



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра прикладной и системной экологии

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(магистерская диссертация)

На тему «Динамика лимнологических параметров прибрежной зоны
Валаамского архипелага»

Исполнитель Яковлев Алексей Сергеевич

Руководитель канд. геогр. наук, доцент
Алексеев Денис Константинович

Консультант канд. биол. наук
Воякина Екатерина Юрьевна

«К защите допускаю»

Заведующий кафедрой


(подпись)

канд. геогр. наук, доцент

(ученая степень, ученое звание)

Алексеев Денис Константинович

(фамилия, имя, отчество)

«11» 06 2025 г.

Санкт-Петербург
2025

СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|---|----|
| ВВЕДЕНИЕ | 4 |
| 1 Характеристика лимнологических параметров | 7 |
| 2 Физико-географическое описание Валаамского архипелага | 15 |
| 2.1 Общие сведения об архипелаге | 15 |
| 2.2 Природные особенности прибрежной зоны | 16 |
| 2.3 Описание объектов исследования | 17 |
| 3. Материалы и методы исследования | 20 |
| 3.1 Отбор проб | 20 |
| 3.2 Гидрофизика | 21 |
| 3.3 Гидрохимия | 21 |
| 3.4 Гидробиология | 23 |
| 3.5 Описательная статистика | 23 |
| 3.6 Индекс трофического состояния Карлсона | 24 |
| 4 Результаты исследования | 25 |
| 4.1 Группировка параметров по коэффициенту вариации | 25 |
| 4.2 Параметры с незначимой вариацией | 27 |
| 4.3 Параметры со значимой вариацией | 28 |
| 4.3.1 Аммонийный азот | 29 |
| 4.3.2 Нитрит-ион | 36 |
| 4.3.3 Мутность | 41 |
| 4.3.4 Углекислый газ | 46 |
| 4.3.5 Общий фосфор | 51 |
| 4.3.6 Фосфат-ион | 56 |
| 4.3.7 Хлорофилл-А | 61 |

| | |
|---|----|
| 4.4 Индекс трофического состояния Карлсона | 65 |
| 4.5 Сравнение с многолетним диапазоном данных | 70 |
| ЗАКЛЮЧЕНИЕ..... | 71 |
| ВЫВОДЫ | 76 |
| СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ | 77 |
| ПРИЛОЖЕНИЕ А | 81 |
| ПРИЛОЖЕНИЕ Б | 84 |
| ПРИЛОЖЕНИЕ В | 85 |
| ПРИЛОЖЕНИЕ Г | 87 |

ВВЕДЕНИЕ

Ладожское озеро является крупнейшим пресноводным водоемом Европы, запасы воды которого составляют более чем 800 км³. Определяя экономическое и экологическое состояние всего Северо-западного региона России, озеро имеет статус важнейшего геостратегического водного объекта. Прежде всего это связано с тем, что в нем находится резерв питьевой воды для всей Европейской части страны [1].

Река Нева, вытекающая из Ладоги, служит основным источником питьевого и промышленного водоснабжения мегаполиса Санкт-Петербурга и его пригородов. Помимо этого, озеро также является главным источником водоснабжения для многих населенных пунктов Ленинградской области и Республики Карелия. Любые ухудшения состояния и качества его воды не остаются незамеченными и оказывают негативное влияние на здоровье населения городов [2].

На севере озера расположена его жемчужина – Валаамский архипелаг. Сильно отличаясь от побережья Ладожского озера, его прибрежная зона представляет из себя неповторимую экосистему. Валаамские острова и значительная часть их акватории являются особо охраняемой природной территорией регионального значения – природным парком «Валаамский архипелаг» [3, 4].

Установленный статус земель архипелага определяет то, что на некоторой части из них широко распространена хозяйственная и рекреационная деятельность. При этом наблюдения за экологическим состоянием не относится к числу приоритетных направлений. Например, при многолетнем мониторинге в наиболее подверженных антропогенному воздействию бухтах – Монастырской и Малой Никоновской, было установлено изменение ряда лимнологических параметров. Причиной этого стало локальное загрязнение акватории [5].

Для предотвращения деградации экосистем прибрежной зоны Валаамского архипелага в местах, подверженных антропогенному воздействию, требуется осуществление регулярных наблюдений и анализа основных лимнологических параметров.

Цель и задачи работы.

Цель настоящего исследования в рамках магистерской диссертации заключается в оценке пространственной и временной динамики лимнологических параметров бухт, подверженных антропогенному воздействию, по данным мониторинговых съемок августа 2022 - 2024 годов.

Для достижения поставленной цели был обозначен ряд задач:

1. Дать характеристику используемым лимнологическим параметрам;
2. Представить основные сведения о природной среде Валаамских островов, об особенностях их прибрежной зоны. Составить описание объектов исследования;
3. Описать методы изучения представленных параметров;
4. Выделить среди всех параметров те, для которых характерна значимая вариация в пространстве и во времени. Проанализировать их;
5. Сравнить полученные результаты с литературными данными;
6. Сделать выводы об особенностях пространственной и временной динамики лимнологических параметров на объектах исследования. Выявить отличительные черты объектов исследования.

Материалы и методы.

Представленная работа основывается на данных съемок прибрежной зоны Валаамского архипелага в августе 2022 - 2024 годов. Объектами исследования были выбраны бухты Большая Никоновская, Малая Никоновская и Золотая, а также примыкающей к ней Тростяной залив.

Предметом исследования являются лимнологические параметры, изучение которых проводилось во время полевых работ на рассматриваемых объектах (глава 1). Их определение было выполнено по стандартным методикам (глава 3).

Начало исследования было положено летом 2022 года в рамках работ по гранту от РГО по изучению и сохранению уникальных природных ландшафтов Северного Приладожья. Задачи, связанные с обработкой полученных данных, построением таблиц и графиков были выполнены в программе Microsoft Excel, создание карт – в открытой геоинформационной системе QGIS.

Научная новизна.

Научная новизна работы обусловлена тем, что в Тростяном заливе, Золотой и Большой Никоновской бухтах с 2000 года не выполнялось полевых работ такого масштаба. Впервые к мониторинговым станциям были добавлены дополнительные точки пробоотбора. Это позволило расширить границы значений изучаемых параметров. Также впервые был выполнен пеший обход трех островов, находящихся в акватории исследуемых объектов, что позволило частично оценить степень антропогенного воздействия на их водосбор. Оценка представленных параметров и сопоставление полученных данных с литературными дала выявить некоторые особенности побережья Валаамского архипелага.

Практическая значимость.

Практическая значимость работы состоит в том, что оценка основных лимнологических параметров исследуемых объектов позволит сделать выводы о современном состоянии их экосистем и даст определить рекомендации для дирекции ООПТ регионального значения Республики Карелия и руководства Валаамского монастыря по уменьшению антропогенного воздействия на них.

Личный вклад автора.

Автор принимал непосредственное участие в полевых и камеральных работах во время исполнения указанного гранта в 2022 г., а также в последующих – после окончания гранта, в 2024 г. Участие заключалось в отборе проб, их обработке и последующем анализе. Была создана база данных, построены картосхемы исследуемых объектов, таблицы с полученными результатами, построены графики пространственно-временной динамики и диапазоны изменчивости исследуемых параметров.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Земли Валаамского архипелага имеют статус природного парка, некоторые из них носят рекреационное и хозяйственное назначение. При этом экологический мониторинг не является приоритетным направлением. Возросшая антропогенная нагрузка оказывается негативно на состоянии наземных и водных экосистем данных участков.

Настоящая выпускная квалификационная работа посвящена изучению динамики лимнологических параметров прибрежной зоны Валаамского архипелага в период максимального прогрева воды по данным мониторинговых съемок 2022 - 2024 гг.

Объектами исследования были выбраны бухты Большая Никоновская, Малая Никоновская, Золотая, а также примыкающей к ней Тростяной залив. Объекты находятся в разных частях архипелага: бухты Большая Никоновская и Малая Никоновская – в глубоководной западной части архипелага, Золотая бухта и Тростяной залив – в мелководной восточной. Их основные характеристики представлены в таблице Г.1 (приложение Г).

Для выполнения работ были выбраны гидробиологические, гидрохимические и гидрофизические параметры, использующиеся при стандартном мониторинге поверхностных лентических водных объектов (всего 14 параметров).

При первом этапе выполнения работы для каждого параметра по полному ряду наблюдений был рассчитан коэффициент вариации (C_v) и необходимые статистические характеристики. Затем на втором этапе была выполнена группировка показателей по его величине, в результате чего были выделены три группы: со слабым, средним и сильным варьированием в пространстве и во времени (таблица 4.2).

После для подробного описания были выбраны показатели с коэффициентом вариации, превышающим 0,20 – параметры со значимой вариацией. Оставшаяся часть – с незначимой вариацией. Значения диапазонов изменчивости этих показателей близки к среднему арифметическому (таблица 4.3).

Вероятно, их незначимая вариация объясняется тем, что они сильно зависят от температуры, которая в период максимального прогрева практически не отличается на различных участках прибрежной зоны. Параметры со значимой вариацией, с другой стороны, главным образом зависят от вегетации фитопланктона, которая перестает

быть активной или полностью прекращается во время сильного ветрового или волнового перемешивания. В таких случаях у них отмечается достаточно резкое изменение временной и пространственной динамики.

1. Динамика параметров в пространстве и во времени.

Для показателей со значимой вариацией на каждом из объектов исследования был рассчитан коэффициент вариации, среднее арифметическое, абсолютная и относительная погрешности. Были построены графики пространственно-временной динамики и диапазоны изменчивости. Результаты расчетов и оценки коэффициентов вариации представлены в таблице Г.2.

Среди данных показателей имеет место проявление на некоторых объектах слабой динамики в пространстве и во времени. В бухтах Малой Никоновской и Большой Никоновской последняя характеризуется как слабая или средняя наиболее часто. Это характерно для мутности, аммонийного азота и нитрит-иона. Также единичные случаи отмечены в Золотой бухте и Тростяном заливе. Другая часть параметров на всех объектах имеет сильную динамику: углекислый газ, общий фосфор, фосфат-ион и хлорофилл-А.

Повышенная стабильность у части параметров Большой Никоновской и Малой Никоновской бухт, скорее всего, обусловлена их морфологическими особенностями: значительной площадью Большой Никоновской и сильной закрытостью от акватории Ладоги Малой Никоновской.

2. Среднее арифметическое за весь период наблюдений.

Наибольшее количество показателей с максимальным средним значением наблюдается в Большой Никоновской бухте, к ним относится нитрит-ион, углекислый газ, общий фосфор и фосфат-ион. Там же отмечены минимальные значения среднего среди аммонийного азота, мутности и хлорофилла-А (таблица Г.3).

Остальная часть максимальных и минимальных средних значений в основном распределена между Золотой бухтой и Тростяным заливом. В Золотой бухте наблюдается максимальное среднее мутности и хлорофилла-А, в Тростяном заливе – аммонийного азота. В заливе также установлены минимальные средние нитрит-иона, углекислого газа и фосфат-иона.

В Большой Никоновской бухте отмечено минимальное среднее значение индекса трофического состояния Карлсона, олиготрофный трофический статус,

в Тростяном заливе – максимальное, трофический статус олиго-мезотрофный. Бухты Малая Никоновская и Золотая по среднему значению индекса различаются несущественно, однако имеют разный трофический статус, олиготрофный и олиго-мезотрофный соответственно.

3. Изменение среднего арифметического за исследуемый период.

У объектов исследования можно проследить одинаковую временную динамику среднего арифметического, которая у каждого параметра проявляется по-своему, что можно увидеть в таблице Г.4.

Наибольшее количество одинаковых тенденций изменения среднего значения наблюдается у Золотой бухты и Тростяного залива, прослеживаясь у всех параметров за исключением аммонийного азота. Такая тесная связь объясняется тем, данные объекты располагаются друг к другу вплотную, не имея никакого естественного барьера.

Однаковая временная динамика также встречается у бухт Большой Никоновской и Малой Никоновской, но только у хлорофилла-А и общего фосфора. Несмотря на близкое расположение этих объектов, Малая Никоновская бухта гораздо сильнее врезается в сушу, что делает её менее подверженной влиянию волновых процессов открытой части озера.

4. Диапазоны изменчивости на поверхности и дне.

Сравнивая диапазоны изменчивости данных параметров на поверхности и дне, можно отметить, что большая часть максимальных диапазонов была установлена на дне Малой Никоновской бухты: у аммонийного азота, углекислого газа, общего фосфора и фосфат-иона. Повышенные концентрации данных веществ связаны с работой садкового форелевого хозяйства, при которой они попадают в окружающую среду и накапливаются на дне в результате процессов жизнедеятельности радужной форели и минерализации микроорганизмами органических остатков кормов и её прижизненных выделений (таблица Г.5).

Также в Малой Никоновской бухте отмечены минимальные диапазоны у мутности и аммонийного азота на поверхности и нитрит-иона на поверхности и дне. Максимальный диапазон нитрит-иона наблюдается на поверхности Золотой бухты и дне Тростяного залива, мутности и хлорофилла-А – на поверхности Тростяного залива. Там же наблюдаются минимальные диапазоны фосфат-иона.

Достаточно большая часть минимальных диапазонов установлена в Большой Никоновской бухте на поверхности: нитрит-ион, мутность и хлорофилл-А и дне: нитрит-ион, углекислый газ и общий фосфор.

Для аммонийного азота на поверхности и дне на каждой из исследуемых акваторий, за исключением Большой Никоновской бухты, в сумме было установлено 11 превышений ПДК для водных объектов рыбохозяйственного значения. В 8 случаях превышение не столь значительно. Максимальные значения у нитрит-иона в 8 раз меньше ПДК, у фосфат-иона – меньше в 6 раз.

В заключительном этапе исследования было выполнено сопоставление полученных результатов с литературными данными, представляющими из себя диапазоны значений 12 параметров, составленных по результатам полевых работ на всем побережье Валаамского архипелага в период максимального прогрева воды, с 2000 по 2019 гг. (таблица В.1).

Было установлено, максимальная доля значений 2022 - 2024 гг., выходящих за границы диапазона 2000 - 2019 гг. принадлежит нитрит-иону, 74,5 %. Меньшие доли имеют общий фосфор, 34,1 %, фосфат-ион, 29,4 %, углекислый газ, 22,8 % и цветность, 9,8 %. Минимальная доля значений, оказавшихся за границами диапазона, принадлежит относительному содержанию кислорода, 1,8 %. В Большинстве случаев наблюдается выход значений за нижние границы диапазонов 2000 - 2019 гг. Наибольшая доля значений, выходящих за границы диапазонов, установлена в Тростяном заливе, 33,0 %, и Золотой бухте, 31,8 %. В бухта Большой Никоновской и Малой Никоновской доля таких значений почти в половину меньше, 19,3 и 15,9 % соответственно. Количество всех значений 2022 - 2024 гг., выходящих за границы диапазонов 2000 - 2019 гг. составляет 88, что по отношению к общему числу измерений – 693, равно 12,7 %.

Основываясь на полученных данных, можно утверждать, что бухты Большая и Малая Никоновская являются более стабильными с точки зернения изменения динамики параметров в пространстве и во времени, что обусловлено их глубоководностью, значительной площадью Большой Никоновской и большей закрытостью от акватории озера Малой Никоновской.

С другой стороны, мелководность Золотой бухты и Тростяного залива позволяет ветровому и волновому воздействию не давать сформироваться плотностной

стратификации водной толщи. Но также она обеспечивает быстрый прогрев, что приводит к высоким показателям обилия фитопланктона. В результате чего наблюдается резкие изменения ряда параметров, а также диапазоны их изменчивости становятся шире и иногда даже выходящими за пределы многолетних мониторинговых наблюдений.

Во время полевых работ на объектах исследования также был выполнен обход прилегающих островов: Никоновского, Зосимовского и Савватиевского. На них были найдены различные скопления отходов: от пластиковых бутылок и консервных банок до автомобильных покрышек (рисунок Б.1).

Настоящее загрязнение связано с активным посещением островов туристами и рыбаками. На Савватиевском острове также были обнаружены постройки – небольшие деревянные хижины (рисунок Б.2).

При дальнейшем накоплении отходов они способны оказать негативное воздействие на экосистемы водных объектов, которое будет проявляться в виде стока загрязняющих веществ в периоды с повышенным количеством осадков или появления лесных пожаров в засушливые сезоны. Увеличение нагрузки может привести к многолетним изменениям лимнологических параметров и смене обитающих сообществ гидробионтов, что нанесет серьезный ущерб их уникальным экосистемам.

С целью предотвращения дальнейшего загрязнения отходами указанных островов дирекции ООПТ регионального значения Республики Карелия и руководству Валаамского монастыря следует усилить контроль за осуществляющейся на их территории рекреационной деятельностью. Также для уменьшения её влияния на окружающую среду рекомендуется провести организацию мероприятия по ежегодной уборке отходов и их вывозу с территории данных островов.

ВЫВОДЫ

1. Незначимая вариация в пространстве и во времени ($C_v < 0,20$) удельной электропроводности, водородного показателя, относительного содержания кислорода, общего органического вещества, цветности и прозрачности объясняется тем, что они сильно зависят от температуры, которая в период максимального прогрева практически не отличается на различных участках прибрежной зоны;

2. Значимая вариация ($C_v \geq 0,20$) аммонийного азота, нитрит-иона, мутности, углекислого газа, хлорофилла-а, общего фосфора и фосфат-иона связана с тем, что эти параметры, главным образом, зависят от вегетации фитопланктона, которая перестает быть активной или полностью прекращается во время сильного ветрового или волнового перемешивания. В таких случаях у них отмечается достаточно резкое изменение временной и пространственной динамики;

3. В Малой Никоновской и Большой Никоновской бухтах было установлено наибольшее число случаев проявления слабой ($C_v \leq 0,10$) и средней ($C_v = 0,11 - 0,25$) динамики в пространстве и во времени (3 из 7 в каждой). Это характерно для мутности, аммонийного азота и нитрит-иона. Вероятно, это обусловлено значительной площадью Большой Никоновской (199 га) и сильной закрытостью от акватории Ладоги Малой Никоновской;

4. Большинство параметров с максимальным средним значением отмечено в Большой Никоновской бухте: нитрит-ион ($8,1 \pm 0,3$ мкг/л), углекислый газ ($2,5 \pm 0,3$ мг/л), общий фосфор ($9,2 \pm 1,8$ мкг/л) и фосфат-ион ($3,6 \pm 0,5$ мкг/л). Там же установлены минимальные значения аммонийного азота ($0,30 \pm 0,02$ мг/л), мутности ($2,9 \pm 0,1$ ЕМФ) и хлорофилла-А ($2,7 \pm 0,6$ мкг/л). Остальная часть максимальных и минимальных средних значений в основном распределена между Золотой бухтой и Тростяным заливом;

5. Большинство максимальных диапазонов изменчивости (Δ) было отмечено на дне Малой Никоновской бухты: у аммонийного азота ($\Delta = 0,33$ мг/л), углекислого газа ($\Delta = 11,2$ мг/л), общего фосфора ($\Delta = 27,5$ мкг/л) и фосфат-иона ($\Delta = 25,0$ мкг/л), что связано с функционированием садкового форелевого хозяйства.