg) Ralfs	Btm	HI	Ak	Bor	a	2,6		1
178	<i>Navicula digitoradiata</i> (W.Gregory) Ralfs	Btm	Mh		Bor				1
179	<i>Navicula lanceolata</i> Ehrenberg	Btm	I	Akb	Bor			1	1
180	<i>Navicula menisculus</i> Schumann	Btm	HI	Ak	B	a	2,6		1
181	<i>Navicula oblonga</i> (Kützing) Kützing	Btm	I	Ak	Bor	b	1,5		1
182	<i>Navicula peregrina</i> (Ehrenberg) Kützing	Btm	Mh	Ak	C				1
183	<i>Navicula radiosa</i> Kützing	Btm	I	N	Bor	b	1,6	1	1
184	<i>Navicula recens</i> (Lange-Bertalot) Lange-Bertalot	Btm	HI	Ak				1	
185	<i>Navicula reinhardtii</i> (Grunow) Grunow	Btm	I	Akb	Bor				1
186	<i>Navicula rhynchocephala</i> Kützing	Btm	I	Ak	C	a	2,7	1	1
187	<i>Navicula</i> spp. Bory	Btm						1	1
188	<i>Navicula subrhynchocephala</i> Hustedt.	Btm		Ak				1	
189	<i>Navicula viridula</i> Kützing	Btm	I	Ak	Bor	a	2,8		1
190	<i>Navicula cryptocephala</i> Kützing	Btm	I	Ak	C	a	2,7	1	1
191	<i>Navicula cryptotenella</i> Lange-Bertalot	Btm	I	N	C	b		1	
192	<i>Navicula laterostrata</i> Hustedt	Btm	HI	Ak	C	Os			1
193	<i>Navicula slesvicensis</i> Grunow	Btm	HI		C			1	
194	<i>Neidium affine</i> (Ehr.)Pfitz.	Btm	I	Ac	Bor			1	

Продолжение приложения 1

195	<i>Neidium ampliatum</i> (Ehrenberg) Krammer	Btm	Hb	N	Bor			1	1
196	<i>Neidium apiculatum</i> Reimer **	Btm	I					1	1
197	<i>Neidium bisulcatum</i> (Lager.) Cleve	Btm	I	Ac	C			1	1
198	<i>Neidium dilatatum</i> (Ehrenberg) Cleve	Btm	I		Bor				1
199	<i>Neidium dubium</i> (Ehrenberg) Cleve	Btm	I	Ac	NAIp	b	2,4	1	1
200	<i>Neidium hitchcockii</i> (Ehrenberg) Cleve	Btm	I	Ac	C			1	1
201	<i>Neidium iridis</i> (Ehrenberg) Cleve	Btm	Hb	Ac	Bor			1	1
202	<i>Neidium ladogense</i> (Cleve) Foged **	Btm	I	Ac	C			1	1
203	<i>Neidium perminutum</i> Cleve-Euler	Btm		Ac				1	
204	<i>Neidium productum</i> (W.Sm.) Cl.	Btm	I	N	Bor			1	
205	<i>Neidium septentrionale</i> Cleve-Euler **	Btm		Ac					1
206	<i>Neidium spp.</i>	Btm							1
207	<i>Neidium vernale</i> (Reichelt ex Hustedt) Metzeltin & Lange-Bertalot	Btm	Hb	Ac	Bor			1	
208	<i>Neidium densestriatum</i> (Østrup) Krammer	Btm	I		C			1	
209	<i>Nitzschia amphibia</i> Grunow	Btm	I	Ak	Bor	b			1
210	<i>Nitzschia denticula</i> Grunow	Btm	I	Akb	Bor	b			1
211	<i>Nitzschia dissipata</i> (Kützing) Grunow	Btm	I	Ak	C	b		1	1
212	<i>Nitzschia hantzschiana</i> Rabenh.	Btm	I		C			1	
213	<i>Nitzschia linearis</i> W.Smith	Btm	I	Ak	C	b	1,5		1
214	<i>Nitzschia palea</i> (Kützing) W. Smith	Btm	I	Ak	B	a	2,75	1	1
215	<i>Nitzschia perminuta</i> Grunow	Btm	HI		Bor				1
216	<i>Nitzschia recta</i> Hantzsch	Btm	I	N	Bor	a	2,5	1	1
217	<i>Nitzschia spp.</i>	Btm						1	1
218	<i>Nitzschia sublinearis</i> Hustedt	Btm	I		Bor				1
219	<i>Nitzschia tryblionella</i> Hantzsch	Btm	I	Ak	Bor				1
220	<i>Nitzschia umbonata</i> (Ehrenberg) Lange-Bertalot	Btm	I		Bor				1
221	<i>Nitzschia fonticola</i> (Grunow) Grunow	Btm	I	Akb	C	x			1
222	<i>Nupela impexiformis</i> (Lange-Bertalot) Lange-Bertalot	Ep							1
223	<i>Odontidium hyemale</i> (Roth) Kützing	Ep	Hb	N	NAIp	x			1
224	<i>Pantocsekiella comensis</i> (Grunow) K.T.Kiss & E.Ács	Pl	I	N	NAIp	Os			1
225	<i>Pantocsekiella ocellata</i> (Pantocsek) K.T.Kiss & Ács	Pl	I	Ak	Bor	Os			1

Продолжение приложения 1

226	<i>Paraplaconeis placentula</i> (Ehrenberg) M.S.Kulikovskiy & L.-B.	Btm	I	Ak	C			1	1
227	<i>Pauliella taeniata</i> (Grunow) Round & Basson	Ep	Mh	Ak	C				1
228	<i>Pinnularia aestuarii</i> Cl.	Btm	Mh	Ak	Bor			1	
229	<i>Pinnularia alpina</i> W.Smith	Btm	Hb	Ac	Nalp				1
230	<i>Pinnularia borealis</i> Ehrenberg	Btm	I	Ak	C	x	0,4		1
231	<i>Pinnularia brevicostata</i> Cleve	Btm	I	Ac	Bor			1	1
232	<i>Pinnularia dactylus</i> Ehrenberg	Btm	I	N	C				1
233	<i>Pinnularia gibba</i> Ehrenberg	Btm	I	N	Bor	x	0,2	1	1
234	<i>Pinnularia hemiptera</i> (Kützing) Rabenhorst	Btm	I	N	Bor			1	1
235	<i>Pinnularia interrupta</i> W.Smith	Btm	I	Ac	Bor			1	1
236	<i>Pinnularia karelica</i> Cleve	Btm	I		C				1
237	<i>Pinnularia major</i> (Kützing) Rabenhorst	Btm	I	Ac	Bor	b	2,1		1
238	<i>Pinnularia microstauron</i> (Ehrenberg) Cleve	Btm	I	Ac	Bor	Os	0,8	1	1
239	<i>Pinnularia nobilis</i> (Ehrenberg) Ehrenberg	Btm	I	Ac	Bor	Os	1		1
240	<i>Pinnularia nodosa</i> (Ehrenberg) W. Smith	Btm	I	Ac	C			1	1
241	<i>Pinnularia semicrucata</i> (Schmidt) A.Cleve *	Btm	I		Bor				1
242	<i>Pinnularia</i> spp.	Btm						1	1
243	<i>Pinnularia stomatophora</i> (Grunow) Cleve **	Btm	HI	Ac	C			1	1
244	<i>Pinnularia streptoraphe</i> Cleve	Btm	I	Ac	C			1	
245	<i>Pinnularia subcapitata</i> Gregory	Btm	I	N				1	
246	<i>Pinnularia viridiformis</i> Krammer	Btm	HI	Ac				1	
247	<i>Pinnularia viridis</i> (Nitzsch) Ehrenberg	Btm	I	N	Bor	b	2,1	1	1
248	<i>Pinnularia divergens</i> W.Smith	Btm	I	Ak	NAlp			1	
249	<i>Pinnularia intermedia</i> (Lagerstedt) Cleve	Btm	I					1	
250	<i>Pinnularia legumen</i> Ehrenberg	Btm	I	Ac	Nalp			1	
251	<i>Placoneis amphibola</i> (Cleve) E.J.Cox	Btm	I	Ak	C			1	1
252	<i>Placoneis clementis</i> (Grunow) E.J.Cox	Btm	I	Ak	Bor			1	
253	<i>Placoneis elginensis</i> (Gregory) E.J.Cox	Btm	I	Ak	Bor	b	1,5		1
254	<i>Planothidium calcar</i> (Cleve) M.B.Edlund **	Ep	I	N	NAlp	Os			1
255	<i>Planothidium delicatulum</i> (Kützing) Round & Bukhtiyarova	Ep	Mh	N	C	Os			1
256	<i>Planothidium joursacense</i> (Héribaud-Joseph) Lange-Bertalot *	Ep	I	Ak	NAlp	x			1

Продолжение приложения 1

257	<i>Planothidium lanceolatum</i> (Brébisson ex Kützing) Lange-Bertalot	Ep	I	N	C	Os	0,75		1
258	<i>Planothidium oestrupii</i> (Cleve-Euler) M.B.Edlund	Ep	I	N	Nalp				1
259	<i>Planothidium peragalloi</i> (Brun & Héríb.) Round & Bukht.*	Ep	I	Ak	Bor				1
260	<i>Pleurosigma angulatum</i> (Queckett) W.Smith	Btm	Hl						1
261	<i>Psammothidium bioretii</i> (H.Germain) Bukhtiyarova & Round	Ep	I					1	
262	<i>Psammothidium obliquum</i> (W.Gregory) Poatapova	Ep	I	N	Bor				1
263	<i>Psammothidium rossii</i> (Hustedt) Bukhtiyarova & Round	Ep	Hb	N	NAlp	x			1
264	<i>Psammothidium subatomoides</i> (Hustedt) Bukhtiyarova & Round	Ep	Hb	Ac	NAlp	Os			1
265	<i>Pseudostaurosira brevistriata</i> (Grunow) D.M.Williams & Round	Ep	I	Ak	C	Os		1	1
266	<i>Pseudostaurosira parasitica</i> var. <i>subconstricta</i> (Grun.) E.Morales	Ep	I	Ak	C	b			1
267	<i>Pseudostaurosira parasitica</i> (Grunow) Kulikovskiy & Genkal	Ep	I	Ak	C	b			1
268	<i>Pseudostaurosira robusta</i> (Fusey) D.M.Williams & Round	Ep							1
269	<i>Pulchellophycus schwabei</i> (Krasske) Edlund & M.J.Wynne	Btm							1
270	<i>Reimeria sinuata</i> (W.Gregory) Kociolek & Stoermer	Ep	I	Ak	Bor	b			1
271	<i>Rhoicosphenia abbreviata</i> (C.Agardh) Lange-Bertalot	Ep	Hl	Ak	C	b			1
272	<i>Rhopalodia gibba</i> (Ehrenberg) O.Müller	Btm	I	Ak	C	Os		1	1
273	<i>Rossithidium pusillum</i> (Grunow) Round & Bukhtiyarova **	Ep	I	N	Bor	Os			1
274	<i>Sellaphora bacillum</i> (Ehreb.) D.G.Mann	Btm	I	N	Bor			1	1
275	<i>Sellaphora laevissima</i> (Kützing) D.G.Mann	Btm	Hb	N	C	Os			1
276	<i>Sellaphora medioconvexa</i> Hustedt *	Btm	Hb	Ac	Bor				1
277	<i>Sellaphora pupula</i> Kützing	Btm	Hl	Ak	C	b	2,2	1	1
278	<i>Sellaphora stroemii</i> (Hustedt) H.Kobayasi **	Btm	I	Ak	Bor				1
279	<i>Stauroneis acuta</i> W.Smith	Btm	Hl	Ak	C	Os	1		1
280	<i>Stauroneis anceps</i> Ehrenberg	Btm	I	Ac	Bor	b	2	1	1
281	<i>Stauroneis grasilis</i> Ehrenberg	Btm	I	N	Bor			1	1
282	<i>Stauroneis hyperborea</i> Lange-Bertalot & Krammer	Btm	I	Ac	C			1	
283	<i>Stauroneis javanica</i> (Grun.) Cl.	Btm	I	Ac	C			1	
284	<i>Stauroneis kriegeri</i> Patrick	Btm	I		C			1	
285	<i>Stauroneis phoenicenteron</i> (Nitzsch) Ehrenberg	Btm	I	Ak	Bor	b	1,7	1	1
286	<i>Stauroneis prominula</i> (Grunow ex Cleve) Hustedt *	Btm	I	N	NAlp				1
287	<i>Stauroneis sagitta</i> Cleve	Btm	Hl	Ak	NAlp				1

Продолжение приложения 1

288	<i>Stauroneis siberica</i> (Grunow) Lange-Bertalot & Krammer	Btm	I	Ak	Bor	Os		1	1
289	<i>Stauroneis smithii</i> Grunow	Btm	I	Ak	Bor				1
290	<i>Staurosira berlinensis</i> (Lemmerman) Lange-Bertalot	Pl	I		Bor	b	2,15		1
291	<i>Staurosira construens</i> Ehrenberg	Ep	I	Ak	C	b	1,6	1	1
292	<i>Staurosira dubia</i> (Grunow) Edlund *	Ep	Hb	Ak	Bor				1
293	<i>Staurosira leptostauron</i> (Ehrenberg) Kulikovskiy & Genkal	Ep	Hb	Ak	Bor	Os			1
294	<i>Staurosira neoproducta</i> (Lange-Bertalot) Chudaev & Gololobova	Ep	I	Ak	C	b	1,6		1
295	<i>Staurosira pseudoconstruens</i> (Marciniak) Lange-Bertalot	Ep	I	Ak	C				1
296	<i>Staurosira venter</i> (Ehrenberg) Cleve & J.D.Möller	Ep	I	Ak	C			1	1
297	<i>Staurosirella lapponica</i> (Grunow) D.M.Williams & Round	Ep	I	N	NAIp				1
298	<i>Staurosirella martyi</i> (Héribaud-Joseph) E.A.Morales & K.M.Manoylov	Ep	I	Ak	Bor	Os			1
299	<i>Staurosirella pinnata</i> (Ehrenberg) D.M.Williams & Round	Ep	HI	Ak	Bor	b		1	1
300	<i>Staurosirella pinnata</i> var. <i>trigona</i> (Brun & H.-J.) Aboal & P.C.Silva *	Ep	HI	Ak	Bor				1
301	<i>Stephanodiscus</i> spp.	Pl							1
302	<i>Surirella angusta</i> Kützing	Btm	I	Ak	C	b	2,25		1
303	<i>Surirella biseriata</i> var. <i>bifrons</i> (Ehrenberg) Hustedt	Btm	I	Ak	Bor			1	
304	<i>Surirella minuta</i> Brébisson ex Kützing	Btm	I	Ak	Bor			1	1
305	<i>Surirella robusta</i> Ehrenberg	Btm	Hb	N	Bor				1
306	<i>Surirella splendida</i> (Ehrenberg) Kützing	Btm	I	Ak	Bor	b	1,7		1
307	<i>Surirella</i> spp.	Btm							1
308	<i>Surirella subsalsa</i> W.Smith	Btm							1
309	<i>Tabellaria fenestrata</i> (Lyngbye) Kützing	Pl	Hb	N	Bor	Os	1,4	1	1
310	<i>Tabellaria flocculosa</i> (Roth) Kützing	Ep	Hb	Ac	C	Os	0,6	1	1
311	<i>Tetracyclus emarginatus</i> (Ehrenberg) W. Smith	Ep	I		NAIp				1
312	<i>Tetracyclus glans</i> (Ehrenberg) F.W.Mills	Ep	I	Ac	C				1
313	<i>Ulnaria biceps</i> (Kützing) Compère	Ep	I		C	b	1,9	1	
314	<i>Ulnaria ulna</i> (Nitzsch) Compère	Ep	I	Ak	C		1,95		1
Всего:								152	257

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Свидетельство о государственной регистрации базы данных «Разнообразии водорослей отдела Bacillariophyta термокарстовых водоёмов бассейна реки Индигирка»

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации базы данных

№ 2018621972

«Разнообразие водорослей отдела Bacillariophyta
термокарстовых водоёмов бассейна р. Индигирка»

Правообладатель: *Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Северо-Восточный федеральный университет имени
М.К.Аммосова» (RU)*

Авторы: *Пестрякова Людмила Агафьевна (RU), Городничев Руслан
Михайлович (RU), Перепелица Ирина Михайловна (RU), Ушницкая
Лена Алексеевна (RU), Левина Сардана Николаевна (RU), Давыдова
Парасковья Васильевна (RU), Фролова Лариса Александровна (RU)*

Заявка № 2018621767

Дата поступления 30 ноября 2018 г.

Дата государственной регистрации

в Реестре баз данных 06 декабря 2018 г.



Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

 Г.П. Ившин

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

Свидетельство о государственной регистрации базы данных «Разнообразии диатомовых водорослей термокарстовых водоёмов бассейна р. Колыма»

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации базы данных

№ 2018621266

«Разнообразие диатомовых водорослей термокарстовых
водоемов бассейна р. Колыма»

Правообладатель: *Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Северо-Восточный федеральный университет имени
М.К.Аммосова» (RU)*

Авторы: *Пестрякова Людмила Агафьевна (RU), Городничев Руслан
Михайлович (RU), Перепелица Ирина Михайловна (RU), Ушницкая
Лена Алексеевна (RU), Давыдова Парасковья Васильевна (RU), Левина
Сардана Николаевна (RU), Фролова Лариса Александровна (RU)*

Заявка № 2018620901

Дата поступления 29 июня 2018 г.

Дата государственной регистрации
в Реестре баз данных 13 августа 2018 г.

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

 Г.П. Ильев



ПРИЛОЖЕНИЕ 4

Свидетельство о государственной регистрации базы данных «Диатомовые водоросли бассейна реки Анабар»

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации базы данных

№ 2017621008

«Диатомовые водоросли бассейна реки Анабар»

Правообладатель: *Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Северо-Восточный федеральный университет имени М.К.Аммосова» (RU)*

Авторы: *Пестрякова Людмила Агафьевна (RU), Давыдова Парасковья Васильевна (RU), Городничев Руслан Михайлович (RU), Ушницкая Лена Алексеевна (RU), Ядрихинский Иван Васильевич (RU), Левина Сардана Николаевна (RU), Фролова Лариса Александровна (RU)*

Заявка № 2017620743

Дата поступления 11 июля 2017 г.

Дата государственной регистрации

в Реестре баз данных 07 сентября 2017 г.



Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Г.П. Ивлиев Г.П. Ивлиев

ПРИЛОЖЕНИЕ 5

База данных «Freshwater communities and environmental data of a polygonal tundra landscape at the Berelekh River in the Indigirka lowland (NE Siberia)» в международной системе PANGAEA

18.01.2023, 09:43

Schirmermeister, L et al. (2022): Freshwater communities and environmental data of a polygonal tundra landscape at the Berelekh River in the Indigirka lowland (NE Siberia)



PANGAEA.

Data Publisher for Earth & Environmental Science

Citation: Schirmermeister, Lutz; Herzschuh, Ulrike; Pestryakova, Luidmila A; Wetterich, Sebastian; Bobrov, Anatoly A; Frolova, Larisa A; Ushnitskaya, Lena A; Levina, Sardana N; Schneider, Andrea; Nigamatzyanova, Gulnara (2022): Freshwater communities and environmental data of a polygonal tundra landscape at the Berelekh River in the Indigirka lowland (NE Siberia). PANGAEA, <https://doi.org/10.1594/PANGAEA.946887>

Always quote citation above when using data! You can download the citation in several formats below:

PDF Citation | HTML Citation | Copy Citation | Facebook | Twitter | Email | Google Books | 29 | 2

Abstract: Patterned ground of the polygonal tundra yields sensitive indicators of environmental and climate change. Polygon ponds, mires and cryosols are typical components of Arctic Siberian wetlands underlain by permafrost. Field studies of recent environmental dynamics were carried out in the Indigirka lowland in summer 2011 and 2022. Using a multidisciplinary approach, several stages of polygonal systems were studied as modern tundra habitats in the surrounding of the WWF station Kytajk at the Berelekh River, a tributary of the Indigirka River. The floristic and faunal associations of the polygonal tundra landscape were described. Ecological, hydrological, meteorological, limnological and cryological features were analyzed in order to evaluate modern environmental conditions and their essential controlling parameters. A monitoring program was carried out to measure changes of air, water and ground temperatures as well as water conductivity, water level and soil moisture and to collect water, diatom, zooplankton, zoobenthos, bryozoans, phytoplankton and ostracod samples. These data sets contain environmental field data, logger data, various ecological data, and analyses of sediments and water.

Keywords: environmental data | freshwater diatoms | freshwater ostracodes | hydrochemistry | hydrological data | permafrost | polygonal landscapes | sediment data | tecamoebae | zoobenthos | Zooplankton

Related to: Beermann, Fabian; Langer, Moritz; Wetterich, Sebastian; Strauss, Jens; Bolke, Julia; Henckes, Claudia; Schirmermeister, Lutz; Pfeiffer, Eva-Maria; Kutzbach, Lars (2017): Permafrost Thaw and Liberation of Inorganic Nitrogen in Eastern Siberia. *Permafrost and Arctical Processes*, 28(4), 605-618. <https://doi.org/10.1002/ppa.1938>

Bobrov, Anatoly A; Wetterich, Sebastian; Beermann, Fabian; Schneider, Andrea; Kabanova, L; Schirmermeister, Lutz; Pestryakova, Luidmila A; Herzschuh, Ulrike (2013): Testate amoebae and environmental features of polygon tundra in the Indigirka lowland (East Siberia). *Polar Biology*, 36(4), 857-870. <https://doi.org/10.1007/s00300-013-1311-y>

Schirmermeister, Lutz; Pestryakova, Luidmila A; Wetterich, Sebastian; Tomilov, Vladimir (2012): Joint Russian-German Polygon Project East Siberia 2011 - 2014. The expedition Kytajk 2011. *Berichte zur Polar- und Meeresforschung - Reports on Polar and Marine Research*, 68B, 180 pp. https://doi.org/10.2312/BPM_0653_2012

Schneider, Andrea; Wetterich, Sebastian; Schirmermeister, Lutz; Herzschuh, Ulrike; Meyer, Hanno; Pestryakova, Luidmila A (2016): Freshwater ostracodes (Crustacea) and environmental variability of polygon ponds in the tundra of the Indigirka Lowland, north-east Siberia. *Polar Research*, 35(1), 25-225. <https://doi.org/10.3402/polar.v35.25225>

Telesnack, Annette; Michaelis, Dierk; Schirmermeister, Lutz; Justen, Hans; Schellwieser, Ulf; Manthey, Christoph (2019): A robust vegetation-based elevation transfer method for reconstructing Arctic polygon mire paleo-microtopography. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 522, 12-27. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2018.12.015>

Project: Permafrost Research (AWI_Permafrost) | Polar Terrestrial Environmental Systems @ AWI (PETS) | Polygons in tundra wetlands: state and dynamics under climate variability in Polar Regions (POLYTON)

Funding: Deutsche Forschungsgemeinschaft, Bonn (DFG) | grant/award no. 164232461 | Polygons in tundra wetlands: state and dynamics under climate variability in Polar Regions

Coverage: Median Latitude: 70.834293 * Median Longitude: 147.479866 * South-bound Longitude: 70.812660 * West-bound Longitude: 147.409390 * North-bound Longitude: 70.861520 * East-bound Longitude: 147.524260
Date/Time Start: 2011-07-19T00:00:00 * Date/Time End: 2012-09-03T00:14:54

License: Creative Commons Attribution 4.0 International (CC-BY 4.0)

Size: 11 datasets

Download Data
Download ZIP file containing all datasets as tab-delimited text -- use the following character encoding (UTF-8 Unicode (PANGAEA default))

Datasets listed in this bundled publication

- Schirmermeister, L; Herzschuh, U; Pestryakova, LA et al. (2022): Freshwater diatom abundance in different water bodies from a polygonal tundra landscape near the WWF station Kytajk at the Berelekh River in the Indigirka lowland (NE Siberia) during summer 2011. <https://doi.org/10.1594/PANGAEA.946889>
- Schirmermeister, L; Herzschuh, U; Pestryakova, LA et al. (2022): Field data of a polygonal landscape near the WWF station Kytajk at the Berelekh River in the Indigirka lowland (NE Siberia) during summer 2011. <https://doi.org/10.1594/PANGAEA.946883>

<https://doi.pangaea.de/10.1594/PANGAEA.946887> 1/2

18.01.2023, 09:43

Schirmermeister, L et al. (2022): Freshwater communities and environmental data of a polygonal tundra landscape at the Berelekh River in the Indigirka lowland (NE Siberia)

- Schirmermeister, L; Herzschuh, U; Pestryakova, LA et al. (2022): Hydrochemistry data of a polygonal lakes near the WWF station Kytajk at the Berelekh River in the Indigirka lowland (NE Siberia) during summer 2011. <https://doi.org/10.1594/PANGAEA.946896>
- Schirmermeister, L; Herzschuh, U; Pestryakova, LA et al. (2022): Logger data of a tundra polygonal lake near the WWF station Kytajk at the Berelekh River in the Indigirka lowland (NE Siberia) during summer 2011. <https://doi.org/10.1594/PANGAEA.946841>
- Schirmermeister, L; Herzschuh, U; Pestryakova, LA et al. (2022): Ground temperature data of a tundra polygonal lake near the WWF station Kytajk at the Berelekh River in the Indigirka lowland (NE Siberia) from 2011-2022. <https://doi.org/10.1594/PANGAEA.946895>
- Schirmermeister, L; Herzschuh, U; Pestryakova, LA et al. (2022): Logger data of a tundra polygonal lake near the WWF station Kytajk at the Berelekh River in the Indigirka lowland (NE Siberia) during summer 2012. <https://doi.org/10.1594/PANGAEA.946840>
- Schirmermeister, L; Herzschuh, U; Pestryakova, LA et al. (2022): Freshwater ostracod abundance in different water bodies from a polygonal tundra landscape near the WWF station Kytajk at the Berelekh River in the Indigirka lowland (NE Siberia) during summer 2011. <https://doi.org/10.1594/PANGAEA.946890>
- Schirmermeister, L; Herzschuh, U; Pestryakova, LA et al. (2022): Sedimentology data from a polygonal tundra landscape near the WWF station Kytajk at the Berelekh River in the Indigirka lowland (NE Siberia) during summer 2011. <https://doi.org/10.1594/PANGAEA.946891>
- Schirmermeister, L; Herzschuh, U; Pestryakova, LA et al. (2022): Freshwater tecamoebae abundance in different water bodies from a polygonal tundra landscape near the WWF station Kytajk at the Berelekh River in the Indigirka lowland (NE Siberia) during summer 2011. <https://doi.org/10.1594/PANGAEA.946897>
- Schirmermeister, L; Herzschuh, U; Pestryakova, LA et al. (2022): Freshwater zoobenthos abundance in different water bodies from a polygonal tundra landscape near the WWF station Kytajk at the Berelekh River in the Indigirka lowland (NE Siberia) during summer 2011. <https://doi.org/10.1594/PANGAEA.946899>
- Schirmermeister, L; Herzschuh, U; Pestryakova, LA et al. (2022): Freshwater zooplankton abundance in different water bodies from a polygonal tundra landscape near the WWF station Kytajk at the Berelekh River in the Indigirka lowland (NE Siberia) during summer 2011. <https://doi.org/10.1594/PANGAEA.946886>

Datasets with similar metadata

- Schirmermeister, L; Herzschuh, U; Pestryakova, LA et al. (2022): Freshwater communities and environmental data of polygonal tundra in the Kolyva Delta near Pakhodka (NE Siberia) sampled in 2012. <https://doi.pangaea.de/10.1594/PANGAEA.91170>
- Schirmermeister, L; Herzschuh, U; Pestryakova, LA et al. (2022): Hydrochemistry data of polygonal tundra in the Kolyva Delta near Pakhodka (NE Siberia) sampled in 2012. <https://doi.pangaea.de/10.1594/PANGAEA.91171>
- Schirmermeister, L; Herzschuh, U; Pestryakova, LA et al. (2022): Sedimentology data of polygonal tundra in the Kolyva Delta near Pakhodka (NE Siberia) sampled in 2012. <https://doi.pangaea.de/10.1594/PANGAEA.91170>

<https://doi.pangaea.de/10.1594/PANGAEA.946887> 2/2