

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Институт фундаментальной биологии и биотехнологии

институт

Кафедра водных и наземных экосистем

кафедра

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой



М.И. Гладышев


6 июля 2020

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ


Содержание биогенов и металлов в макрофитах речной протоки


06.04.01 - Биология

06.04.01.04 – Гидробиология и ихтиология

Научный руководитель  _____ профессор, д.б.н. Е.А. Иванова
подпись, дата _____ должность, ученая степень _____ инициалы, фамилия

Научный руководитель  _____ с.н.с, к.б.н. О.В. Барсукова
подпись, дата _____ должность, ученая степень _____ инициалы, фамилия

Выпускник  _____ Ю.Д. Анищенко
подпись, дата _____ инициалы, фамилия

Рецензент  _____ с.н.с, к.б.н. Е.С. Кравчук
подпись, дата _____ должность, ученая степень _____ инициалы, фамилия

Красноярск 2020

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	3
Глава 1 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ.....	5
1.1 Макрофиты.....	5
1.2 Аквакультура.....	8
1.3 Биогены.....	10
1.4 Металлы.....	12
Глава 2 РАЙОН И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	16
2.1 Характеристика района исследования.....	16
2.2 Методы исследований	19
2.2.1 Полевые методы.....	19
2.2.2 Лабораторные анализы.....	20
Глава 3 РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ	25
3.1 Гидрохимическая характеристика Абаканской протоки р. Енисей.....	25
3.2 Видовой состав и элементный анализ макрофитов.....	29
3.2.1 Видовой состав макрофитов Абаканской протоки.....	29
3.2.2 Содержание биогенов (С, N, Р) в макрофитах.....	32
3.2.3 Элементный состав макрофитов Абаканской протоки.....	35
Обсуждение.....	45
Выводы.....	50
Список литературы.....	52
Реферат.....	60

Введение

Река Енисей в районе г. Красноярска характеризуется высокой скоростью течения (до 2 м/с), наличием открытой воды в течение всего года, низкими температурами (2-14 °С) и олиготрофностью. На реке много островов, самый крупный в черте города - остров Отдыха, через который проходит мост, соединяющий левый и правый берег. Между правым берегом и островом Отдыха располагается Абаканская протока, служащая местом рекреации для горожан. Верхняя часть протоки перекрыта дамбой, обеспечивающей частичный пропуск воды через гидротехнические сооружения, что значительно снижает скорость течения. На участке за дамбой в протоку поступают теплые воды ТЭЦ-2. В августе 2016 г. участок акватории Абаканской протоки был арендован под коммерческое садковое хозяйство, где выращивается и содержится рыба. В 2018 – 2019 г. на участке ниже дамбы наблюдалось зарастание русла протоки высшей водной растительностью (макрофитами) и массовое развитие бентосной водоросли *Spyrogira* sp., что привело к ухудшению качества воды и невозможности дальнейшего использования данного участка реки для отдыха горожан. Оценка качества вод и влияние вышеперечисленных антропогенных факторов на компоненты экосистемы р. Енисей в районе Абаканской протоки проводились в 2018-2019 г.г. сотрудниками Института биофизики СО РАН, ФИЦ КНЦ СО РАН и Сибирского федерального университета. Комплексные исследования включали оценку видового состава и биомассы водных растений. Макрофиты используются для мониторинга загрязнения вод биогенными элементами (азотом и фосфором) и тяжелыми металлами [45], поэтому дополнительно было решено оценить влияние садкового рыбхозья и возможного загрязнения вод тяжелыми металлами на элементный состав макрофитов исследуемого участка Абаканской протоки в данной работе.

Цель работы – оценка возможного влияния антропогенных факторов на экосистему лентического участка реки Енисей в г. Красноярске на основе элементного анализа макрофитов и воды. В задачи входило: 1) определить

содержание биогенных, макро- и микроэлементов в воде и оценить степень загрязнения вод на исследуемом участке реки Енисей; 2) исследовать видовой состав макрофитов и оценить их общую биомассу; 3) оценить содержание биогенных, макро- и микроэлементов в макрофитах Абаканской протоки

Химический анализ проб воды и макрофитов проводили в аналитической лаборатории Института биофизики СО РАН, ФИЦ КНЦ СО РАН. Автор благодарит сотрудников лаборатории за предоставление ряда данных.

Глава 1 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

1.1 Макрофиты

Термином «макрофиты» Распопов И. М. обозначает «...макроскопические растительные организмы вне зависимости от их систематического положения, установление родовой (видовой) принадлежности которых не требует применения оптических приборов с большим увеличением» [6]. Также, этот автор объектом исследования гидробиологии считает растения вод, под которыми, понимаем макрофиты водоёмов и водотоков вне зависимости от их систематического положения и экологической приуроченности, доступные наблюдению невооружённым глазом [7].

На высшие водные растения, как часть макрофитов, в России обратили внимание и стали изучать в конце 19-го века. Первую отечественную сводку по водным мхам, папоротникам, плаунам и цветковым растениям можно найти в работе К. Ламперта (1900). Цветковые растения в ней подразделяются на следующие 3 группы:

- 1) растения с листьями, погруженными в воду, или подводные растения;
- 2) растения с листьями, плавающими на поверхности воды, — плавающие растения;
- 3) растения со стеблями и листьями, частично погруженными в воду и частично выступающими из воды в воздух [57].

Наиболее известна в этом отношении классификация А. П. Шенникова (1950). В ней при выделении групп высших водных растений учитывалось также наличие или отсутствие связи с грунтом дна водоёма и рассматривались:

1. Погруженные в воду растения, у некоторых из которых над водой только цветы, с подразделением на 1) укореняющиеся и 2) неукореняющиеся.
2. Растения с плавающими листьями или с листовидными стеблями, или отчасти торчащими из воды листьями. Также с выделением укореняющихся и неукореняющихся.
3. Воздушно-водные растения — поднимающиеся высоко над водой [57].

Сходную, но с большим числом групп и несколько иным акцентом, классификацию растений, встречающихся в зоне временного затопления, даёт Г. Б. Томилина (1961):

1-я группа — воздушно-водные растения, обнаруживающие способность расти как в воде, поднимая над её поверхностью часть стебля или листьев, так и вне воды при достаточной влажности грунта.

2-я группа — растения укореняющиеся, с плавающими листьями с подгруппами: а) нимфейные и б) амфибийные растения — существуют в виде водной и наземной форм; водная более жизненная.

3-я группа — свободно плавающие растения.

4-я группа — погруженные в воду укореняющиеся растения.

5-я группа — не укореняющиеся погруженные в воду растения.

6-я группа — укореняющиеся растения, способные выносить временное погружение (*Agrostis stolonifera*, *Carex acuta*, *Galium palustre*, *Persicaria minus*).

7-я группа — погруженные укореняющиеся с короткими побегами растения (*Eleocharis acicularis*).

8-я группа — наземные растения. Они начинают развиваться тогда, когда почва почти освободилась от воды (*Bidens tripartita*, *Deschampsia caespitosa* и др.) [57].

Макрофиты являются основным биологическим компонентом в многочисленных пресноводных экосистемах [36]. Они обычно классифицируются на четыре типа растений в соответствии с их адаптацией как: всплывший, затопленный, свободно плавающий и плавающий [37]. Макрофиты являются важными компонентами озерных экосистем, способствуя первичной продуктивности, накоплению и стабилизации осадков, хранению и круговороту питательных веществ, а также обеспечивая комплексную среду обитания и пищу для водной биоты от макробеспозвоночных до млекопитающих животных [57].

Макрофиты рассматриваются как важные компоненты водной экосистемы, потому что они действует как эффективный аккумулятор тяжелых металлов [48]. Они являются биологическими фильтрами и играют важную роль в поддержании водной экосистемы. Водные растения таксономически тесно связаны с

наземными, но являются водными фанерогами, которые живут в совершенно другой среде. Их особенности в накоплении металлов делают их интересными объектами исследований для проверки и моделирования экологических теорий эволюции и сукцессии растений, а также для изучения и моделирования процессов эволюции и сукцессии растений как в цикле питательных веществ и металлов [50].

Существование группировок макрофитов на прибойных участках с песчано-галечным и песчано-каменистым грунтами без защиты в виде зарослей тростника возможно лишь при наличии ряда определённых условий: 1) специфический рельеф дна, который может гасить или перераспределять волновую энергию; 2) наличие мощных прибрежных течений, идущих вдоль побережья и отсекающих большую часть волн от некоторых заливов; 3) биологические и анатомо-морфологические особенности растений, способствующие их регенерации после штормовых волнобоев [13].

Макрофиты во многих исследованиях используются как биоиндикаторы загрязнения [13]. Несколько видов и генотипов растений изучают на фиторемедиацию тяжелых металлов, но большинство этих видов показали отсутствие способности в удалении металлов из-за отсутствия достаточного количества белков-транспортёров и / или меньшей необходимости ионов металлов для их роста и развития. Специфичная группа растений идентифицирована для фиторемедиации тяжелых металлов, широко известная как гипераккумуляторы, которые имеют достаточно белков-переносчиков, и они более способны переносить влияние тяжелых металлов по сравнению с другими растениями [39]. Растения в сочетании с микробами играют значительную роль в цикле и удалении металлов путем мобилизации, поглощения, транслокации, секвестрации и хранения в разных частях организма. Металлы являются одними из тех элементов, которые наиболее распространены на Земле, но их биодоступность в донных отложениях является ключевой проблемой из-за низкой растворимости и сильной связывающей способности с частицами в отложениях. Растения вместе с микробами выделяют различные экссудаты

(сидерофоры, карбоксилаты, органические кислоты, протоны), чтобы улучшить микробную активность сидерофоров и мобилизацию нерастворимых металлов в водных отложениях. Эти экссудаты либо непосредственно превращают нерастворимые металлы в биодоступные формы или помогают микробному превращению сидерофоров нерастворимых металлов в биодоступные формы [39].

После мобилизации корни растений поглощают ионы незаменимых металлов из водного осадка и эти ионы могут храниться в корне или перемещаться через сосуды ксилемы. Транслокация ионов металлов из ксилемы корня происходит по двум основным маршрутам: апопластический и симпластический. В апопластическом пути, корень используется для перемещения ионов металлов по сосудам ксилемы. Этот путь связан с мертвыми клетками или сосудами, а транслокация ионов металлов происходит через пассивную диффузию в ксилему. В симпластическом пути, корень также используется для перемещения ионов металлов в ксилему. Однако по этому пути ионы металлов попадают в цитоплазму живых клеток через плазматическую мембрану благодаря осмосу, но не входят в вакуоль клетки [40].

1.2 Аквакультура

Рыбоводство или аквакультура (от лат. aqua – вода и cultura – возделывание, уход) – это разведение и (или) содержание и выращивание объектов аквакультуры (рыб, ракообразных, иглокожих, моллюсков, водорослей) в искусственно созданных условиях или естественной среде обитания, а также их выпуск в водные объекты рыбохозяйственного значения с целью изъятия или пополнения запасов водных биоресурсов, получения продукции аквакультуры и оказания рекреационных услуг [1].

Рыболовство и аквакультура вносят ключевой вклад в общемировое благосостояние и процветание. За последние пять десятилетий уровень глобального предложения пищевой рыбы превысил показатели прироста

населения мира, и в настоящее время рыба является важным источником калорийной пищи и животного белка для большей части жителей Земли [1].

В мировой практике различают несколько направлений аквакультуры, которые базируются на различных методах выращивания товарной рыбы: пастбищное, прудовое и индустриальное, отличающиеся между собой различным уровнем интенсификации рыбоводного процесса: экстенсивным, полуинтенсивным и интенсивным [2]. Как показывает практика, темп роста рыб, выращиваемых в поликультуре в водоеме, где использовали интегрированную технологию, был выше в среднем на 20% по сравнению с темпом роста рыб, выращиваемых по пастбищной технологии в аналогичных условиях в водоеме, который рассматривали в качестве контроля [4].

Садковые рыбные хозяйства могут стать одним из факторов формирования гидрохимического и гидробиологического режимов водоемов-охладителей [3]. Кормление рыбы, которая содержится в садках, искусственными кормами является основным фактором влияния садкового рыбного хозяйства на экологическую обстановку в водоеме. Но часть корма, которая не переходит в биомассу рыб (с дальнейшим изъятием из круговорота органического вещества в экосистеме) и в растворимые продукты, осаждается на дно, увеличивая содержание органических веществ в осадках и общий объем донных отложений [5]. Например, в Индии результаты показали, что корм включал: азот 97% (общий N), фосфор 98,7% (общий P) и 90% общего органического углерода (OC). Собранный урожай креветок составил 37% N, 10% P и 15% OC, соответственно. N, P и OC аккумуляровались в донных отложениях, их концентрация составила 52 %, 76 % и 65% соответственно. Биогенная нагрузка на сточные воды составила $2,22 \pm 0,66$ кг неорганического N, $0,40 \pm 0,15$ кг P, и $21,01 \pm 6,4$ кг OC на тонну производства креветок [4]. Таким образом, аквакультура может вносить значительный вклад в биогенную нагрузку водоемов.

1.3 Биогены

Проблема загрязнения пресноводных экосистем минеральным фосфором вследствие человеческой деятельности становится все более актуальной [13]. На основании экспериментов с модельными растворами солей азота и фосфора выяснили, что степень элиминирования биофильных элементов из их растворов зависит от вида макрофита и его биомассы, температуры и исходной концентрации загрязнителя. Установлено, что макрофиты практически не элиминировали биофильные элементы из растворов с концентрацией нитратов и аммония выше 100 мг/л, фосфатов выше 50 мг/л [14].

Азот, является важным питательным элементом для первичной продуктивности, имеет многочисленные функциональные и структурные роли в биомолекулах. Естественный цикл N в прибрежных донных отложениях в основном состоит из ассимиляционных и диссимиляционных биологических преобразований (нитрификация и денитрификация) микробами и археями. Биотическая окислительно-восстановительная трансформация (хемоденитрификация) и геохимические преобразования (выветривание горных пород, захоронение осадков и речная транспортировка) также добавляют N в круговорот, но их вклад ограничен по сравнению с биологическими превращениями. Нитрификация, такое аэробное окисление $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ до NO_2^- - а затем $\text{NO}_3^- - \text{N}$ и этот процесс опосредуется и контролируется специализированной группой микробов. В то время как денитрификация - это анаэробное восстановление $\text{NO}_3^- - \text{N}$ через NO_2^- , NO и N_2O до N_2 , связанное с окислением восстановленного углерода, восстановленного железа и восстановленных видов серы [29].

Значение N быстро возросло после современной сельскохозяйственной революции. Антропогенная деятельность и природные источники ежегодно вносят 190 и 240 тонн азота в год в окружающую среду, соответственно и из этих источников поступают 120 тонн азота в год в пресные и подземные водоемы [27]. Поступление N в воду вызывает эвтрофикацию и ухудшение водных экосистем, в

результате снижение уровня кислорода, исчезновения видов и изменения качество воды [27].

Азот очень важен для физиологических функций растений и формирования биомолекул. Все биомолекулы (аминокислоты, амиды, ферменты, нуклеиновые кислоты, гормоны), а также структурные и запасные белки содержат N [29]. Концентрация N всегда выше в тех тканях и органах, где осуществляются физиологические процессы (семена, листья и развивающиеся плоды). N поглощается как восстановленные NH_4^+ -N и NO_3 ионы в различные части растения, а также глутамин и другие аминокислоты. Среди большинства биомолекул, аминокислоты являются жизненно важными, потому что они соединены пептидными связями с образованием белков, которые выполняют каталитические, запасные и структурные функции. N также содержится в замещенных основаниях пиримидина и пурина, которые составляют нуклеотиды (АДФ, АМФ и АТФ), никотинамидные нуклеотиды (НАДФ и НАД) и нуклеиновые кислоты (ДНК, РНК). Алкалоиды и некоторые другие N-соединения распространены у многих видов растений, но они не имеют физиологических роли в организме растений [30].

Фосфор (P) — это неметалл семейства *p*-элементов, ближайший аналог азота. Известно большое число аллотропных модификаций фосфора, из которых наиболее известны — белый, красный и черный фосфор. Наибольшую химическую активность из аллотропных модификаций фосфора проявляет белый фосфор. Азот, N, в ПСЭ находится во 2-ом периоде, V-A группе [29]. Фосфор является вторым по важности питательным веществом, роли в метаболических, генетических, структурных и регуляторных биомолекул растения [32]. Глобальный цикл P отличается от цикла N, потому что P не существует в атмосфере из-за отсутствия устойчивых газообразных состояний. Круговорот P включает в себя в основном обмен элементов среди пород, почвы, воды, водных отложений и организмов. Выделение P из пород вместе с другими питательными веществами происходит в процессе выветривания, а затем он распределяется в почве и воде. В конечном счете, P и связанные с ним вещества попадают в

водную экосистему через сток. Есть две формы потока Р в пресный водоем: растворенные формы фосфора и макрочастицы. Растворенный Р легко доступен в водных экосистемах для поглощения водными растениями, микробами и другими бентосными организмами. В то время как частицы и органический Р образуется либо при микробных процессах и переходит в растворимые формы (H_2PO_4^- , HPO_4^{2-} и PO_4^{3-}) или храниться в водных отложениях [33].

Человек изменил этот естественный круговорот Р, включив несколько путей, в том числе: ускоренную эрозию и сток, населенные пункты и транспорт, рециркуляция органических отходов, сброс неочищенных сточных вод и применение неорганических удобрений и др. [34]. Поток Р в окружающую среду составляет около 50 Мт/год, что выше чем естественный поток [35]. Небольшая часть этого Р подвергается переработке и выращиванию биомассы, а остальное остается в почве или стоке в водоемы [36].

Внутренняя нагрузка Р вызывает значительные и многочисленные проблемы в водных экосистемах, такие как токсичное «цветение» водорослей и эвтрофикация, вызывающие ухудшение качества воды, исчезновение видов и накопление цианотоксинов [34].

Надводные макрофиты – важные компоненты гидроэкосистемы, также способны поглощать и накапливать в своей биомассе биогенные элементы. При высоких концентрациях азота и фосфора в гидроэкосистеме, макрофиты содержат более высокие концентрации этих элементов в своих тканях [36].

При исследовании стехиометрии С, Р, N в листьях макрофитов в различных условиях произрастания, стало известно, что уровень Р на аридных территориях ниже, чем в увлажненных, из этого сделали вывод, что Р является лимитирующим фактором, также стало известно, что уровень С зависит от рН, а температурные условия влияют на связь N и Р [17].

1.4. Металлы

Тяжелые металлы (ТМ) являются одними из самых токсичных химических веществ и накопление их в растениях - это глобальная проблема. ТМ проходят

через различные биогеохимические циклы и попадают в пищевую цепь, приводящую к биоаккумуляции и последующим биомодификациям. Элементы с атомным номером больше 20, высокой плотностью ($>5 \text{ г/см}^3$) и металлическими свойствами являются химически стойкими. Они имеют длительный биологический период полураспада по сравнению с другими ксенобиотиками, не являются биоразлагаемыми, токсичными и стойкими, поэтому имеют серьезные экологические последствия для экосистем [26]. К ТМ относится группа химических элементов, составляющих по массе более 40 атомных единиц, которые в оптимальных дозах имеют физиологическое значение для организмов (среди них - медь, кобальт, железо, цинк, молибден, марганец и др.) [52].

Металлы - это неорганические элементы, которые являются легкоплавкими, податливыми, пластичными, твердыми и блестящими с хорошей теплопроводностью и электрической проводимостью [39]. Согласно значимости для растений (Kabata-Pendias, 2011; Handbook of plant nutrition, 2015 цит. по Anishchenko et al., 2020) химические элементы могут быть разделены на две группы: эссенциальные (жизненно необходимые) и полезные (K, Ca, Mg, N, P, S, C, Mn, Fe, Cu, Zn, Mo, Ni, B, Br, Cl, F, I, Rb, Si, и Na, Al, Co, Ti, V) и неэссенциальные (не имеющие биологического значения или роль которых не ясна) (Pb, Cd, Tl, Be, Ba, Bi, Sn, Sb, Sr, Cr, Li).» [43]. С 1970-х годов, после промышленной революции, металлы стали широко распространенными и повсеместными в водной среде. Значительное количество ТМ переносится с земли в водные объекты через неочищенные бытовые и промышленные стоки и атмосферные осадки [43]. Обычно тяжелые металлы имеют сильные хемосорбционные свойства, способствующие их удержанию в донных отложениях. Металлы отличаются по своей биотоксичности, биодоступности, растворимости и подвижности, а также есть доля металлов, которые существуют в осажденных формах, недоступных для поглощения корнями растений [44]. Металлы, которые существуют в растворенных и обменных формах, являются наиболее фитодоступными формами. На биодоступность металлов влияет несколько факторов, включая кинетику комплексообразования металлов, их

растворимость в липидах, коэффициенты распределения октанол/вода, температура субстрата, адсорбция, секвестрация и фазовые ассоциации [45].

Космополитизм и высокая способность аккумулировать тяжелые металлы позволило зеленой водоросли *Ulva lactuca* стать ценным биоиндикатором по отношению к марганцу (Mn), железу (Fe), меди (Cu), цинку (Zn) и свинцу (Pb). Этот вид обеспечивает очень хорошее предупреждение об антропогенном загрязнении [17].

В донных отложениях ТМ существуют в различных химических видах, которые обычно проявляют различное поведение в отношении окружающей среды с точки зрения мобильности, биодоступности и потенциала токсичности [15].

В Антарктике были обнаружены повышенные уровни содержания ТМ, таких как медь (Cu), свинец (Pb) и ртуть (Hg). Помимо природных источников, таких как экскременты животных и вулканизм, сжигание топлива, случайные разливы нефти, сжигание отходов являются одними из основных источников загрязнения тяжелыми металлами в Антарктике [21].

Было показано, что ТМ в прибрежные подземные воды в основном попадали в результате антропогенной деятельности и засоления подземных вод. Относительно высокие концентрации As, Co, Cr, Cu, Fe, Mn и Ni могут указывать на то, что концентрации этих ТМ в неглубоком водоносном горизонте - территории исследования, может зависеть от засоления подземных вод [22].

Все растения имеют способность накапливать из воды металлы, которые необходимы для их роста и развития. К ним относятся целый ряд тяжелых металлов, таких как Fe, Mn, Zn, Cu, Mo и, вероятно, Ni [47]. Физико-химические факторы, такие как температура, pH, свет, соленость и присутствие других тяжелых металлов может повлиять на поглощение металла [46].

Влияние биомассы, pH, температуры и концентрации свинца были исследованы в высушенной биомассе водного папоротника *Azolla filiculoides*, используемого для удаления свинца из водного раствора. Результаты показали, что удаление свинца варьировалось от 30% начальной концентрации свинца при

pH 1,5 до приблизительно 95% при значениях pH 3,5 и 4,5. Таким образом, с увеличением pH увеличилось поглощение свинца растениями, в то же время снижалась концентрация свинца до 30% от начальной в растворе, если содержание свинца первоначально составляло более 400 мг/л. Что касается влияния температуры, удаление свинца осталось на уровне 90% при температуре от 10 до 50 °С, при этом биомасса (4–8 мг/л) мало влияла на удаление свинца [45].

Влияние температуры и солености на поглощение ТМ растениями была исследована на примере *Elodea canadensis* и *Potamogeton natans*. Результаты показали, что концентрации металлов увеличиваются с ростом температуры и уменьшением солености. Al, Cd и Pb имеют отрицательную корреляцию с pH у макрофитов. Исследование *Eichhornia* показали, что поглощение Cd зависит от времени и увеличивается в первые четыре часа, затем следует медленная фаза (72 ч). pH в диапазоне от 2 до 5 увеличивала поглощение, в то время как, при более высоком pH оно уменьшалось, и металлы конкурировали за место в клетках корней [52]. При различных первоначальных значениях водородного показателя наблюдалась разница в накоплении ионов Cr^{6+} водными макрофитами. Обнаружено, что у трех видов макрофитов (роголистник погруженный, наяда травинистая, элодея канадская) коэффициенты накопления ионов Cr^{6+} самые высокие при pH воды, равном 6, а самые низкие – pH = 12. Значение pH воды сильно влияет на способность водных макрофитов к накоплению ионов Cr^{6+} [49].

Глава 2 РАЙОН И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

2.1. Характеристика района исследования

Абаканская протока реки Енисей ($55^{\circ}59'$ с.ш., $92^{\circ}51'$ в.д.) расположена в центре г. Красноярска между островом Отдыха и правым берегом. В верхней части русло протоки перекрывает дамба, по которой проходит автомобильная дорога. Возле правого берега через дамбу проложены две трубы, обеспечивающие частичный пропуск воды между верхней и основной частями протоки (рис. 1).

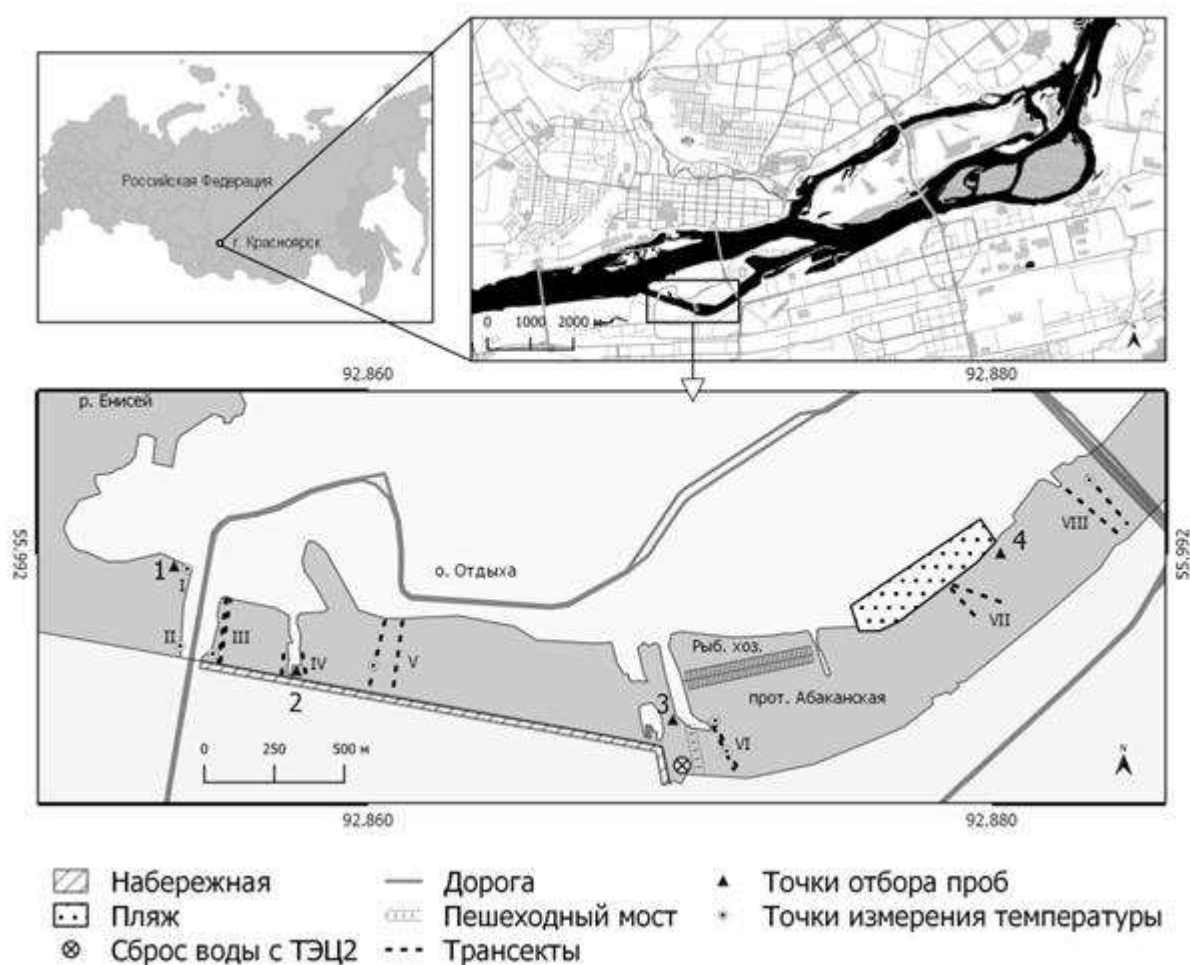


Рис. 1. Карта с точками станций на Абаканской протоке реки Енисей [52]

Ниже по течению в нескольких местах расположены искусственные насыпи, представляющие собой защитный слой грунта проходящих по дну протоки дюкеров. Возле одной из таких насыпей организовано рыборазводное

хозяйство и установлены садковые линии для выращивания и выдерживания рыбы.

В центральной части Абаканской протоки у правого берега через рассеивающий выпуск осуществляется сброс тёплой технологической воды ТЭЦ 2. Кроме того, в нескольких местах в протоку поступают городские ливневые стоки. Дно протоки сложено каменисто-галечными грунтами. Из-за сброса глубинных вод Красноярского водохранилища, расположенного в 35 км выше по течению, протока подвержена периодическим колебаниям уровня. Летом прибрежная зона интенсивно используется населением в рекреационных целях [52].

Пробы воды и макрофитов отбирали в режиме ежемесячных биосъемок в мае-сентябре 2019 года на 4 станциях со стороны острова. В августе добавили еще одну станцию 3а.

станция 1 - вход или фоновая станция, располагается на реке Енисей в начале Абаканской протоки, 500 м выше дамбы, перекрывшей протоку, высшей водной растительности практически нет;

станция 2 – расположена ниже по течению за дамбой, но выше, чем садковое хозяйство и также считается фоновым участком, но с замедленным течением, высшая водная растительность слабо развита;

станция 3 – расположена по течению ниже на 500 м станции 2, в районе выброса теплых вод с ТЭЦ 2, макрофиты присутствуют;

станция 3а – находится на другой стороне насыпи от станции 3, там расположено садковое хозяйство, макрофиты присутствуют;

станция 4 - выход или экспериментальный участок, расположена дальше по течению, около 500 м ниже садкового хозяйства, в районе городского пляжа, макрофиты присутствуют.

В течение 2019 года такие основные характеристики, как температура, рН и кислород значительно варьировали (табл. 1). Пределы колебаний температуры воды в августе на 3 и 4 станциях отмечены несколько выше, чем в остальные месяцы, также, это наблюдается и на станции 1. В целом, температура воды на

станциях 3 и 4 была достоверно выше, чем на ст. 1, при это наблюдалось увеличение среднего фонового значения (ст. 1) более чем на 5 °С, что превышает установленный норматив для рыбохозяйственных водоемов, изложенный в [55]. Температура воды на первой станции практически не отличалась от станции 2.

Таблица 1. - Основные гидрофизические и гидрохимические характеристики воды Абаканской протоки, май-август 2019 г.

Дата/Показатели	№ станции	Температура, °С	pH	Кислород, O ₂ мг/л
28.05.2019	1	9,5	8,4	11,4
	2	9,5	8,5	9,3
	3	21,8	8,2	10,2
	4	19,0	9,0	10,9
27.06.2019	1	15,6	8,4	11,1
	2	17,7	8,3	10,4
	3	25	8,3	9,8
	4	26,1	8,7	12,1
23.07.2019	1	12,9	8,3	11,1
	2	14,7	8,0	8,7
	3	21,1	8,5	9,4
	4	22,3	8,6	10,3
27.08.2019	1	16,1	8,2	10,0
	2	15,2	7,8	7,6
	3	24,8	8,0	7,6
	3А	24,5	8,0	9,4
	4	23,4	9,4	18
10.09.2019	1	11,7	7,9	
	2	12,2	7,8	
	3	18,8	7,8	
	3А	19,0	7,9	
	4	17,9	8,6	
1.11.2019	1	6,9	7,4	8,2
	2	7,1	7,7	6,8
	3	14,4	7,8	8,0
	3А	10,3	7,9	7,2
	4	13,2	7,6	7,1
15.11.2019	1	2,1	7,7	6,1
	2	3,8	7,4	6,1
	3	10,8	7,4	12,6
	3А	7,7	7,4	12,8
	4	10,5	7,4	12

Величина рН воды – один из важнейших показателей качества вод и имеет большое значение для химических и биологических процессов. В целом значение рН варьирует в пределах от 7-8, но можно отметить высокое значение рН на 4 станции в мае и августе, которое достигала 9 и выше.

Содержание кислорода в ходе вегетационного периода варьировало, небольшой скачок O_2 с 10,9 до 12,1 мг/л наблюдался на станции 4, далее эта величина уменьшалась в июле и составила 10,3, а в августе наблюдался большой скачок и содержание кислорода составляло 18 мг/л (см. табл. 1). Такая же динамика отмечена и для рН на станции 3. На 1 станции особых различий между месяцами не наблюдается, 1 ноября, когда выпал снег, содержание кислорода составляло 8,2 мг/л, а 15 ноября значение снизилось до 6,1 мг/л.

2.2. Методы исследований

2.2.1. Полевые методы

В течение вегетационного периода на каждой станции были отобраны пробы макрофитов в трёх повторностях. Сбор высших водных растений проводили методом укусов фитомассы с корнями с учетных площадок с помощью рамки размером 30x30 см [54].

На каждой станции были отобраны пробы воды для гидрохимического анализа. Температуру воды измеряли электронным термометром Long-Stem Thermometer, F/C, 8 (Cole-Parmer, США), содержание растворенного кислорода – кислородомером HI 9142 (Hanna Instruments, США), рН – с помощью лабораторного рН-метра PB-11 (Sartorius, Германия). Также отбор проб воды проводился 01.11.2019 и 15.11.2019 для оценки вторичного загрязнения химическими элементами после разложения биомассы макрофитов [52].

Скорости течений (восточная и северная компонента) и профили дна были измерены с помощью ADCP профайлера (614.4 кГц) WorkHorse Sentinel 600 (RDI Equipment, США). Измерение осуществляли с поверхности воды. Устройство располагалось на буксируемом плоту в вертикальном положении [52].

Натурные измерения гидрофизических параметров Абаканской протоки р. Енисей были выполнены в период 25.07.2019 – 01.08.2019 на двух стационарных станциях I, II и шести трансектах III, IV, V, VI, VII, VIII, представленных на рисунке 1 и в таблице 2.

Таблица 2. Скорость течения (среднее \pm ошибка) на 6 трансектах и 2 станциях (25.07 – 1.08.2019) Абаканской протоки р. Енисей.

Трансекта/ участок	Средняя глубина (м)	Скорость течения независимо от направления (мм/с)
I	1.9	483.9 \pm 20.8
II	1.4	463.3 \pm 20.9
III	2.3	551.4 \pm 27.6
IV	1.8	356.9 \pm 51.1
V	2.7	457.1 \pm 21.1
VI	2.1	416.4 \pm 21.7
VII	1.0	536.8 \pm 45.7
VIII	1.3	480 \pm 32.2

Измеренные средние скорости течений (независимо от направлений), представленные в таблице 2, находились в диапазоне 360 – 550 мм/с и не имели достоверных отличий между трансектами и станциями ($F = 1.84$, $p < 0.075$).

2.2.2. Лабораторные методы

Пробы воды для гидрохимических анализов фильтровали через планктонный газ с размером ячеек около 100 мкм. Содержание биогенных элементов определяли по общепринятым методикам: аммонийный азот – по методу Несслера с использованием светофильтра 440 нм [53]; массовую концентрацию нитритов определяли в соответствии с [24] фотометрическим методом, основанным на способности первичных ароматических аминов, в частности сульфаниловой кислоты, давать в присутствии азотистой кислоты диазосоединение, которое, вступая в реакцию азосочетания с 1-нафтиламином, образует интенсивно окрашенный азоокраситель. Максимум оптической плотности

в спектре азокрасителя наблюдается при 520 нм. Предел обнаружения нитритного азота фотометрическим методом равен 0,002 мг/дм³.

Массовая концентрация нитратного азота в пробах определялась в соответствии с [23] фотометрическим методом, основанным на восстановлении нитратов металлическим кадмием до нитритов с последующим определением концентрации образующихся нитритов с реактивом Грисса. Максимум оптической плотности регистрировали при 520 нм.

Массовая концентрация фосфатов и полифосфатов в воде определяли согласно [25] фотометрическим методом, основанным на взаимодействии фосфатов с молибдатом аммония в кислой среде с образованием молибдофосфорной гетерополикислоты, которая затем восстанавливается аскорбиновой кислотой в присутствии антимонилтартрата калия до интенсивно окрашенной молибденовой сини. Максимум оптической плотности образовавшегося соединения регистрировали при 882 нм.

Для определения содержания металлов и биогенов в макрофитах пробы были разделены по видам растений: *Spirogyra sp.*, *Elodea canadensis*, *Myriophyllum verticillatum*, *Ceratophyllum demersum*, *Potamogeton perfoliatus*. В лаборатории растения тщательно промывали дистиллированной водой и обсушивали на фильтровальной бумаге. Для определения влажности взвешивали сырые образцы, затем пробы держали в сушильном шкафу сутки при температуре 105 °С, далее определяли их сухую массу. Сухие образцы измельчались с помощью лабораторной мельницы, при необходимости гомогенизировались дополнительно в агатовой ступке и высушивались до постоянной массы при 105 °С. Далее 0,2 г каждого образца помещали в контейнеры из фторопласта, добавляли 7 мл азотной кислоты и проводили минерализацию в микроволновой печи «МС-6» (ООО «Вольта», Санкт-Петербург), принцип работы которой следующий: одновременное воздействие микроволнового нагрева и химического реагента, находящегося вместе с образцом внутри герметичного контейнера, помещенного в камеру печи, обеспечивают быстрое разложение образца и возможность последующего его анализа. Процесс разложения образца проходил в два этапа

при разной температуре и давлении: 1) $t - 150^{\circ}\text{C}$, $P - 15$ атм; 2) $t - 180^{\circ}\text{C}$, $P - 20$ атм.

Пробы коммерческих рыбных кормов были измельчены с помощью электрической мельницы и высушены в сушильном шкафу до постоянного веса при 105°C . Навески каждой пробы по 0,2 г помещали в стеклянные термоустойчивые стаканы объемом 100 мл и минерализовали методом мокрого сжигания в смеси азотной и хлорной кислот (1:1) на лабораторной электроплите. Определение содержания элементов (Al, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, K, Mn, Mg, Na, Ni, Pb, Sr, Sb, Tl, Ti, V, Zn) в исследуемых образцах растений и в рыбных кормах проводили с помощью эмиссионного спектрометра с индуктивно-связанной плазмой iCAP 6300 Duo (Thermo Scientific, Англия) [16]. Пределы обнаружения элементов методом ИСП-спектрометрии приведены в таблице 3.

Для анализа на содержание азота и углерода в растительных образцах и рыбных кормах брали навески массой 10 мг. Определение содержания азота и углерода производили на элементном анализаторе Flash 2000 NC Soil Analyzer (Thermo Fisher Scientific, Германия). Принцип работы данного прибора заключается в высокотемпературном сжигании пробы в окислительном реакторе, с последующим восстановлением продуктов окисления и разделения газовой смеси на хроматографической колонке. Проба в оловянном контейнере поступает в окислительный реактор, где сгорает при 900°C в атмосфере кислорода. Материал контейнера (олово) служит в качестве катализатора процесса окисления. Продукты окисления с помощью газа-носителя (гелия) поступают в восстановительный кварцевый реактор ($t 680^{\circ}\text{C}$), заполненный восстановленной медью. Затем смесь образовавшихся газов CO_2 и N_2 осушается, проходя через ловушку для паров воды, заполненную перхлоратом магния, и разделение газов происходит на газохроматографической колонке. Детектором является катарометр. Площадь пика газа на хроматограмме зависит от концентрации данного элемента в пробе. Калибровку выполняли перед каждой серией анализов по трем значениям стандартного образца.

Таблица 3. Предел обнаружения (мг/л) ИСП-спектрометрии для воды, макрофитов и рыбных кормов.

Элемент	λ , nm	Вода	Макрофиты	Корма
Al	396.152	0.0002	-	0.0002
	394.401	-	0.01	-
As	189.042	0.001	0.001	0.001
B	249.678	0.0003	0.0003	-
Ba	455.403	0.000006	0.000006	0.000007
Ca	317.933	0.004	0.002	0.003
Cd	214.438	0.00009	-	0.0001
	228.802	-	0.0003	-
Co	228.616	0.0002	0.0002	0.0002
Cr	267.716	0.0002	0.0002	0.0002
Cu	324.754	0.0001	0.00009	0.0001
Fe	259.940	-	0.002	0.0001
	271.441	-	-	-
	238.204	0.0001	-	-
Ga	417.206	0.0004	-	0.0004
K	769.896	0.03	0.02	0.03
Li	670.784	0.000005	0.000004	0.000005
Mg	279.079	0.04	0.03	0.03
Mn	257.610	0.00003	0.0004	0.00003
Mo	202.030	0.0003	0.0004	0.0003
Na	589.592	0.005	0.003	0.004
Ni	231.604	0.0005	0.0005	0.0005
P	213.618	0.002	-	0.03
	214.914	-	0.02	-
Pb	220.353	0.001	0.001	0.001
S	180.731	-	0.3	-
	182.034	0.6	-	0.4
Sb	206.833	0.0009	-	0.003
Sr	421.552	0.000005	0.00007	0.0008
Ti	334.941	-	-	-
	337.280	0.00008	-	-
Tl	190.856	0.0009	-	0.0009
V	268.796	0.0002	-	0.0002
	292.402	-	0.0001	-
Zn	213.856	0.0001	0.0001	0.0001

Статистическая обработка данных проводилась с помощью программного обеспечения PAST (Paleontological Statistics). Достоверные различия были

рассчитаны однофакторным дисперсионным анализом и тестом Тьюки. Для проверки на нормальное распределение, данные были прологарифмированы и проверены с помощью критерия Шапиро-Уилка, большинство данных распределялось нормально. Также, для определения достоверных различий в содержании элементов в макрофитах использовался дискриминантный анализ.

Обсуждение

Для понимания места и роли элементов в воде и высших водных растениях необходимо сравнить собственные результаты с литературными. Содержание химических элементов в воде Абаканской протоки, в целом, не превышало значений ПДК [55]. Мы сравнили наши данные по содержанию макро- и микроэлементов с другими исследованиями, например, в 2011-2012 гг. производился отбор проб воды в бассейне р. Букукун, расположенной в Забайкальском крае, на территории которого, производится добыча цветных металлов [69]. Данные по составу воды показали, что содержание NH_4 и NO_3 было аналогично нашим результатам, а содержание NO_2 также было одинаковым за исключением станции 4, здесь наши показатели превысили как минимум в 3 раза. При сравнении с другими макроэлементами особых различий не обнаружено, за исключением содержания Са в воде Абаканской протоки, величина этого элемента была больше в 2,5 раза. По содержанию тяжелых металлов различий не обнаружено, за исключением нескольких элементов. В нашем исследовании высокие концентрации имели Mn, Fe, Co, Zn (в 4 раза), Sr (в 20 раз), Mo, но содержание Pb по нашим данным было в 2 раза меньше.

В 2005-2007 гг. проводилось исследование по содержанию металлов в воде р. Енисей выше г. Красноярска (условно-фоновый участок) [72]. При сравнении с нашими данными выявились отличия практически по всем элементам. Так, например, концентрации Ca, Mg, Fe, Mn, Cr, Pb в воде Абаканской протоки были выше, а содержание Pb превышало в 4 раза (табл.16). Концентрации K, Na, Zn, Cr наоборот, в протоке были ниже, а содержание Zn в р. Енисей превышало в 2 раза, а Cr в 6 раз результаты, полученные по гидрохимическому составу воды протоки. По содержанию Cu и Co отличий не имели, и авторы исследования также отмечают превышение в реке содержания меди ПДК для рыбохозяйственных водоемов [72].

Таблица 16. - Валовое содержание металлов в воде р. Енисей, мг/л [72]

K	Na	Ca	Mg	Fe	Cu	Zn	Mn	Cr	Ni	Pb	Co
0,64±0, 02	2,66±0, 13	21,49± 1,45	3,41± 0,32	0,081± 0,02	0,004± 0,002	0,012± 0,002	0,007± 0,002	0,003± 0,002	0,0053± 0,00014	0,00014 ± 0,00005	0,00015 ± 0,00008

2003-2012 гг. на реке Енисей проводили исследования по оценке видовой разнообразия макрофитов на среднем участке р. Енисей [71]. На данном участке встречаются все виды, произрастающие в Абаканской протоке. Мы предположили, что в Абаканской протоке растет уруть сибирская, но в р. Енисей, ниже по течению, обнаружен другой вид – уруть колосистая. Также, на среднем участке реки Енисей найдено 11 видов рдеста, на Абаканской протоке обнаружено только 2 вида – рдест гребенчатый и рдест пронзеннолистный. Все виды макрофитов, встречающиеся на протоке, произрастали в протоках и заводях реки Енисей.

Так как накопление фосфора в водоемах наиболее часто приводит к их эвтрофированию и загрязнению, то можно сравнить наши данные с результатами, полученными в 2003-2004 гг. в водоёмах и водотоках, находящихся в пределах городской черты г. Киева. Существенное влияние на качество воды указанных водных объектов оказывают промышленные и хозяйственно-бытовые сточные воды, атмосферные осадки, а также сток с городской территории. В растениях киевских водоемов содержание фосфора колебалось от 0,10 до 0,58 %, при этом, максимальное значение было отмечено для элодеи [60].

Литературные данные [60] свидетельствуют о том, что уровни накопления фосфора в тканях макрофитов, как правило, в несколько раз ниже, чем азота. Наше исследование подтвердило этот факт. В водоемах Киева содержание азота в макрофитах было в пределах 1,24-7,46%, причем максимальное значение отмечено у *Potamogeton perfoliatus*.

Данные по максимальным значениям других химических элементов у спирогиры отмечается в других исследованиях. Например, в мелководной зоне Лиственничного залива (Южный Байкал) проводились исследования по биоиндикации макроводорослей. Авторы исследования отмечают, что спирогира значительно превосходит другие водоросли по содержанию натрия и ряду

микроэлементов. Также, наблюдалась особенность спирогиры в высокой концентрации Ва, не характерного для пресноводных и морских организмов [62]. В наших результатах тоже отмечены эти факты.

Данные по химическому составу роголистника погруженного из исследований на реке Кизань в 2010 году [63]. Исследовалось содержание тяжелых металлов Mn, Co, Cu, Zn, и результаты показали, что наибольшие концентрации наблюдались у данного вида растения, но по нашим результатам содержание этих металлов было выше в несколько раз, за исключением концентрации Co (23,4 мг/кг).

При изучении чувствительности и способности элодеи канадской к накоплению ионов тяжелых металлов [73] было показано, что данный вид в наибольшей степени поглощает из растворов ионы Mg (98,4%) и Co (90%). Авторы предлагают использовать элодею канадскую как фитосорбент для очистки водной среды от ионов магния и кобальта. Если сравнивать с нашими данными, то концентрация ионов этих металлов была минимальной у данного вида макрофита, в сравнении с другими видами.

При рассмотрении концентраций макро- и микроэлементов по видам растений, результаты показали, что роголистник и спирогира аккумулировали наибольшие концентрации. В работе [68] показана хорошая способность роголистника к выведению загрязняющих веществ из сточных вод до нормативных значений. В исследовании [69] рдесты характеризуют как активные аккумуляторы тяжелых металлов и рекомендуют в качестве основного объекта для проведения мониторинга экологического состояния Волгоградского водохранилища.

Таким образом, макрофиты по видовому составу являлись типичными для данного водоема. Больше всего таксонов отмечено на станциях 3 и 4. Встречаемые виды растений являются биоиндикаторами загрязнения тяжелыми металлами, биогенами и эвтрофирования водоема. Общая биомасса высшей водной растительности возрастала к середине сезона, затем происходило снижение биомассы.

В воде Абаканской протоки содержание химических элементов в целом не превышало допустимых концентраций, за исключением Cu. Максимумы концентраций металлов отмечены на станциях 1, 3 и 4. Наличие вторичного загрязнения осенью, после отмирания и трансформации высшей водной растительности, не подтвердилось, вероятно, из-за выкашивания макрофитов в августе-сентябре и увеличения уровня воды в результате сброса вод Красноярской ГЭС.

Содержание фосфора в макрофитах изменялось от 0,15 до 0,30 %. Максимальное значение отмечено у элодеи канадской, что подтверждается другими исследованиями. Концентрация азота была в пределах 2,3-3,91%, и также, максимальное содержание наблюдалось у элодеи канадской. В других исследованиях отмечают, что элодея канадская имеет способность к быстрому разрастанию, вытесняя другие виды, также, биогенные элементы, а частности фосфор благоприятно влияют на развитие биомассы и продуктивности данного вида [66, 67]. Наибольшее значение содержания углерода отмечено у роголистника погруженного, которое составляло 37,94 %. При рассмотрении содержания биогенов на станциях результаты показали, что наибольшие значения отмечены у растений со станций 3 и 4. Это может быть следствием размещения на станции 3 рыбного хозяйства и антропогенного воздействия на обе станции. Об этом можно судить по результатам анализа коммерческого рыбного корма, в котором содержание биогенов превышало их содержание в макрофитах.

Результаты по содержанию макро- и микроэлементов растениях указывают на химическое загрязнение станций 3 и 4. В целом, можно сделать вывод, что главный фактор, влияющий на загрязнение и эвтрофирование этих станций - антропогенная нагрузка, проявляющаяся во влиянии расположенных выше по течению ливневой канализации и садкового рыбного хозяйства. Кроме того, важным фактором является переход от лотической (речной) к лентической (озерной) экосистеме из-за отсутствия проточности в результате сооружения дамбы и снижения пропускающей способности ее дренажных труб. Все эти

факторы привели к массовому разрастанию высшей водной растительности по всей акватории протоки, что резко снизило ее рекреационную ценность.

ВЫВОДЫ

1. Содержание большинства химических элементов в воде в целом не превышало допустимых концентраций для рыбохозяйственных водоёмов за исключением Cu. Содержание ряда элементов (Ca, Cu, Li, Mg, Mn, Sr) и нитритов в воде станций, подверженных влиянию антропогенных факторов, было достоверно выше, чем на условно фоновой станции.

2. Макрофиты в Абаканской протоке были представлены 6 видами высших водных растений (типичных гидрофитов), широко распространенных в реке Енисей, а также нитчатой донной водорослью *Spirogyra* sp. Число видов и биомасса водных растений повышались на станциях, расположенных ниже условно фоновой. Макрофиты формировали плавающие в центральной части протоки растительные маты, которые значительно ухудшали ее рекреационные характеристики.

3. Виды макрофитов Абаканской протоки являются индикаторами эвтрофирования и загрязнения воды, в том числе тяжелыми металлами.

4. Содержание P, Ba, Ca, Cr, Cu, Li, Pb и Zn в рдесте пронзеннолистном и Al, B, Ba, Ca, Cr, Cu, Fe, Li, Na, Ni, Pb, Sr, V в элодее канадской, Ba, Ca, Cu, K, Na, Ni, Pb, Sr, Zn в урути сибирской на станциях, подверженных влиянию антропогенных факторов, достоверно превышало содержание этих элементов в растениях фоновой станции.

5. С помощью дискриминантного анализа установлено, что элементный состав спирогиры значительно отличался от высших водных растений. Шелковник волосолистный и роголистник погруженный отличались по элементному составу от других макрофитов Абаканской протоки р. Енисей.

6. Корма, используемые рыбными хозяйствами для выращивания товарной рыбы, могут быть источником поступления биогенов и других элементов, включая металлы, в водоток.

Список литературы

1. Федеральное агентство по рыболовству «Аквакультура» <http://fish.gov.ru/otraslevaya-deyatelnost/akvakultura> (дата обращения 10.12.2018г).
2. Департамент рыболовства и аквакультуры ФАО. Состояние мирового рыболовства и аквакультуры // Продовольственная и сельскохозяйственная организация объединенных наций, Рим, 2012. 3 с.
3. Старко Н. В. Влияние садковых рыбных хозяйств на макрозообентос водоемов-охладителей // Рыбохозяйственная наука Украины, Украинский НИИ экологических проблем, Харьков, 2011. 54-55 с.
4. Adhikari S., Sahu B. C., Mahaparta A. S., Dey L. Nutrient Budgets and Effluent Characteristics in Giant Freshwater Prawn (*Macrobrachium rosenbergii*) Culture Ponds // Bull Environ Contam Toxicol. New York, 2014. 509 с.
5. Козлова Т. В., Козлов А. И., Бубырь И. В., Райлян Н. М. , Махнюк Е.Н.. Естественная кормовая база рыб в пастбищной и интегрированной аквакультуре // Полесский государственный университет, Пинск, 2015. 105 с.
6. Распопов И. М. О некоторых понятиях гидробиологии // Гидробиол. журн. 1978. Вып. 14. № 3. С. 20—26.
7. Распопов И. М. Макрофиты, высшие водные растения (основные понятия) // Первая Всес. конф. по высш. водным и прибрежно-водным растениям: Тез. докл. Борок, 1977. С. 91—94.
8. Ламперт К. Жизнь пресных вод. СПб, 1900. 917 с.
9. Шенников А. П. Экология растений. М.: Сов. наука, 1950. 374 с.
10. Томилина Т. Б. Растительность зоны временного затопления Рыбинского водохранилища в районе биостанции «Борок»: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Л.: Изд-во ЛГУ, 1961. 17 с.
11. Jeppesen, E., Sondergaard, M., Sondergaard, M., Christofferson, K. (Eds.), The Structuring Role of Submerged Macrophytes in Lakes // Springer 2012, Vol. 131.

12. Ryan, S., McLoughlin, P., O'Donovan, O. A comprehensive study of metal distribution in three main classes of seaweed // *Environ. Pollut.* 167, 2012, С.171–177.
13. Морозова О. В. Полифосфат-аккумулирующие бактерии экспериментальных водоемов в условиях нагрузок по биогенам // *Электронный научный журнал «apriori. серия: естественные и технические науки»*, № 1, 2014. 2 с.
14. Храпцова Т. Г., Жданова Г. О. Элиминирование макрофитами биогенов из модельных растворов // *Известия Иркутского государственного Университета*, Т. 12, 2015. 73 с.
15. Литвинова Т. Н., Выскубова Н. К. и Л. В. Ненашева. Биогенные элементы. Комплексные соединения // *Феникс*, 2009. 56, 71 с.
16. Иванова Е. А., Анищенко О. В., Зуев И. В. и А. П. Аврамов. Содержание металлов в *Phragmites australis* trin. Ex steud и *Potamogeton pectinatus* L. из водоемов разной минерализации // *Journal of Siberian Federal University. Biology* 3 (2015 8) 347-361. С. 347-360.
17. Gong X., Xu Z., Lu W., Tian Y., Liu Y., Wang Z., Dai C., Zhao J. и Z. Li. Spatial Patterns of Leaf Carbon, Nitrogen, and Phosphorus Stoichiometry of Aquatic Macrophytes in the Arid Zone of Northwestern China // *Frontiers in plant science*, 2018.
18. Farias D., Hurd C. L., Eriksen R. S. и Macleod C. K. Macrophytes as bioindicators of heavy metal pollution in estuarine and coastal environments // *Marine pollution Bulletin*, 2018, №128. 175 p.
19. Guan J., Wang J., Pan H., Yang C, Qu J., Lu N. и X. Yuan. Heavy metals in Yinma River sediment in a major Phaeozems zone, Northeast China: Distribution, chemical fraction, contamination assessment and source apportionment // *Scientific reports*, 2018. 4 p.
20. Al-Senani G. M., Al-Fawzan F. F. Adsorption study of heavy metal ions from aqueous solution by nanoparticle of wild herbs // *The Egyptian Journal of Aquatic Research*, 2018, Volume 44, Issue 3. 187 p.

21. Chu W., Dang N., Kok Y., Yap K., Phang S, Convey P. Heavy metal pollution in Antarctica and its potential impacts on algae // Polar Science, Available online 17, October 2018. 167 p.
22. Wen X, Lu J., Lin Y, Luo Y. Influence of coastal groundwater salinization on the distribution and risks of heavy metals // Science of The Total Environment Volume 652, 20 February 2019. 267 p.
23. РД 52.24.380-2006 «Массовая концентрация нитратов в водах. Методика выполнения измерений массовой концентрации нитратов в водах фотометрическим методом с реактивом Грисса после восстановления в кадмиевом редукторе. Разработан федеральным государственным бюджетным учреждением «Гидрохимический институт» (ФГБУ «ГХИ»). Введён в действие приказом Росгидромета от 10.01.2018 № 1. Ростов-на-Дону, 2017.
24. РД 52.24.381-2006 Массовая концентрация нитритов в водах. методика выполнения измерений фотометрическим методом с реактивом Грисса. Разработан ГУ «Гидрохимический институт». Аттестован ГУ «Гидрохимический институт», свидетельство об аттестации № 32.24-2005 от 30 августа 2005 г. Ростов-на-Дону, 2006.
25. РД 52.24.382-95 «Методические указания. Методика выполнения измерений массовой концентрации фосфатов и полифосфатов в водах фотометрическим методом. Разработан ГУ «Гидрохимический институт». Свидетельство об аттестации МВИ Выдано метрологической службой ГУ «Гидрохимический институт» 15.02.2005 г. N 33.24-2005 г. Ростов-на-Дону, 2006.
26. T.V. Ramachandra, P.B. Sudarshan, M.K. Mahesh, Vinay S. Spatial patterns of heavy metal accumulation in sediments and macrophytes of Bellandur wetland, Bangalore // Journal of Environmental Management 206 (2018). p. 1204.
27. Vymazal, J., 2007. Removal of nutrients in various types of constructed wetlands // Sci. Total Environ. 380, P. 48–65.
28. Smith, V.H., Schindler, D.W., 2009. Eutrophication science: where do we go from here? // Trends Ecol. Evol. 24, P. 201–207.

29. Paranychianakis, N.V., Tsiknia, M., Kalogerakis, N., 2016. Pathways regulating the removal of nitrogen in planted and unplanted subsurface flow constructed wetlands // *Water Res.* 102, P. 321–329.
30. Xie, Z., Zhou, C., Shah, F., Iqbal, A., Ni, G., 2018b. The role of Chinese Milk Vetch as cover crop in complex soil nitrogen dynamics in rice rotation system of South China // *Sci. Rep.* 8, 12061p.
31. Pallardy, S.G., 2008. Chapter 9-Nitrogen metabolism. In: Pallardy, S.G. (Ed.) // *Physiology of Woody Plants*, third ed. Academic Press, San Diego, P. 233–254.
32. West, M., Fenner, N., Gough, R., Freeman, C., 2017. Evaluation of algal bloom mitigation and nutrient removal in floating constructed wetlands with different macrophyte species // *Ecol. Eng.* 108, P. 581–588.
33. Wetzel, R.G., 1999. Organic phosphorus mineralization in soils and sediments. In: Reddy, K.R., O'Connor, G.A., Schelske, C.L. (Eds.), *Phosphorus Biogeochemistry in Subtropical Ecosystems* // Lewis, London, pp. 225–245.
34. Daneshgar, S., Callegari, A., Capodaglio, A., Vaccari, D., 2018. The potential phosphorus crisis: resource conservation and possible escape technologies: a review // *Resources* 7 (3), 7020037.
35. Hermann, L., Kraus, F., Hermann, R., 2018. Phosphorus processing—potentials for higher efficiency // *Sustainability* 10, 1482.
36. Villa, P., Pinaridi, M., Toth, V.R., Hunter, P.D., Bolpagni, R., Bresciani, M., 2017. Remote sensing of macrophyte morphological traits: implications for the management of shallow lakes // *J. Limnol.* 76 (s1), 109–126.
37. Rejmankova, E., 2011. The role of macrophytes in wetland ecosystems // *J. Ecol. Environ.* 34, 333–345.
38. Shahid, M., 2017. *Biogeochemical Behaviour of Heavy Metals in Soil-Plant System* // Higher education commission of Pakistan, Islamabad.
39. Verbruggen, N., Hermans, C., Schat, H., 2009. Molecular mechanisms of metal hyperaccumulation in plants // *New Phytol.* 181, 759–776.
40. Anand, S., Bharti, S.K., Dviwedi, N., Barman, S.C., Kumar, N., 2017. Macrophytes for the reclamation of degraded waterbodies with potential for

- bioenergy production. // *Phytoremediation Potential of Bioenergy Plants*. Springer, Singapore, pp. 333–351.
41. Morkunas, I., Wozniak, A., Mai, V.C., Rucinska-Sobkowiak, R., Jeandet, P., 2018. The role of heavy metals in plant response to biotic stress // *Molecules* 23, 2320.
 42. Anishchenko O.V., Tolomeev A.P., Ivanova E.A., Drobotov A.V., Kolmakova A.A., Zuev I.V., Gribovskaya I.V. Accumulation of elements by submerged (*Stuckenia pectinata* (L.) Börner) and emergent (*Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud.) macrophytes under different salinity levels // *Plant Physiology and Biochemistry*. 2020. V.
 43. Hu, J., Zhou, S., Wu, P., Qu, K., 2017. Assessment of the distribution, bioavailability and ecological risks of heavy metals in the lake water and surface sediments of the Caohai plateau wetland, China // *PLoS One* 12 p..
 44. Brankovic, S., Glisic, R., Topuzovic, M., Marin, M., 2015. Uptake of seven metals by two macrophytes species: potential for phytoaccumulation and phytoremediation // *Chem. Ecol.* 31, 583–593.
 45. Rai P. K. Heavy Metal Phytoremediation from Aquatic Ecosystems with Special Reference to Macrophytes // *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 39:697–753, 2009
 46. Baker, A.J.M., and Brooks, R.R. (1989). Terrestrial higher plants which hyperaccumulate metallic elements: a review of their distribution, ecology and phytochemistry // *Biorecovery*, 1, 81–126.
 47. Chung, I.H., and Jeng, S.S. (1974). Heavy metal pollution of Ta-Tu River // *Bull. Inst. Zool. Acad. Sin.*, 13, 69–73.
 48. Fostner, U., and Whittman, G.T.W. (1979). Metal pollution in the aquatic environment // Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 486 pp.
 49. Чан Хоан Куок М. Ю. Накопление ионов хрома (Cr⁶⁺) водными макрофитами при различных значениях водородного показателя // Астраханский государственный технический университет. 4 (37) Год: 2011 Страницы: 47-53.

50. Fritioff A, Kautsky L, Greger M (2005) Influence of temperature and salinity on heavy metal uptake by submersed plants // Environ Pollut 133:265–27.
51. Джура В. С., Мшкова А. А., Каримова А. З., Р. С. Евдокимова. Распределение токсических и эссенциальных элементов в системе почва – растение на примере *Cichorium inthybus* L. // Известия Оренбургского государственного аграрного университета, 4(42), 2013. С. 214.
52. Отчет о научно-исследовательской работе по теме Оценка экологического состояния Абаканской протоки реки Енисей в г. Красноярске, определение предпосылок его ухудшения и выработка рекомендаций по его улучшению // Министерство науки и высшего образования Российской Федерации Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный исследовательский центр «Красноярский научный центр сибирского отделения российской академии наук» Институт биофизики со ран – обособленное подразделение ФИЦ КНЦ СО РАН, Красноярск, 2019.
53. ГОСТ 33045-2014. Межгосударственный стандарт. Вода. Методы определения азотсодержащих веществ. М.: Стандартинформ. 2015. - 20 с
54. Катанская В. М. Высшая водная растительность континентальных водоемов СССР - Л.: Наука, 1981. – 187 с.
55. Приказ Министерства сельского хозяйства РФ от 13 декабря 2016 г. № 552 «Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения» (с изменениями на 12 октября 2018 года). URL: <http://docs.cntd.ru/document/420389120> (дата обращения 16.10.2019).
56. Анищенко О. В., Гладышев М. И., Кравчук Е. С., Калачёва Г. С., Грибовская И .В. Оценка антропогенного загрязнения р. Енисей по содержанию металлов в основных компонентах экосистемы на участках, расположенных выше и ниже г. Красноярска // Journal of Siberian Federal University. Biology., 2010. - Т. 3, № 1. - С. 82-98
57. Соловьева В.В., Лапиров А.Г. Гидробиология . – М.: Юрайт, 2019 – 461 с.

58. Оценка качества воды водоёмов рыбохозяйственного назначения: учеб. пособие для СПО / И. В. Волкова, Т. С. Ершова, С. В. Шипулин. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: Издательство Юрайт, 2018. С. 267.
59. Гигевич Г.С., Власов Б.П., Вынаев Г.В. Высшие водные растения Беларуси. – Минск, 2001.
60. Лукина Л. Ф., Смирнова Н. Н. Физиология высших водных растений. Киев: Наук. думка, 1988. 186 с.
61. Ронжина Д.А., Иванов Л.А., Ламберс Г., Пьянков В.И. Изменение химического состава листьев гидрофитов при адаптации к водной среде // Физиология растений, том 56, № 3, 2009. С. 395-402.
62. Бондаренко Н. А., Волкова Е. А., Куликова Н. Н., Чебыкин Е. П., Воднева Е. Н. и А. Н. Сутурин. Определение элементного состава бентосных макроводорослей для индикации качества воды мелководной зоны залива Лиственничный (Южный Байкал) // Международный научно-исследовательский журнал, № 12 (66), часть 2. 168 с.
63. Лавриненко А. В., Айтимова А. М. и А. В. Котельников. Микроэлементный состав пресноводных макрофитов Астраханской области // Естественные науки, № 1 (34), 2011. 66 с.
64. Зотина Т. А. Распределение техногенных радионуклидов в биомассе макрофитов реки Енисей // Радиационная биология. Радиоэкология, том 49, № 6, 2009. 731 с.
65. В. В. Куриленко, Н. Г. Осмоловская. Биоиндикаторная роль высших растений при диагностике загрязнений водных экосистем на примере мылах водоемов г. Санкт-Петербурга // Водные ресурсы, 2007, том 34, №6, 2007. С. 759-762.
66. Суркова Е. И., Семёнов А. А. Влияние фосфора на биологическую продуктивность водных растений (на примере *Elodea canadensis* Michx.) // Материалы VI Всероссийской школы-конференции по водным макрофитам Гидрботаника, 2005. С. 357-359.

67. Свириденко Б. Ф., Свириденко Т. В., Ефремов А. Н., Токарь О. Е. и К. С. Евженко. Элодея канадская *Elodea canadensis* (Hydrocharitaceae) на Западно-Сибирской равнине // Вестник Томского государственного университета. Биология, №3 (23), 2013. С. 46-55.
68. Борисова С. В. Доочистка сточных вод химического предприятия от неорганических веществ с использованием элодеи и роголистника // автореферат, Казань, 2011. 16 с.
69. Фомина А. А. Аккумуляция тяжелых металлов высшими водными растениями // Сборник статей Международной научно-практической конференции, посвященной 127-й годовщине со дня рождения академика Н.И. Вавилова. 2014. 155 с.
70. Куклин А. П. Содержание тяжелых металлов в воде и водорослях в бассейне реки Букукун // Материалы Всероссийской конференции с международным участием "Эволюция биосферы и техногенез", VI Всероссийского симпозиума с международным участием "Минералогия и геохимия ландшафта горно-рудных территорий" и XIII Всероссийских чтений памяти академика А. Е. Ферсмана "Рациональное природопользование", "Современное минералообразование", посвященных 35-летию ИПрЭК СО РАН 2016. С. 322-323.
71. Зотина Т. А. Фитомасса и видовое разнообразие макрофитной растительности в среднем течении р. Енисей // Journal of Siberian Federal University. Biology., 2014. - Т. 7, № 1. С. 73-86.
72. Анищенко О. В., Гладышев М. И., Кравчук Е. С., Сущик Н. Н. и И. В. Грибовская. Распределение и миграция металлов в трофических цепях экосистемы реки Енисей в районе г. Красноярска // Водные ресурсы, том 36, № 5, 2009. С. 623-632.
73. Белецкая С. Г. Оценка чувствительности элодеи канадской (*Elodea canadensis*) к ионам тяжелых металлов // Молодежь и наука: сборник материалов X Юбилейной Всероссийской научно-технической конференции студентов,

аспирантов и молодых ученых с международным участием, посвященной 80-летию образования Красноярского края, 2014.

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа по теме «Содержание биогенов и металлов в макрофитах речной протоки» содержит 60 страниц текстового документа, 73 использованных источников, 16 таблиц, 2 рисунка.

Ключевые слова: речная протока, макрофиты, биогены, металлы, гидрофизика, аквакультура.

Цель работы – оценка возможного влияния антропогенных факторов на экосистему лентического участка реки Енисей в г. Красноярске на основе элементного анализа макрофитов и воды.

В задачи входило: 1) определить содержание биогенных, макро- и микроэлементов в воде и оценить степень загрязнения вод на исследуемом участке реки Енисей; 2) исследовать видовой состав макрофитов и оценить их общую биомассу; 3) оценить содержание биогенных, макро- и микроэлементов в макрофитах Абаканской протоки

В результате исследования был изучен видовой состав макрофитов Абаканской протоки, определен гидрохимический состав воды. Изучено содержание биогенов и металлов в макрофитах и выявлены особенности накопления элементов в растениях.

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Институт фундаментальной биологии и биотехнологии

институт

Кафедра водных и наземных экосистем

кафедра

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой



М.И. Гладышев

6 июля 2020

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Содержание биогенов и металлов в макрофитах речной протоки

06.04.01 - Биология

06.04.01.04 – Гидробиология и ихтиология

Научный руководитель

подпись, дата

профессор, д.б.н.

должность, ученая степень

Е.А. Иванова

инициалы, фамилия

Научный руководитель

подпись, дата

с.н.с, к.б.н

должность, ученая степень

О.В. Барсукова

инициалы, фамилия

Выпускник

подпись, дата

Ю.Д. Анищенко

инициалы, фамилия

Рецензент

подпись, дата

с.н.с, к.б.н

должность, ученая степень

Е.С. Кравчук

инициалы, фамилия

Красноярск 2020

