

Минобрнауки России
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Федеральный исследовательский центр
«Карельский научный центр Российской академии наук»
(КарНЦ РАН)

На правах рукописи

Исакова Ксения Валерьевна

НАУЧНЫЙ ДОКЛАД
об основных результатах научно-квалификационной работы (диссертации)
на тему: «Биоценозы Онежского озера: опыт интеграции знаний»,
подготовленной в соответствии с требованиями
Федерального государственного образовательного стандарта
высшего образования по направлению
06.06.01. Биологические науки
(уровень подготовки кадров высшей квалификации)

Научный руководитель:
ведущий научный сотрудник
лаборатории гидробиологии
ИВПС КарНЦ РАН
д.б.н., профессор А.В. Коросов

Петрозаводск, 2024

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. Онежское озеро, один из крупнейших пресноводных водоемов Европы и европейского Северо-запада России, является уникальным объектом для исследований с вековыми запасами пресной воды высокого качества. На протяжении более 60 лет оно привлекает внимание ученых Института водных проблем Севера КарНЦ РАН (ИВПС КарНЦ РАН). За эти годы в институте накопилось огромное количество материалов, охватывающих все аспекты озера, включая его гидрологические, гидрохимические, гидрофизические и гидробиологические характеристики. Исследования в лаборатории гидробиологии ИВПС КарНЦ РАН привели к созданию значительного массива информации по биологии разнообразных групп водных организмов, таких как бактериопланктон, фитопланктон, зоопланктон, макрозообентос. Кроме того, были собраны данные по обобщенным показателям состояния биоценоза и качества водной среды, включая первичную продукцию фитопланктона и уровень хлорофилла *a*.

Высокая гетерогенность Онежского озера, обусловленная разнообразием глубин, изрезанностью береговой линии и различной степенью антропогенного воздействия, приводит к сильной неоднородности в гидрологическом и гидробиологическом отношении. Это подтверждается многочисленными исследованиями, которые выявили различия между районами озера по специфике изучаемых показателей.

Несмотря на проведенное районирование озера по отдельным характеристикам, до сих пор не было выполнено районирования, учитывающего множество биотических и абиотических показателей. Такое районирование позволило более точно классифицировать отдельные районы озера и определить их как биоценозы.

Разные авторы определяют понятие биоценоз по-разному. Кашкаров Д.Н. (1994) определял биоценоз так: *«комплекс организмов, сложившийся в процессе заселения определенного участка жизненной арены, характеризуемого особым комплексом факторов, с которым составляющие биоценоз организмы находятся в соответствии, как и друг с другом, причем то и другое соответствие сложилось путем естественного отбора, отсева со стороны среды, и путем межвидовой и внутривидовой конкуренции»*. По Шилову И.А. (1998) *«биоценоз – это*

многовидовая биологическая (экологическая) система, в состав которой входят представители различных таксонов, отличающиеся по своим экологическим и физиологическим свойствам и связанные по многим формам биологических отношений, как между собой, так и с окружающей абиотической средой». Отсюда можно выделить следующие ключевые черты биоценоза: во-первых, это комплекс организмов, имеющий свою внутреннюю, изменяющуюся во времени и пространстве структуру, во-вторых, занимающий специфический участок территории, который отличается уникальными характеристиками от соседних территорий и, в-третьих, имеющий определенные отношения между собой, и приспособленность к условиям окружающей среды.

Концепция биоценоза помогает определить и разграничить различные сообщества организмов. М. С. Гиляров в своей статье (Гиляров, 2015) выделяет один из критериев разделения биоценозов — это критерий пространственной разобщенности. Популяции одного вида входят в конкретные биоценозы в пределах определенной местности, и эти биоценозы различаются, особенно в масштабах значительных географических пространств, так как находятся в отличающихся условиях среды и подвергаются воздействию разных абиотических и биотических факторов. Тем самым, подвергаясь разным факторам среды, популяции, входящие в биоценозы имеют определенную специфическую структуру и временную изменчивость, учитывая которые можно выделить различия между ними.

Цель работы: Выявить объективные различия в биотических компонентах между частями акватории Онежского озера для выделения уникальных биоценозов на основе многолетних данных по биотическим и абиотическим показателям среды.

При выполнении работы решались следующие задачи:

1. Исследовать и систематизировать данные о компонентах гидробиоценозов Онежского озера.
2. Составить базу данных по гидробиологическим, гидрофизическим и морфометрическим характеристикам всей акватории Онежского озера.

3. Классифицировать районы Онежского озера как относительно обособленные своеобразные гидробиоценозы по комплексу биотических и абиотических показателей.

Научная новизна. Впервые проведено районирование Онежского озера с учетом множества биотических и абиотических факторов среды. В результате была получена единая картограмма, иллюстрирующая различия и общие характеристики разных участков акватории Онежского озера. Это позволяет не только глубже понять структуру и динамику отдельных сообществ, но и выявить взаимосвязи между различными компонентами экосистемы озера.

Практическая значимость работы.

Практическая значимость исследований Онежского озера обусловлена необходимостью разработки эффективных методов управления водными ресурсами и сохранения биоразнообразия. Понимание уникальной структуры и динамики биоценозов озера позволяет оптимизировать природопользование, предотвращать негативное воздействие антропогенных факторов и разрабатывать стратегии адаптации к изменениям климата. Комплексная классификация различных зон Онежского озера, основанная на уникальности биотических и абиотических факторов, может послужить фундаментом для детального анализа каждой зоны по отдельности. Это позволит более точно интерпретировать данные и проводить глубокие исследования экосистемы озера.

Апробация результатов

Результаты исследования лично представлены на международных и российских конференциях, в т.ч. на: XXVIII Международной конференции студентов, аспирантов и молодых учёных «Ломоносов-2021» (Москва, 12 – 23 апреля 2021 г.), XXIX Международной конференции студентов, аспирантов и молодых учёных «Ломоносов-2022» (Москва, 11 – 22 апреля 2022 г.), и XXX Международной конференции студентов, аспирантов и молодых учёных «Ломоносов-2023» (Москва, 10 – 21 апреля 2023 г.), на I Всероссийской научной конференции (с международным участием) «Чтения памяти В.И. Жадина» к 125-летию со дня рождения» (Санкт-Петербург, 18-22 апреля 2022 г.), на Международной научно-практической конференции «Оценка состояния ресурсов, экосистем озера и моря в условиях современных изменений климата и социо-

экономического развития» (Петрозаводск, 12-14 сентября 2022 г.), на 76-й Всероссийской с международным участием школе-конференции молодых учёных «Биосистемы: организация, поведение, управление» (Нижний Новгород, 11–14 апреля 2023 г.) и на VII Международной молодежной конференции «Водные ресурсы: изучение и управление» (школа-практика) “Water Resources: Research and Management” (WRRM) (Петрозаводск 4–8 сентября 2023 г.).

Публикации. По теме выпускной квалификационной работы (диссертации) опубликовано 13 научных работ, из которых 3 статьи входящие в базы данных Scopus, 2 статьи – в рецензируемых журналах, входящих в перечень изданий, рекомендованных ВАК, 8 тезисов в сборниках/материалах конференции, зарегистрирована 1 база данных.

Научно-квалификационная работа выполнялась в лаборатории гидробиологии Института водных проблем Севера КарНЦ РАН.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В работе были исследованы разнообразные абиотические и биотические компоненты, собранные автором лично и извлеченные из зарегистрированных баз данных любезно предоставленных коллегами из лаборатории гидробиологии ИВПС КарНЦ РАН для их интеграции при обработке многомерными методами статистики. Полученные данные послужили для формирования интегральной базы данных, на основании которой выполнялось районирование Онежского озера.

Материалы исследования

В рамках исследования были проанализированы различные показатели, характеризующие гидробиоценозы Онежского озера. Изучение охватило гидробиологические, гидрофизические и морфометрические характеристики. Из гидробиологических были взяты показатели общей биомассы экологических групп и их доминирующих таксонов. Среди них: общая биомасса бактериопланктона (bac) и количество сапрофитных бактерий (sb), общая биомасса фитопланктона (phy) и биомасса диатомовых (bbac) и зеленых водорослей (bchl), общая биомасса зоопланктона (zoo) и общая биомасса каляноидов (cal), циклопов (cycl), клadoцер (clad) и коловраток (rot) и общая биомасса макрозообентоса (ben) и биомасса амфипод (amph), хирономид (chir) и олигохет (olig). Также были взяты концентрация хлорофилла *a* (chl) и первичная продуктивность фитопланктона (pro).

Из гидрофизических были взяты показатели температуры поверхности воды, которую замеряли дистанционно с помощью спутника по всей акватории озера. Морфометрический показатель включал глубину.

Отбор проб гидробионтов проводился с использованием непосредственных полевых методов. Показатели температуры поверхности воды и глубины определялись расчетными методами с использованием компьютерных технологий.

Методы отбора проб

Данные отбирались членами лаборатории гидробиологии Института водных проблем Севера КарНЦ РАН в разные сезоны года в период с 1982 по 2022 гг.

Гидробиологические пробы отбирались разными способами. Отбор проб воды для изучения характеристик бактериопланктона, фитопланктона,

концентрации хлорофилла *a* и первичной продукции производился с помощью батометра Рутнера в разные сезоны на разных горизонтах воды от поверхности до дна. Отбор проб зоопланктона осуществлялся по стандартной методике планктонной сетью Джеди (с диаметром отверстий 100 мкм) фракционно по слоям и фиксировался 4% формалином. Пробы макрозообентоса отбирались дночерпателем автоматическим коробчатым с площадью захвата 0,025 м², промывались через сито с размером ячеек 400–420 мкм и фиксировались формалином до концентрации 4%.

Обработка проб и расчет количественных показателей разных групп гидробионтов проводился сотрудниками лаборатории ИВПС КарНЦ РАН по стандартным методикам.

В рамках общей темы лаборатории автор занимался группой макрозообентоса. В течение последних четырёх лет автор участвовал в экспедиционной работе, и выполнял определение видового состава. Данные, собранные по макрозообентосу, были интегрированы в таблицу и использовались в анализе.

Формирование единой структуры данных

Исходная информация по каждой изучаемой группе и каждому показателю представлена в форме таблиц в среде MS Excel. Таблицы велись разными сотрудниками лаборатории и имели разную структуру данных. Для корректной и удобной работы с данными в процессе работы была проведена их верификация и приведение всех таблиц к единой форме с одинаковыми составными ключами.

Таблицы с данными представленных показателей в разное время создавались разными сотрудниками лаборатории со своим подходом к классификации, форматированию и хранению информации, что привело к их структурным различиям. Многие поля (название столбцов) и внутренние данные включали в себя кириллические символы, которые не читаются в использованных программных средах и, поэтому, были заменены на латинские буквы. Длинные название полей включающие заглавные буквы способны вызвать различные ошибки при программировании и поэтому были исправлены на строчные буквы с минимальной длиной. Кроме того были исправлены все ошибки, связанные с различного рода опечатками, разным вариантом написания дробных чисел (то с

точкой, то с запятой), разным способом написания дат отбора проб, разным обозначением станций отбора и др.

Главным шагом к созданию базы данных было построение корректных ключевых полей, связывающие разные таблицы друг с другом.

Для всех баз были построены и выведены следующие ключи:

cod – станция отбора проб

date – дата отбора проб

day – день отбора проб,

moun – месяц отбора проб,

ye – год отбора проб.

dec – номер декады

po – номер ячейки акватории

h – глубина горизонта отбора проб

Таким образом, все таблицы были приведены к единой форме, снабжены общими уникальными ключами (cod, date, day, moun, ye, po, h) и в таком виде использовались в анализе (рисунок 1).

А

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	cod	date	day	moun	ye	h	ntot	btot	nbac
2	K68	06.07.1970	6	7	1970	0.5	51.6		42.8
3	K68	06.07.1970	6	7	1970	4	66.4		59.2
4	K74	06.07.1970	6	7	1970	0.5	25.2		16
5	K74	06.07.1970	6	7	1970	6.5	37.2		28.8

Б

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	cod	date	day	moun	ye	uplay	dnlay	ntot	btot
2	B_1	24.06.2010	24	6	2010	0	5	33553.92	1016.077
3	B_1	24.06.2010	24	6	2010	5	10	2888.64	74.1491
4	B_1	24.06.2010	24	6	2010	10	25	1098.88	74.44531
5	B_1	24.06.2010	24	6	2010	25	50	185.232	18.90933

В

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	cod	date	day	moun	ye	totd	temp	ntot	btot
2	K23	29.03.1964	29	3	1964	1.7		0	0
3	K42	25.07.1964	25	7	1964	19		0.4	0.4
4	K66	25.07.1964	25	7	1964	9		0	0
5	K76	25.07.1964	25	7	1964	18	6.2	0	0

Рисунок 1 – Фрагмент баз данных: А – фитопланктон, Б – зоопланктон, В – макрозообентос.

Перед анализом данных были предварительно проанализированы распределения исходных показателей. Большое число нулевых значений в данных

препятствует использованию логарифма, по этой причине, данные были возведены в степень 0,2 и приведены к симметричному распределению (рисунок 2).

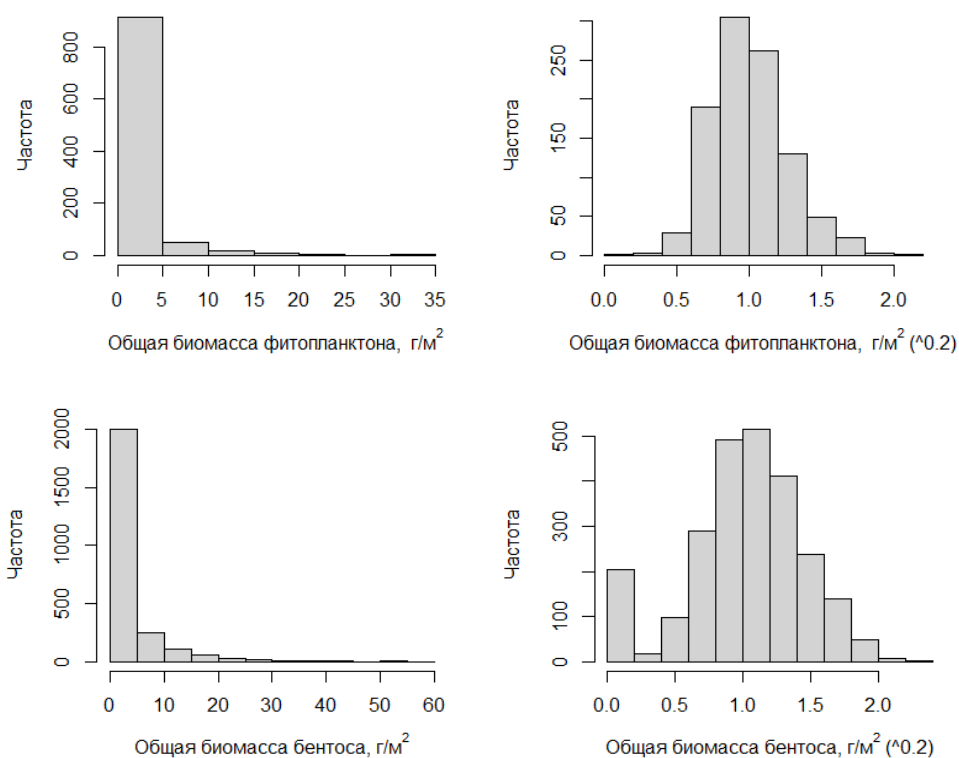


Рисунок 2 – Использование степени 0,2 для приведения распределений основных показателей к симметричной форме

Полученные распределения по критерию Шапиро-Уилка значимо не отличались от нормального ($p=0,05$). Преобразованные значения использовали дальше для вычисления средних арифметических и динамических характеристик.

Построение сети ячеек

Единая структура данных позволила распространить данные на всю акваторию озера. В самом начале исследования был создан векторный полигон Онежского озера, для построения которого в программу ГИС (QGIS) были внедрены растровые изображения топографической карты Онежского озера масштаба 1:100000 в картографической проекции UTM WGS84 Zone 36N (EPSG:32636) (рисунок 3).



Рисунок 3 – Растровые изображения поверхности Онежского озера с нанесенной границей озера в программе QGIS

Полученный полигон акватории Онежского озера был покрыт сетью точек в узлах сетки 8*8 км. Эти точки имели географические координаты и служили центрами для создания картограмм распространения значений тех или иных переменных (рисунок 4).

Сеть ячеек размером 8*8 км означает, что каждый узел расположен на расстоянии 8 километров от соседних узлов по горизонтали и вертикали, образуя регулярную сеть точек для наблюдения за акваторией Онежского озера. Для разных вариантов анализа применялись разные размеры диаметров ячеек, исходя из одинаковых центральных точек. Станции отбора проб относились к разным ячейкам, и каждая ячейка имела определенные объемы выборок (для разных показателей свое)

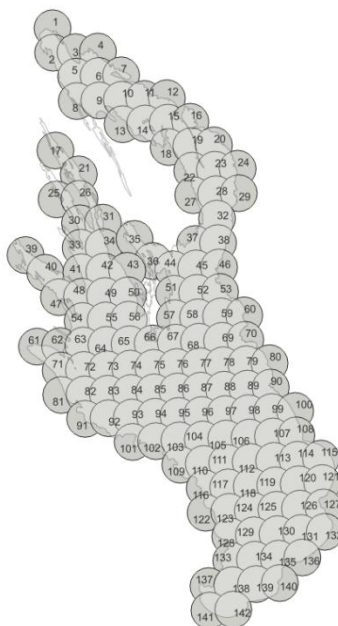


Рисунок 4 – Ячейки диаметром 14 км с шагом 8 км (8*14 км) покрывающие акваторию Онежского озера

Таким образом, все значения из таблиц были приписаны к тем ячейкам, в которых располагались станции отбора проб (рисунок 5). Все показатели со станции, попавшие в определенную ячейку диаметром 14 км., интерполируются на всю площадь ячейки. Поскольку в некоторых частях акватории пробы не отбирались, соответствующие ячейки оставались пустые и не представлены в первичной таблице.

	A	B	C	D	E	F	G
1	po	lon	lat	day	moun	ye	btot
2	1	34.5417	62.9167	15	6	1974	1.00981
3	2	34.5417	62.8333	14	7	1977	1.019224
4	3	34.7083	62.8333	14	7	1975	0.977119
5	4	34.875	62.8333	17	7	1968	0.93165
6	5	34.7083	62.75	11	7	1984	1.044698
142	141	35.5417	60.9167	19	7	1980	0.741107
143	142	35.7083	60.9167	12	8	1995	0.954673

Рисунок 5 – Фрагменты баз данных: средняя биомасса макрозообентоса

Расчет средних характеристик

Далее в каждой округлой ячейке акватории Онежского озера рассчитывались статические для каждого показателя (рисунок 5). Расчеты выполнялись в программе R. Статические — это средние арифметические, рассчитанные для каждой ячейки за определенный период времени. Вследствие частичного перекрывания округлых ячеек друг с другом некоторые пробы попадали в соседние ячейки и были использованы при вычислении усредненных значений. Это можно назвать мягким вариантом интерполяции данных. Так, каждая рассмотренная группа показателей получила массив средних значений примерно по 60–100 ячейкам акватории озера.

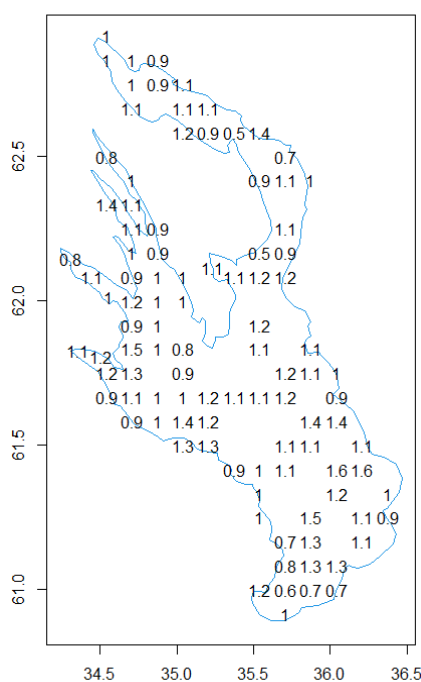


Рисунок 5 – Средние арифметические значения биомассы макрозообентоса в разных ячейках для разных показателей за весь период исследования

Расчет динамических характеристик

В качестве динамической характеристики был взят коэффициент (a_1) уравнений линейных регрессии ($x = a_0 + a_1 \cdot x$) каждого показателя, как полноценная характеристика скорости изменения гидробиологического признака в определенной части акватории (ячейке) в период закономерного сезонного роста.

Технологически процедура состояла из следующих этапов: вначале задавались десять частично накладывающихся друг с другом периодов продолжительностью по 40 дней для чтения данных, охватывающих позднюю весну и лето: 1 период –30,03–10,05, 2 период –10,04–20,05, 3 период –20,04–30,05, 4 период – 30,04–10,06, 5 период – 10,05–20,06, 6 период – 20,05–30,06, 7 период – 30,05–10,07, 8 период –10,06–20,07, 9 период – 20,06–30,07, 10 период –30,06–10,08. В каждом периоде были рассчитаны средние значения каждого показателя в каждой из 142 ячеек. Так как периоды перекрываются между собой, полученные выборки частично содержат общие данные смежных периодов.

Период 1-3 содержат наименьшее число данных для многих групп гидробионтов. По этой причине, было решено объединять данные для трех групп периодов: 4–6 (май–июнь), 7–8 (июнь–июль) и 9–10 (июль–август). На втором этапе рассчитывались общие средние для трех групп периода по каждой группе показателей. На третьем этапе рассчитывали коэффициенты линейной регрессии сезонного тренда для объединенного периода (с конца мая по начало августа) (рисунок 6).

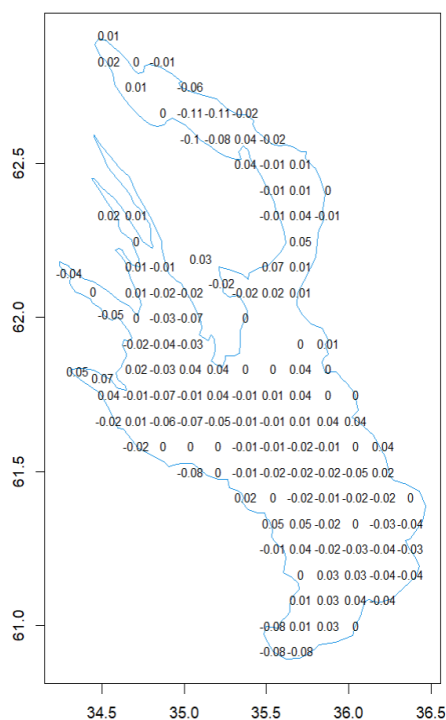


Рисунок 6 – Коэффициенты линейной регрессии макрозообентоса для периода с конца мая по начало августа

Интерполяция данных

Картограммы статических и динамических характеристик содержали пробелы в тех ячейках, в которые не попадали станции, поэтому был применен метод Multiple B-Spline Interpolation, рассчитывающей новые значения для всех ячеек, ориентируясь на известные. Таким образом, были построены цифровые поверхности (нелинейный сплайн), покрывшие всю акваторию озера.

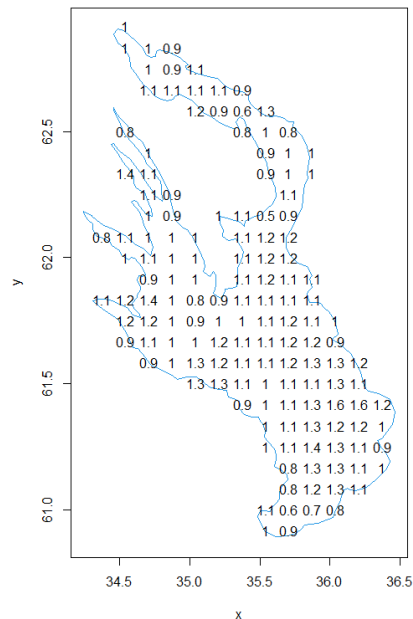


Рисунок 7 – интерполированные средние значения общей биомассы бентоса для каждой из 142 ячейки акватории Онежского озера

Анализ исходных и интерполированных данных показал высокую корреляцию ($r=0,859$).

Таким образом, вся акватория Онежского озера была покрыта данными и была получена база данных содержащая средние значения за весенний и летние сезоны, а также коэффициенты линейного регрессии в весенне летний период по всем показателя. Единая плотная исходная матрица, покрывающая всю акваторию озера, использовалась в дальнейшем анализе.

Процедура районирования для выделения разных биоценозов

Результирующая картограмма выделения разных зон на акватории Онежского озера была получена по сходству динамики изученных выбранных показателей. В этом случае такие зоны можно рассматривать как отдельные гидробиоценозы.

Для выявления сходных по динамике ячеек использовали метод кластеризации по К-средним (функция `cluster::kmeans`); для оценки близости кластеров рассчитывалась евклидова метрика, собственно переопределение окончательных кластеров выполнялось методом Хартигана-Вонга (Hartigan-Wong), который характеризуется лучшей сходимостью.

Источниками данных в разных вариантах расчетов были массивы значений главных компонент (PCA 5 comp.csv), главных координат (five_scales red48.csv) и выхода нейронов (five net 5.csv) для каждой из 142 ячеек акватории, полученные в результате расчетов, описанных в предыдущем подразделе, а также объединенный массив всех этих значений (datnetpcams.csv).

Для оценки способности объектов формировать действительно различающиеся кластеры использовались два метода: метод «локтя» и ГЭП-статистика».

Номера кластеров, рассчитанные для каждой из 142 ячеек акватории, были нанесены на картографическую основу. Ориентируясь на эту картограмму, были намечены границы гидробиоценозов по границам кластеров. В среде QGIS была составлена векторная карта деления акватории Онежского озера по результатам кластеризации.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В результате анализа представленных данных с использованием различных методов многомерной статистики, удалось создать единую картограмму, которая иллюстрирует различия и общие характеристики разных участков акватории Онежского озера (рисунок 8).

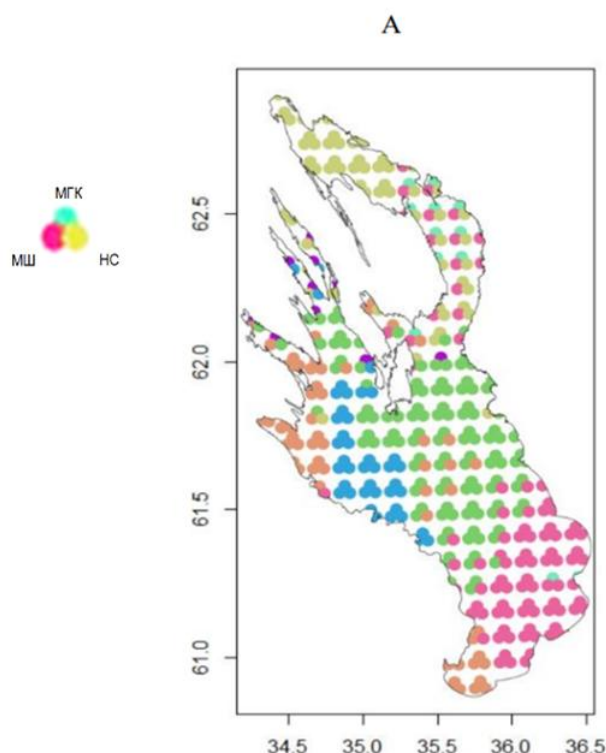


Рисунок 8 – Выявление 7 кластеров по разным интегральным данным разных методов (выделены цветом) (А) (МГК – Метод главных компонент, МШ– Метрическое шкалирование, НМ–модель автоассоциативной нейронной сети).

Совпадающие цветовая схема говорят об одинаковом подразделении. При разном подразделении кластеров свидетельствует, во-первых, о небольшом числе проб из данного района (таковы Лижемская губа и южная часть Повенецкого залива). Во-вторых, такая ситуация характерна для переходных зон (эктонов), несущих черты соседних гидробиоценозов. В их число следует отнести горло Повенецкого залива, заонежскую часть, переход между глубоководной

центральной и более мелководной южной частью Онежского озера. В-третьих, такие эффекты характерны для акваторий с сильным антропогенным влиянием, сбивающим естественную сезонную динамику популяций гидробионтов. Таковы Кондопожская губа и горло Петрозаводской губы.

На заключительном этапе анализа была построена картограмма районов Онежского озера, которые рассматриваются как относительно обособленные своеобразные гидробиоценозы: три части Повенецкого залива, Свирский залив, северные губы (Петрозаводская, Кондопожская, Лижемская, Великая), прибрежная восточная акватория, прибрежная западная акватория южнее Шокши, центральный и южный районы озера (рисунок 9).

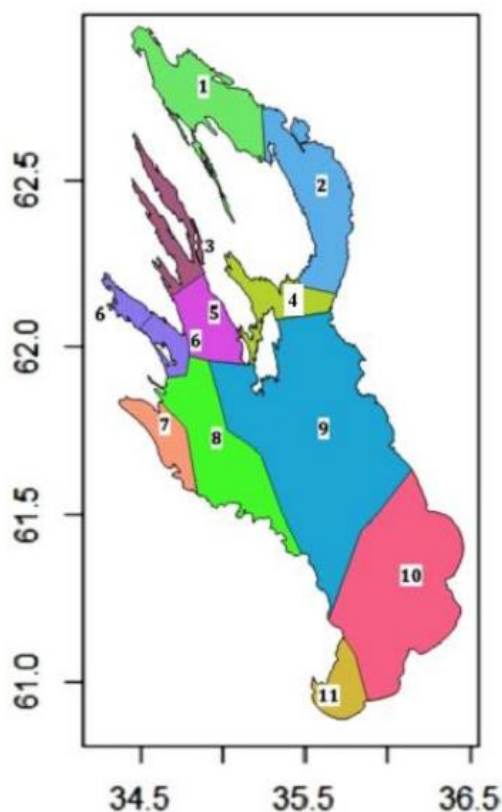


Рисунок 9 – Районирование акватории Онежского озера по динамическим данным

Границы между районами, естественно, не могут быть четкими, однако, судя по устойчивой повторяемости обнаружения зон, ядра этих районов действительно имеют свою специфику.

Таким образом, мы проиллюстрировали отличие зон, выявленное интегрированным кластерным анализом. Кондопожская губа (6 зона) и Петрозаводская губа (7 зона) характеризуются небольшими глубинами, где прогревание вод идет более быстрыми темпами. За счет эвтрофирования заливов, зоны имеют высокое развитие и высокие показатели фитопланктона, зоопланктона (коловратки, кладоцеры), бактериопланктона (сапрофиты) и малые количества амфипод. Кондопожская губа по сравнению с Петрозаводской имеет наибольшее количества планктона и наименьшее количество амфипод, что связано с большой антропогенной нагрузкой в данном заливе. Центральная часть Онежского озера (9 зона) характеризуется большими глубинами и медленным прогреванием вод. Сезонное развитие биоты происходит медленно, а количественные показатели малы. Южная часть Онежского озера (10 зона), как и северо-западные заливы имеет небольшие глубины и быстрое прогревание вод, однако не испытывает на себе большого антропогенного воздействия, что сказывается на высоких количественных показателях амфипод и меньших количествах планктонных организмов.

Таким образом, на основе большого количества разнообразных биотических и абиотических характеристик удалось выделить разные зоны на акватории Онежского озера. Выделенные зоны относительно изолированы друг от друга, обладают своеобразными структурно-динамическими характеристиками и могут рассматриваться как отдельные гидробиоценозы.

Выводы

1. Проведена обширная работа по сбору, анализу и систематизации данных о компонентах гидробиоценозов Онежского озера. Данные по гидробиологическим компонентам в виде таблиц (фитопланктон, концентрация хлорофилла *a*, первичная продукция, зоопланктон, бактериопланктон, макрозообентос), предоставленные сотрудниками из лаборатории гидробиологии ИВПС КарНЦ РАН, были преобразованы в формат с единой внутренней структурой.

2. Создано хранилище данных, охватывающее гидробиологические, гидрофизические и морфометрические параметры Онежского озера.

3. В результате анализа совместного комплекса биотических (количественные показатели и динамика гидробиологических) и абиотических

(гидрофизические и морфометрические характеристики) показателей удалось выделить 11 географически обособленных районов Онежского озера. Каждый район обладает уникальными особенностями, позволяющими рассматривать его в качестве отдельного биоценоза.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Накопленные многолетние данные лаборатории гидробиологии ИВПС КарНЦ РАН по компонентам гидробиоценоза позволили провести районирование акватории Онежского озера. Удалось выделить 11 различных зон на акватории Онежского озера по гидробиологическим, гидрофизическим и морфометрическим характеристикам.

С позиций экологической теории природные объекты, однородные в пространственном, структурном, функциональном и динамическом отношении, рассматриваются как относительно самостоятельно существующие, саморегулирующиеся открытые системы – биоценозы. Экосистема Онежского озера состоит из различных биоценозов, обладающих специфической трофической структурой, и экотопа, совокупности относительно однородных абиотических компонентов. Одной из существенных причин возникновения и существования экосистем является их распространение на более или менее ограниченном участке земной поверхности относительно однородных уровней экологических факторов.

Эти положения означают, что выявление в экологическом пространстве относительно однородных областей с отличающимся сочетанием экологических факторов и биоценологических характеристик от других областей этого пространства можно рассматривать как обнаружение отдельных биоценозов. В рамках данного исследования относительная однородность уровней экологических факторов и биотических компонентов является критерием границ биоценозов.

Выполненное районирование акватории позволяет подбирать и концентрировать информацию для вполне определенных акваторий, рассматриваемых как относительно самостоятельные экосистемы, тем самым очищая эту информацию от влияния факторов, не свойственных данной экосистеме. При этом экосистема озера предстает как совокупность относительно обособленных дискретных единиц, обладающих высоким внутренним своеобразием протекающих лимнологических и гидробиологических процессов.

Использование различных методов интерполяции данных позволило заполнить пробелы в информации и улучшить понимание процессов, происходящих в водной среде. Исследование подчеркнуло необходимость

интегрированного подхода к изучению водных экосистем, что важно для разработки стратегий сохранения и восстановления водных биоценозов.

**Список основных научных публикаций, в которых изложены
результаты научно-квалификационной работы**

Коросов А.В., Калинкина Н.М., Теканова Е.В., Сярки М.Т., **Исакова К.В.** Разработка индексов трофности для Онежского озера с помощью экологической информационной системы // ИнтерКарто. ИнтерГИС. Геоинформационное обеспечение устойчивого развития территорий. - 2021. - Т. 27. - Ч. 3. - С. 256-273. DOI: 10.35595/2414-9179-2021-3-27-256-273 (Scopus, РИНЦ).

Калинкина Н.М., **Исакова К.В.** Размерно-возрастная структура популяции *Monoporeia affinis* (Amphipoda) в Петрозаводской губе Онежского озера // Труды Зоологического института РАН. 2023. Том 327. № 3. С. 468–477. <https://doi.org/10.31610/trudyzin/2023.327.3.468> (Scopus)

Назарова Л.Е., **Исакова К.В.**, Калинкина Н.М., Балаганский А.Ф. Влияние потепления климата на зимний сток реки Шуя и последствия для зообентоса Онежского озера // Известия Русского географического общества. - 2022. - Т. 154. - № 1. - С. 28-36. doi: 10.31857/S0869607122010086. (Scopus, РИНЦ)

Исакова К.В., Калинкина Н.М. Изучение пространственной и временной динамики температуры поверхности воды Онежского озера методами дистанционного зондирования // Принципы экологии. С. 11–26. DOI: 10.15393/j1.art.2023.14422 (РИНЦ)

Теканова Е.В., Коросов А.В., Калинкина Н.М., **Исакова К.В.**, Рыжаков А.В. Модель перераспределения веществ в водах Петрозаводской губы Онежского озера // Принципы экологии. 2020. № 2. С. 97–110. DOI: 10.15393/j1.art.2020.10762 (РИНЦ)

**Список всероссийских и международных конференций, на которых были
представлены результаты научно-квалификационной работы**

XXVIII Международной конференции студентов, аспирантов и молодых учёных «Ломоносов-2021» (Москва, 12 – 23 апреля 2021 г.). Докладчик – Исакова К.В. (стендовый доклад),

XXIX Международной конференции студентов, аспирантов и молодых учёных «Ломоносов-2022» (Москва, 11 – 22 апреля 2022 г.). Докладчик – Исакова К.В. (устный доклад),

XXX Международной конференции студентов, аспирантов и молодых учёных «Ломоносов-2023» (Москва, 10 – 21 апреля 2023 г.). Докладчик – Исакова К.В. (устный доклад),

I Всероссийской научной конференции (с международным участием) «Чтения памяти В.И. Жадина» к 125-летию со дня рождения» (Санкт-Петербург, 18-22 апреля 2022 г.). Докладчик – Исакова К.В. (устный доклад),

Международной научно-практической конференции «Оценка состояния ресурсов, экосистем озёр и морей в условиях современных изменений климата и социо-экономического развития» (Петрозаводск, 12-14 сентября 2022 г.). Докладчик – Исакова К.В. (устный доклад),

76-й Всероссийской с международным участием школе-конференции молодых учёных «Биосистемы: организация, поведение, управление» (Нижний Новгород, 11–14 апреля 2023 г.) (устный доклад). Докладчик – Исакова К.В.,

VII Международной молодежной конференции «Водные ресурсы: изучение и управление» (школа-практика) “Water Resources: Research and Management” (WRRM) (Петрозаводск 4–8 сентября 2023 г.). Докладчик – Исакова К.В. (устный доклад).

Список созданных результатов интеллектуальной деятельности.

Свидетельство о регистрации базы данных 2023621189, 12.04.2023. Заявка № 2023620710 от 20.03.2023. Калинкина Н.М., Теканова Е.В., Сярки М.Т., Георгиев А.П., Исакова К.В., Толстиков А.В., Здоровеннов Р.Э., Смирнова В.С. «Лимнологические показатели состояния Онежского озера и Выгозерского водохранилища: температура воды, концентрация хлорофилла *a*, продукция фитопланктона». Правообладатель: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр «Карельский научный центр Российской академии наук» (RU).

Благодарности

Выражаю безмерную благодарность научному руководителю Коросову А.В. за неоценимую поддержку, мудрые наставления, бесконечное терпение,

доброжелательность и всегда открытую дверь для вопросов и обсуждений. Выражаю искреннюю благодарность всему коллективу лаборатории гидробиологии за предоставленные необходимые данные по компонентам гидробиоценоза, за помощь и поддержку! Отдельную благодарность хочу выразить Н.М. Калинкиной за её ценные советы и активное содействие в моей работе.