



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
(бакалаврская работа)

На тему: «Продукционно-деструкционные особенности Валаамских озер»

Исполнитель Мололкин Максим Дмитриевич

Руководитель канд. геогр. наук,
Зуева Надежда Викторовна

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.....	3
Глава 1. Теоретический анализ продукционно-деструкционных процессов Валаамских озёр.....	7
1.1. Эволюция представлений о первичной продукции и дыхании в пресноводных экосистемах.....	7
1.2. Энергетическая концепция A/R-баланса и понятие «первичная продукция».....	10
1.3. Основные факторы воздействия на первичную продукцию.....	12
Глава 2. Физико-географические и гидролимнологические условия формирования озёрных экосистем Валаамского архипелага.....	16
2.1. Физико-географическая характеристика Валаамского архипелага.....	16
2.2. Водная система Валаамского архипелага.....	19
Глава 3. Методы исследования первичной продукции и деструкции Валаамских озёр.....	30
3.1. Гидрофизические показатели.....	30
3.2. Гидрохимические показатели.....	31
3.3. Методы определения первичной продукции.....	33
Глава 4. Эмпирическое исследование первичной продукции Валаамских озёр.....	35
4.1. Продукционно-деструкционные процессы Валаамского архипелага....	35
4.2. Сезонная и вертикальная динамика первичной продукции Валаамских озёр за 2024 год.....	50
4.3. Соотношения A/R для озёр Валаамского архипелага за 2024 год.....	52
4.4. Трофический статус водоёмов Валаамского архипелага.....	54
Заключение.....	56
Выводы.....	58
Список использованных источников.....	60

Введение

Экосистемы малых озёр играют важнейшую роль в региональных круговоротах вещества и энергии, выступают природными индикаторами климатических и антропогенных изменений, а также являются незаменимыми резервуарами пресной воды и биоразнообразия [1]. На Валаамском архипелаге, расположенном в северной части Ладожского озера, эта функция усиливается благодаря уникальному геолого-тектоническому строению, мозаичности микроклиматов и чрезвычайно высокой дифференциации водных биотопов на компактной площади в 36 км² [2]. Водная система архипелага включает девять разнотипных малых озёр и два слабопроточных крупных водоёма — Сисяярви и Лещевое, различающихся по морфометрическим параметрам, гидрохимическим характеристикам и степени гидрологической открытости [3]. Это уникальное сочетание факторов формирует естественный «лабораторный полигон» для изучения A/R-баланса (автотрофный синтез — гетеротрофное дыхание) в условиях минимального прямого антропогенного воздействия [4].

На глобальном уровне интерес к продукционно-деструкционным процессам обусловлен необходимостью точного учёта источников и стоков углерода в пресноводных экосистемах [5]. Несмотря на скромную площадь по сравнению с океанами, малые озёра могут вносить диспропорционально большой вклад как в связывание, так и в выброс CO₂ за счёт высокой удельной продуктивности и накопления органического вещества в замкнутых котловинах [6]. Валаамские озёра характеризуются широким диапазоном значений pH (4,0–8,6), цветности (до 296°Pt-Co) и минерального фосфора (0,001–1,524 мг P/л), что создаёт контрастные условия для процессов дыхания и фотосинтеза даже в пределах одного острова [7]. По данным многолетнего мониторинга, средние значения A/R варьируют от 0,52 до 1,35, отражая как мезотрофное равновесие, так и локальное преобладание деструкции или продукции [8]. Эти диапазоны делают архипелаг эталонным объектом для

изучения механизмов переключения водоёмов из состояния источника в состояние поглотителя органического углерода.

Практическая значимость данного исследования определяется, во-первых, тем, что озёра Валаама входят в состав природного парка и испытывают возрастающее рекреационное воздействие [9]. Даже незначительное смещение A/R-баланса может привести к ускоренной внутренней эвтрофикации, дефициту кислорода и утрате эстетической ценности акваторий — симптомы, уже фиксируемые в отдельных водоёмах по данным перманганатной окисляемости и снижению насыщенности кислородом [10]. Во-вторых, методики, применённые на этих озёрах (модификация метода «светлых/тёмных склянок» с учётом кислородного баланса, расчёт индекса трофического состояния, прямое измерение хлорофилла а), могут быть адаптированы для других таёжных ландшафтов Северо-Запада России [11]. В-третьих, интеграция данных по первичной продукции с возможностями современных ГИС-инструментов позволяет перейти от точечных измерений к энергетическому картированию всей водной сети, а также прогнозировать сукцессионные переходы озёр от мезотрофного к эвтрофному состоянию [4].

Степень разработанности проблемы. Систематические гидрохимические наблюдения на Валаама начались лишь в 1980-е годы и носили эпизодический характер [9]. Целенаправленные исследования фотосинтеза, дыхания и расчёта A/R-баланса в методически единых рамках начались в конце 1990-х годов. Ключевой вклад внесли работы Е. Ю. Воякиной и соавторов, впервые сопоставившие скорости фотосинтеза, деструкции и трофическое состояние всех 11 озёр [8]. В этих работах было выявлено:

- отсутствие лимитирования продукции биогенными элементами при избытке органического углерода в гипolimнионе,
- численное преобладание цианобактерий и биомассовое — рафидофит,
- пространственная неоднородность A/R, обусловленная морфометрией котловин и площадью водосборов [4].

В 2010-е годы акцент исследований сместился в сторону детального изучения гидрохимических и гидрофизических градиентов, позволивших уточнить роль термоклина и дефицита кислорода в перераспределении потоков вещества [7]. Одновременно были исследованы макрозообентос и литоральная биота, что позволило оценить вклад перифитона в общую продукцию [12]. Новые данные 2020–2021 годов подтвердили ярко выраженную межгодовую динамику A/R и зафиксировали переход ряда озёр в режим деструкционного преобладания ($A/R < 1$), особенно в кислых, полигумусных и мелководных водоёмах [13].

Тем не менее сохраняются значительные лакуны. Во-первых, практически не изучена продукция в зимний подлёдный период, хотя именно в это время формируется минеральный фонд сезона. Во-вторых, отсутствуют данные о суточной динамике фотосинтеза и дыхания, необходимые для валидации аэрологических моделей углеродного обмена [14]. В-третьих, слабо исследован вклад аллохтонного органического вещества, поступающего с болотных водосборов, в поддержание процессов деструкции и вторичной продукции [15]. В-четвёртых, метод спектральной флуориметрии, позволяющий оперативно картировать фотосинтетический потенциал воды, пока не адаптирован к специфике тёмных валаамских вод [16].

Эта совокупность обстоятельств подчёркивает высокую научную и прикладную значимость комплексного исследования продукционно-деструкционных процессов в малых озёрах Валаамского архипелага. Синтез накопленного опыта и внедрение современных инструментальных и модельных подходов позволят не только уточнить энергетический статус каждого водоёма, но и создать систему раннего предупреждения о сдвигах A/R-баланса, критически важных для устойчивости уникальных озёрных экосистем архипелага.

Объект исследования — озёрные экосистемы Валаамского архипелага.

Предмет исследования — продукционно-деструкционный метаболизм экосистем Валаамского архипелага.

Цель исследования – Проанализировать продукционно-деструкционные особенности Валаамских озёр

Задачи исследования

1. Провести теоретический анализ эволюции научных представлений о первичной продукции и дыхании в пресноводных экосистемах.
2. Изучить энергетическую концепцию A/R-баланса и уточнить содержание ключевых понятий: «первичная продукция», «дыхание» и «чистая продукция» в контексте гидробиологических исследований.
3. Выявить основные абиотические и биотические факторы, определяющие интенсивность продукционно-деструкционных процессов в озёрных экосистемах.
4. Дать физико-географическую и гидролимнологическую характеристику Валаамского архипелага как основы формирования озёрных систем.
5. Описать применяемые методы оценки гидрофизических и гидрохимических параметров, а также методику определения первичной продукции и дыхания в малых озёрах.
6. На основе экспедиционных материалов 2024 года определить значения первичной продукции, проанализировать их сезонную и вертикальную динамику в озёрах Валаамского архипелага, а также определить трофический статус каждого водоёма.
7. Рассчитать коэффициенты соотношения A/R для каждого озера и выполнить сопоставительный анализ продукционно-деструкционного баланса.

Работа состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы, включающего в себя 32 источника.

Заключение

Решая первую задачу исследования, был проведён теоретический анализ эволюции научных представлений о первичной продукции и дыхании в пресноводных экосистемах. В результате установлено, что развитие гидробиологии шло от простых энергетических моделей к комплексному пониманию A/R-баланса как универсального критерия оценки продукционно-деструкционных процессов.

Решая вторую задачу, была рассмотрена энергетическая концепция A/R-баланса, позволившая уточнить и дифференцировать ключевые понятия — «первичная продукция», «дыхание» и «чистая продукция». Выяснено, что A/R-коэффициент отражает соотношение процессов синтеза и разрушения органического вещества, позволяя судить об автотрофности или гетеротрофности экосистемы.

В рамках третьей задачи были выявлены основные абиотические и биотические факторы, влияющие на продукционные процессы в озёрных экосистемах. К ключевым факторам отнесены: температурный режим, световой поток, глубина фотической зоны, прозрачность и содержание биогенных элементов. Их взаимодействие определяет продуктивность как в вертикальном, так и в сезонном аспектах.

Четвёртая задача была решена путём характеристики физико-географических и гидролимнологических условий Валаамского архипелага. Особое внимание было уделено морфометрическим особенностям, типу водообмена и изолированности озёр, что оказывает существенное влияние на процессы продуцирования и деструкции.

В рамках пятой задачи описаны методы определения гидрофизических и гидрохимических показателей, а также методика оценки первичной продукции и дыхания. Применён модифицированный метод Винберга с использованием метода склянок и расчётов в фотической зоне, что позволило получить надёжные и сопоставимые значения A_{опт} и R.

Решая шестую задачу, на основе данных полевых наблюдений 2024 года были рассчитаны значения A_{opt} и R по девяти озёрам Валаамского архипелага. Проанализирована их сезонная и вертикальная динамика. Уточнены диапазоны и средние значения для каждого озера. На основе этих данных определён трофический статус водоёмов.

Решая седьмую задачу, были рассчитаны коэффициенты A/R по всем водоёмам. Сравнительный анализ показал, что в ряде озёр (например, Оссиево и Антониевское) преобладают автохтонные процессы ($A/R > 1$), в то время как в других (Симняховское, Витальевское и др.) отмечено доминирование деструкции ($A/R < 1$), что указывает на значительное влияние аллохтонной органики.