

Министерство науки и высшего образования РФ  
Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Институт фундаментальной биологии и биотехнологии  
институт  
Кафедра водных и наземных экосистем

УТВЕРЖДАЮ  
Заведующий кафедрой

\_\_\_\_\_ М. И. Гладышев  
подпись                      инициалы, фамилия  
« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_  
г.

## МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Изучение изменений пищевых сетей некоторых аборигенных  
видов рыб реки Чулым в присутствии инвазивных видов

тема

06.04.01 «Биология»

код и наименование направления

06.04.01.04 «Гидробиология и ихтиология»

код и наименование магистерской программы

Руководитель \_\_\_\_\_ к.б.н., доцент .  
подпись, дата                      должность, научная степень

А.Е.Рудченко  
инициалы, фамилия

Выпускник \_\_\_\_\_  
подпись, дата

А. И. Вялкова  
инициалы, фамилия

Рецензент \_\_\_\_\_ профессор, д.б.н.

В.А.Заделенов

Красноярск 2023



## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ	6
1.1 Биологические инвазии	6
1.1.1. Роль и влияние чужеродных видов на водные экосистемы	6
1.1.2. Процесс возникновения популяции инвазивного вида.	7
1.1.3. Влияние инвазивных видов на пищевые сети водных экосистем	8
1.2. Рыбы, как источник омега-3 полиненасыщенных жирных кислот для человека	11
1.3. Использование биомаркерных жирных кислот при изучении трофических сетей гидробионтов	13
1.4. Использование анализа стабильных изотопов углерода и азота при изучении трофических сетей гидробионтов	14
1.5. Экологические особенности чужеродных для бассейна реки Чулым видов рыб	17
1.5.1. Видовые очерки о чужеродных для бассейна реки Чулым видов рыб	17
1.5.2. Распределение инвазивных видов рыб внутри бассейна реки Чулым	26
1.6. Гидрологическое описание реки Чулым	27
2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ	30
2.1. Характеристика объектов исследования	30
2.2. Характеристика инвазивного вида	31
2.3. Район работ	32
2.4. Методы биохимического анализа мышечной ткани рыб	34
2.5. Методы анализа стабильных изотопов углерода и азота	34
3. РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ	36
3.1. Соотношение стабильных изотопов углерода и азота мышечной ткани аборигенных и инвазивного видов рыб среднего течения реки Чулым	36

3.2. Состав и содержание жирных кислот в мышечной ткани плотвы сибирской, ельца и уклейки среднего течения реки Чулым	37
3.3. Обсуждение результатов	43
ВЫВОДЫ	47
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ	48
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	49

## ВВЕДЕНИЕ

Биологические инвазии — расселение чужеродных видов в экосистемы, расположенные за пределами их ареала и воздействие их на эти экосистемы (Дгебуадзе, 2002). Географический охват инвазий, количество расселяемых видов и скорость расселения сильно увеличились за последние 200 лет, особенно в 20 веке, что в значительной степени связано с деятельностью человека как случайной, так и преднамеренной (Marcot et al., 2019; Mastitsky et al., 2010). После непосредственного уничтожения мест обитания биологические инвазии являются второй по значимости опасностью для биоразнообразия аборигенных экосистем. Поскольку с глобализацией увеличилось число видов, перемещаемых за пределы своего естественного ареала, возросли и исследовательские усилия, направленные на понимание экологии биологических инвазий. Изменения естественного состава ихтиоценозов связывают с новым видом биоразнообразия — ксеноразнообразием. Основной проблемой инвазий чужеродных видов рыб для человека является сокращение популяций аборигенных промысловых видов рыб, так как те могут занимать схожую с последними трофическую нишу и вступать с ними в конкурентное взаимодействие (Алимов и др., 2004). В ходе взаимодополняющего действия природных (изменение климата) и антропогенных (вселение чужеродных видов) факторов происходит расселение чужеродных видов рыб в акватории бассейна реки Чулым. Особенно интенсивно этот процесс происходит на протяжении последних 40 лет (Злотник, 2019).

Предполагается, что наличие инвазивных видов рыб приводит к изменению пищевого поведения и биохимических показателей аборигенных видов рыб. Исследования влияния инвазивных видов на аборигенную фауну важны с фундаментальной точки зрения. Такие работы позволяют выяснить некоторые аспекты межвидовых отношений аборигенного вида с чужеродным. Кроме того, подобные исследования могут иметь значительную практическую ценность.

В данной работе проводится исследование явления пищевой конкуренции аборигенных видов рыб с чужеродными на примере изменений биохимических характеристик некоторых аборигенных видов рыб реки Чулым.

Целью работы было исследовать явление пищевой конкуренции некоторых аборигенных видов рыб с чужеродными на примере популяций, обитающих в реке Чулым и ее влияние на некоторые биохимические характеристики.

Задачи исследования:

1. Провести анализ стабильных изотопов азота и углерода в некоторых видах рыб и их пищевых источниках из р. Чулым для установления предполагаемой трофической структуры реки выше и ниже Назаровской ГРЭС.

2. Провести анализ состава и содержания жирных кислот в мышечной ткани плотвы сибирской, ельца сибирского и уклейки для установления их источников пищи.

3. Оценить биохимическое качество мышечной ткани плотвы сибирской и ельца сибирского с уклейкой в районе их совместного обитания как источников длинноцепочечных полиненасыщенных жирных кислот.

## **1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ.**

### **1.1. Биологические инвазии.**

#### **1.1.1. Роль и влияние чужеродных видов на водные экосистемы.**

Чаще всего результатом взаимодействия аборигенных и чужеродных видов становится подавление или прямое уничтожение аборигенного вида, за которым следует снижение таксономического разнообразия экосистем. (Карабанов, Кодухова, 2015). Любая интеграция нового вида в аборигенное сообщество ведет к изменению его структуры и функциональности, но изменения эти не всегда заметны, из-за чего часто сложно оценить ущерб и сформулировать понятие «биологическое загрязнение» для каждого конкретного случая инвазий (Алимов и др., 2004). Кроме этого, инвазивные виды могут приносить в экосистемы новые инфекционные и паразитарные заболевания. Помимо экологических последствий, виды-вселенцы часто оказывают отрицательный экономический эффект, снижая численность промысловых видов рыб (Карабанов, Кодухова, 2015; Britton, 2018).

Наибольшее количество расселений видов в настоящее время напрямую связано с нынешним этапом развития промышленности и усилением антропогенного влияния на экосистемы. У инвазивных видов всегда обнаруживаются такие особенности экологии, которые позволяют им осваивать биотопы, отличающиеся от нативных местообитаний, а также успешно составлять конкуренцию местным видам за общие ресурсы, т. е. обеспечивающие высокую эврибионтность. В результате нарушения человеком стабильности условий обитания аборигенных видов, которые, как правило, являются более или менее узкоспециализированными, более экологически пластичные виды-вселенцы получают возможность успешнее конкурировать с местными видами, либо полностью вытеснять их. Тем самым получается, что антропогенное влияние усиливает негативный эффект от биологических инвазий (Алимов и др., 2004). Так как наибольшее воздействие из инвазивных видов оказывают рыбы, то и наибольшие

преобразования происходят именно в водных экосистемах (Flood et al., 2020). Пресноводные системы при этом подвергаются наибольшему прессингу. Хотя они и составляют лишь 0,01% от общего объема воды на Земле, в них обитает 9,5% описанных видов животных (Reid et al., 2019).

### **1.1.2. Процесс возникновения популяции инвазивного вида.**

Инвазия – это процесс преодоления различных барьеров нативной среды и, как следствие, состоящий из нескольких этапов (Kolar, Lodge 2001; McNeely et al., 2001; Шилов, 2001). Первый этап – возникновение способности к самовозобновлению в условиях новой для вида экосистемы, неполная натурализация. Второй этап – появление способности к расселению. Третий – способность к внедрению в естественный биоценоз, полная натурализация (Vermeij, 1996). То есть, процесс инвазии по отношению к биоценозам завершается натурализацией. Процесс натурализации необязательно длительный, если интеграция не состоялась. Важным итогом интеграции является постоянство присутствия вида в новой экосистеме и включение в трофические сети сообщества (Richardson et al., 2000).



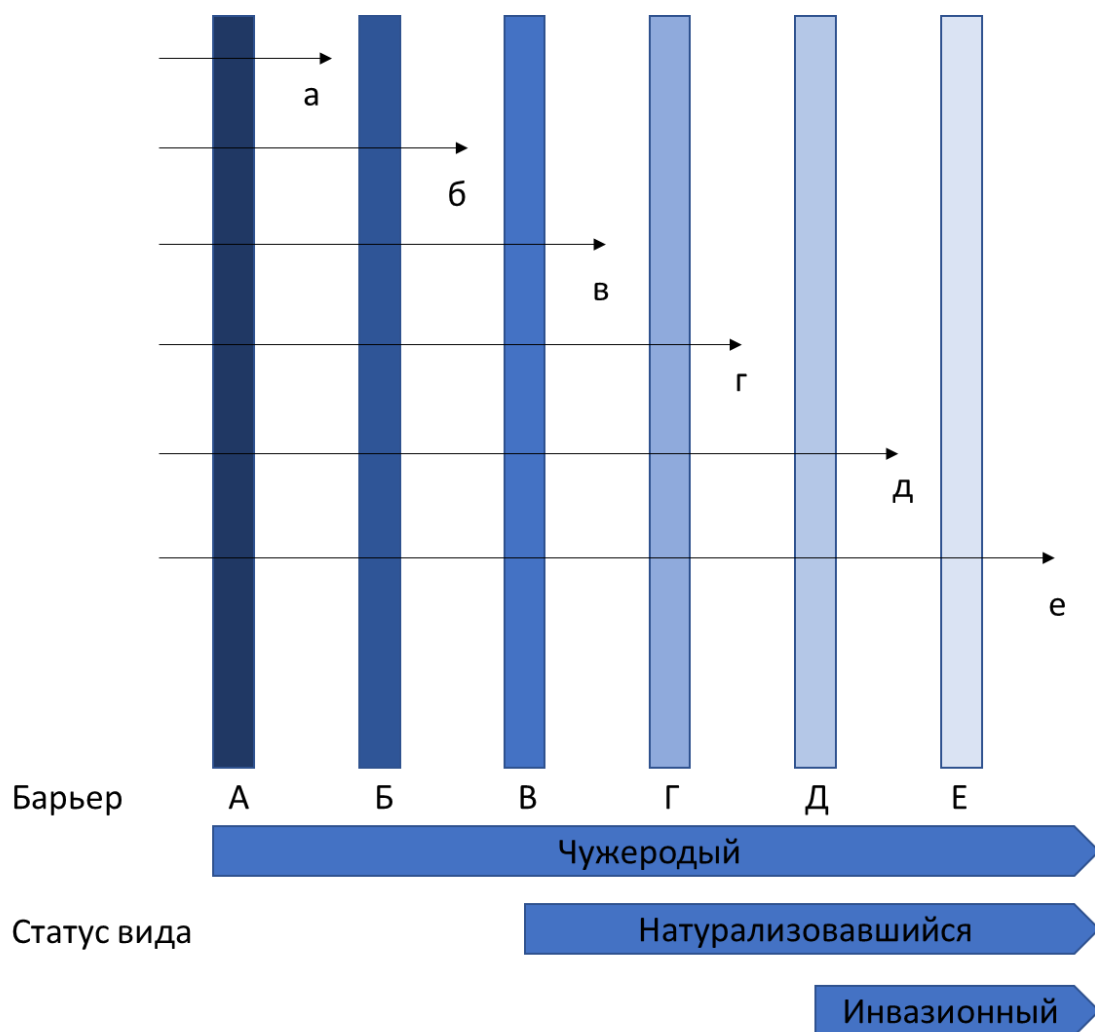


Рисунок 1 – Этапы, проходимые (или не проходимые) инвазивным видом в процессе инвазии. А – преодоление географического барьера; Б – приспособление к биотическим и абиотическим факторам новой экосистемы; В – возникновение способности к постоянному размножению; Г – расселение из точки интродукции; Д – освоение нарушенных экосистем по области инвазии; Е – освоение естественных экосистем по области инвазии (Richardson et al., 2000; McNeely et al., 2001).

### 1.1.3. Влияние инвазивных видов на пищевые сети водных экосистем.

Как до сих пор было принято считать, биологические инвазии вкупе с антропогенной деятельностью приводят к значительным перестройкам экологических систем, вплоть до исчезновения из трофической системы

отдельных видов или замещения их видами-вселенцами. Однако новейшие исследования, включающие в себя математическое моделирование последствий инвазий, показали, что нарушения устойчивости экосистемы происходит редко – чаще всего она выходит на иной уровень устойчивости при наличии инвазивных видов. Оценка трофической экологии рыб крайне важна для понимания биологических и экологических нужд, необходимых для сохранения и поддержания популяций. Трофическая роль вида в пищевой сети определяется его трофическим уровнем, тем, что он ест (качественной информацией) и в каких пропорциях (количественной информацией), которые являются существенной информацией для понимания потоков энергии через экосистемы (Luiz de Silveira et al., 2020). Перестройка структуры трофических связей в пределах экосистемы происходит не сразу, а имеет ряд предопределяющих явлений. Одни из них могут приводить непосредственно к перестройке связей, а действие других будет нивелировано совместным влиянием природных и антропогенных воздействий (Соловьева, 2018). Наибольшие последствия для экосистем имеют явления вселения крупных хищников, способных быть регуляторами сообщества за счет перестройки системы пищевых отношений «хищник-жертва» и конкуренции с другими хищниками (Болотова и др., 2010). В формировании структуры и потоков энергии в водных экосистемах играет важную роль эффект «ключевого хищника» (key-stone predator). Он заключается в том, что консумент оказывает подавляющее воздействие на определенный пищевой вид, который обладает конкурентным преимуществом перед другими видами в сообществе, что позволяет нескольким видам занимать одну или близкие экологические ниши и препятствует конкурентному вытеснению. Однако, если хищническое воздействие снижается, это приводит к вытеснению слабых конкурентных видов. Чем более высокое трофическое положение занимает «ключевой хищник», тем больше вероятность упрощения структуры трофических связей и исчезновения целых пищевых цепей (Голубков, 2013). Наиболее

изученным примером может служить вторжение рыбы-льва (*Pterois spp.* Oken, 1817) в бассейн Карибского моря, уменьшившее разнообразие аборигенных рифовых рыб в 2-3 раза и их биомассу на 65%. Помимо хищников, сильное воздействие на экосистемы оказывает появление видов, обладающих достаточным уровнем приспособляемости для освоения ниш, занятых аборигенными видами. Так, пестряк (*Siganus spp.* Forsskal, 1775) попав в Средиземное море вступил в конкурентные взаимоотношения со Средиземноморской лорой (*Sparisoma cretense* Linnaeus, 1758) и сарпой сальповидной (*Sarpa salpa* Linnaeus, 1758), заняв экологическую нишу последних (Arndt et al., 2018).

Конечно, влияние вида-вселенца не может распространяться только на какой-то единственный аборигенный вид. Хорошо это наблюдается на примере проникновения гребневика Мнemiопсиса (*Mnemiopsis leidyi* Agassiz, 1865). Помимо очевидного снижения уловов тюльки, уменьшилась как общая, так и видовая численность зоопланктона, когда как общая численность фитопланктона, наоборот, увеличилась, что в долгосрочной перспективе может привести к большему эвтрофированию Черного моря. Зообентосное разнообразие также резко изменилось от доминирования ракообразных к кольчатым червям и двустворчатым моллюскам, получившим дополнительный источник питания в результате сезонной массовой гибели гребневиков, что в дальнейшем может привести к увеличению количества некоторых бентопелагических рыб, питающихся этими бентосными организмами (Roohi et al., 2010).

Если оценивать инвазии с точки зрения влияния на использование экосистем человеком, то их можно разделить на «положительные» и «отрицательные». Большинство инвазий относят к «отрицательным», так как они могут приводить к экономическим эффектам, снижая численность промысловых видов рыб (Карабанов, Кодухова, 2015; Britton, 2018). К немногочисленным «положительным» инвазиям можно отнести вселение в Черное море гребневика берое (*Beroe ovata* Brunguier, 1789), хищника,

поедающего выше упомянутого мнемнопсиса, тем самым контролирующего его численность и через нее – динамику и структуру планктонного сообщества в целом (Финенко и др., 2000)

На перестройку структуры сообщества рыб и интенсификацию инвазий также влияют появление связей между ранее изолированными водными системами, открывающие новые пути для проникновения инвазивных видов. Таким образом, существует два пути влияния инвазивных видов на трофическую структуру водоемов – опосредованное влияние через большую конкурентоспособность в изменившихся биотопах и непосредственное воздействие через выедание и усиление конкуренции (Болотова и др., 2010).

## **1.2. Рыбы, как источник омега-3 ПНЖК для человека.**

Микроводоросли, такие как диатомовые, перидиней и криптофиты, синтезируют две ключевые длинноцепочечные омега-3 ПНЖК для человека – эйкозапентаеновую кислоту (ЭПК, 20:5n-3) и докозагексаеновую кислоту (ДГК, 22:6n-3), которые затем передаются по трофической цепочке водным беспозвоночным и рыбам. Водные экосистемы, такие как озера, реки и моря, являются основным источником этих омега-3 ПНЖК для человека и животных (Гладышев, 2012). Многие факторы влияют на содержание ЖК у рыб, включая их рацион (Heissenberger et al., 2010), трофический уровень, пол, стадия развития, сезон года, экологические факторы и способность синтезировать ЖК самостоятельно (Litzow et al., 2006). Однако, независимо от таксона, ЭПК и ДГК являются доминирующими кислотами среди ПНЖК. Как и все остальные ЖК они могут служить источниками энергии, но в том случае, если их потребление превосходит потребности организма (Tocher, 2003). Для мембран нервных клеток наиболее важной кислотой считается ДГК, которая обеспечивает строительную функцию и служит основой для билипидного слоя. ЭПК же выступает предшественником гормоноподобных веществ – эйкозаноидов, которые необходимы для регуляции работы сердечно-сосудистой системы и участвуют в воспалительных процессах

(Гладышев, 2012). Достаточное потребление ЭПК и ДГК необходимо для профилактики сердечно-сосудистых болезней, болезни Альцгеймера и некоторых аутоиммунных заболеваний (Гладышев, 2012). Всемирной организацией здравоохранения разработана норма потребления ЭПК+ДГК, составляющая 0,5-1 г в сутки на человека и соотношение кислот семейств n-6/n-3 не превышающее 3:1 (Кормилец, 2019). В настоящее время, большинство развитых стран потребляют больше продуктов, богатых n-6 ПНЖК. Рост соотношения n-6/n-3 может достигать вплоть до 20:1, что сопровождается ростом сердечно-сосудистых и нервных заболеваний.

На качестве ЖК-состава рыб могут также сказываться биологические инвазии. Так, при изменениях таксономического состава планктона изменяется их ЖК-профиль для вышестоящих трофических уровней, связанный со специфичностью синтезируемых и накапливаемых ЖК. Соответственно меняется биохимическое качество всей цепи потребления. Например, аборигенные для устья реки Сан-Франциско виды дафний, концентрирующие ЭПК и арахидоновую кислоту, были вытеснены морскими копеподами, концентрирующими ДГК. Данное явление привело к изменению биохимического качества рыб – потребителей зоопланктона, обитавших в этой области (Kratina, Winder, 2015). Другое явление присутствует в Средиземном море, где наблюдается инвазия зеленой водоросли каулерпы виноградной (*Caulerpa racemosa* Agardh, 1873), выделяющей липофильный каулерпин, что привело к изменению ЖК-состава мышечной ткани сарга белого (*Diplodus argus* Linnaeus, 1758) за счет снижения процентного содержания ЭПК, ДГК и арахидоновой кислоты (Felline et al., 2014). Также инвазивные виды могут менять качество рыбных ресурсов водоема, сами накапливая большое или малое количество ПНЖК. Так было обнаружено, что бычок-кругляк (*Neogobius melanostomus* Pallas, 1814), проникнув в Балтийское море, по биохимическому качеству стал похож на треску и форель, что выражено низким соотношением n-6 кислот к n-3 (Brauer et al., 2020). Аналогичное наблюдение было сделано во время исследования

инвазии серебряного карася (*Carassius gibelio* Bloch, 1782) в озере Гала, европейской части Турции. Здесь наблюдалась высокая способность карася накапливать в мышечной массе ЭПК и ДГК, в результате чего он был признан важным источником ПНЖК для данного региона (Yilmaz et al., 2016).

### **1.3. Использование биомаркерных жирных кислот при изучении трофических сетей гидробионтов.**

Основой функционирования всех экосистем являются потоки вещества и энергии в пищевых цепях (Алимов, 2004). Изучение трофических взаимодействий между гидробионтами направлено, в том числе, и на изучение роли полиненасыщенных жирных кислот (ПНЖК), являющихся одной из важнейших биологических составляющих всех живых организмов.

Часто ЖК-состав гидробионтов позволяет установить источник получения ими органического вещества, так как большинство продуцентов жирных кислот (ЖК) синтезируют разные кислоты. В пищу консументов различных уровней включаются специфические ЖК, которые синтезируются на нижних трофических уровнях и часто накапливаются в биомассе животных в виде запасных липидов. Изучение состава ЖК в консументах, таких как рыбы, позволяет анализировать их спектр питания. Многие ЖК могут быть использованы в качестве биохимических маркеров для изучения трофических взаимодействий в водных экосистемах. Кроме того, эти маркеры могут быть полезны при анализе состава и структуры биологических сообществ в водоемах (Сущик, 2008).

Исследование трофических взаимоотношений в водных экосистемах возможно благодаря отслеживанию перемещения специфичных ЖК, которые составляют базовый набор ЖК большинства гидробионтов, а также свойственные только определенной группе гидробионтов ЖК (Табл. 1) (Кормилец, 2019).

Таблица 1 - Биомаркерные жирные кислоты, используемые при изучении трофических сетей гидробионтов

Организмы	Маркерная жирная кислота	Источник
Бактериопланктон	15:0, 17:0, C15-17 РЖК, 18:1n-7	Napolitano, 1999
Аллохтонное вещество (наземного происхождения)	20:4n-6	Gladyshev et al., 2015
Цианобактерии	18:2n-6, 18:3n-3	Kelly, Scheibling, 2012 Sushchik et al., 2004
Зеленые водоросли	18:2n-6, 18:3n-3, 16:2n-6, 16:3n-3, 16:4n-3	Kelly, Scheibling, 2012 Сущик, 2008
Диатомовые водоросли	16:1n-7, 16:2n-4, 16:3n-4, 16:4n-1, 20:5n-3	Sushchik et al., 2003 Taipale et al., 2013
Динофитовые водоросли	18:4n-4, 22:6n-3	Сущик, 2008
Моллюски	20:1n-13, 20:1n-11	Makhutova et al., 2016
Копеподы пресноводные	20:1n-9	Сущик, 2008

Примечание: РЖК- жирные кислоты с разветвленной цепью атомов углерода

#### **1.4. Использование анализа стабильных изотопов углерода и азота при изучении трофических сетей гидробионтов.**

Анализ стабильных изотопов (Stabile Isotope Analyses) стал одним из важных методов в экологии за последние три десятилетия. Он основан на ассимиляции изотопов углерода и азота пищевых продуктов в тканях потребителя (Luiz de Silveira et al., 2020). SIA оказался полезным инструментом для реконструкции рационов питания, характеристики трофических связей, выяснения закономерностей распределения ресурсов и построения пищевых сетей в водных экосистемах (Boecklen et al., 2011). Индикатором движения вещества по трофическим сетям и оценки интенсивности экологических процессов является соотношение стабильных изотопов, связанных с изменением соотношений (фракционированием)

изотопов углерода и азота, которое используется в данном анализе (Тиунов, 2007).

SIA базируется на анализе стабильных изотопов и применяется для решения двух взаимосвязанных проблем. Во-первых, это использование SIA для раскрытия структуры пищевых сетей. Различия в изотопных величинах углерода и азота между наземными и водными организмами, а также между организмами различных трофических уровней связаны с процессом трофического фракционирования и регистрируются при изучении трофической структуры биоценоза. Особенности источников неорганического углерода и азота обуславливают различия в органическом веществе наземных и водных организмов (Gladyshev, 2009). Сама по себе изотопная сигнатура консументов, как правило, недостаточна для определения трофического положения или источника углерода без соответствующей изотопной базовой линии (Post, 2002). Соотношение стабильных изотопов азота  $\delta^{15}\text{N}$  может быть использовано при оценке трофического положения исследуемого объекта, поскольку потребитель обычно обогащается на 3-4 ‰ относительно потребляемого им корма. Фракционирование изотопов  $\delta^{15}\text{N}$  у хищников имеет более узкий диапазон значений и менее вариабельно, чем у фитофагов. Напротив, соотношение изотопов углерода  $\delta^{13}\text{C}$  мало изменяется при прохождении углерода через пищевые сети и поэтому обычно используется для детектирования конечных звеньев сети, когда изотопные сигнатуры различны (Vander Zanden and Rasmussen, 2001). Кроме того,  $\delta^{13}\text{C}$  используется для дифференциации двух источников углерода в озерных экосистемах – литоральной продукции, где пищевая сеть обогащается более тяжелыми изотопами углерода и продукцией пелагиали. При этом фитофаги демонстрируют более низкую степень фракционирования  $\delta^{13}\text{C}$ , чем нефитофаги. Для рыб изотопная сигнатура является репрезентативной для их рациона в зависимости от скорости оборота тканей организма и составляет от нескольких месяцев до нескольких лет. Трофическое фракционирование  $\delta^{13}\text{C}$  – это ‰



(содержание в промилле) на трофический уровень. Как и трофическое фракционирование азота, среднее трофическое фракционирование углерода может быть установлено в ходе многочисленных сравнений, однако трофическое фракционирование углерода (фитофаги и детритофаги) является более изменчивым, чем у азота (хищники) (Post, 2002). Метод стабильных изотопов позволил протестировать ряд фундаментальных гипотез о структуре трофических цепей в водных экосистемах (Vander Zanden et al., 1999). Так, благодаря SIA было показано совпадение рационом питания аборигенных и чужеродных видов рыб в озере Панд-Орей, расположенном в США. Был сделан вывод об уменьшении доли Нерки (*Oncorhynchus nerka* Walbaum, 1792) в рационах аборигенного Большоголового гольца (*Salvelinus confluentus* Suckley, 1859), лосося Кларка (*Oncorhynchus clarkii* Richardson, 1836) и Орегонского тихохейлуса (*Ptychocheilus oregonensis* Richardson, 1836) при вселении в водоем Озерного гольца-крестивомера (*Salvelinus namaycush* Walbaum, 1792) и Радужной форели (*Oncorhynchus mykiss gairdneri* Richardson, 1836), что нельзя было доказать с помощью обычного анализа кишечников ввиду малой выборки (Clarke et al., 2005).

Во-вторых, из-за различий в пищевой сети планктонных и бентосных местообитаний, SIA может служить химическим индикатором недавнего расселения рыб, а также быть использованы для идентификации изменения среды обитания личинок и молоди рыб. Так как быстрорастущие животные быстро отражают изотопный состав нового рациона, изотопный состав тканей личинок рыб может измениться в результате диетического сдвига. Следовательно, стабильные изотопные соотношения могут служить индикаторами недавнего прибытия в новую среду обитания. Использование стабильных изотопных соотношений в качестве индикаторов заселения требует оценки скорости изменения изотопного состава тканей личинок рыб после смены рациона питания. Для растущих животных изотопный состав вновь добавленной биомассы будет отражать изотопный состав текущего источника пищи. Одновременно, метаболический оборот приводит к

разрушению и замене существующих тканей организма. В результате, скорость изотопного изменения является функцией как роста, так и метаболического оборота (Herzka and Holt, 2000).

Пресноводные реки создают благоприятные условия для отслеживания углеродных путей, поскольку наземные и водные растения часто различаются по своему составу стабильных изотопов. При исследовании речной системы Мирамичи в Канаде, было замечено, что при изменении доли вклада водных и наземных первичных источников энергии в пищевые сети, варьировалось содержание  $\delta^{13}\text{C}$  в тканях Семги (*Salmo salar* Linnaeus, 1758), что свидетельствует о переменной ассимиляции аллохтонных и автохтонных источников углерода на разных участках реки (Doucett et al., 1996).

Также были отмечены различия в соотношении изотопов углерода и азота при наличии инвазивного вида и физического препятствия для его проникновения. Образовавшийся при впадении реки Сан-Хуан в озеро Пауэлл водопад препятствует восходящему проникновению инвазивных видов из озера. В самом озере при этом происходит дублирование в использовании ресурсов аборигенными и инвазивными видами и увеличение доминирования последних в сообществе, о чем и свидетельствуют результаты изотопного анализа (Pennock et al., 2021).

## **1.5 Экологические особенности чужеродных для бассейна реки Чулым видов рыб.**

### **1.5.1. Видовые очерки о чужеродных для бассейна реки Чулым видов рыб.**

Результат вселения вида в новую экосистему зависит от экологической пластичности, а также от соответствия факторов среды требованиям инвайдера на всех этапах развития. Высокая эврибионтность определяется особенностями экологии инвазионных видов, которые позволяют им

успешно конкурировать за общие ресурсы с аборигенными видами и осваивать биотопы, отличные от их нативных местообитаний.

**Серебряный карась (амурская форма) *Carassius gibelio* (Bloch, 1782).**

Амурская форма карася фенотипически очень похожа на аборигенную, однако занимает отличную от нее экологическую нишу, нежели последний. Приспособленная к размножению в придаточных водоемах, эта рыба обитает в реках (Атлас пресноводных рыб..., 2002; Никольский, 1956). В бассейне Оби молодые серебряные караси питаются зоопланктоном, а также мелким зообентосом и в меньшей степени фитопланктоном. Взрослый карась питается в основном зообентосом, реже - зоопланктоном, а также водорослями, высшими водными растениями и детритом (Попов, 2009; Бабкина, 2015). Серебряный карась является объектом промышленного и спортивного рыболовства. В озерах, где обитает амурская форма серебряного карася, аборигенная форма исчезает. Щука использует карася в качестве основного источника пищи там, где он водится в большом количестве (Злотник, 2019).

**Сазан, обыкновенный карп *Cyprinus carpio* (Linnaeus, 1758).** В Чулыме попадает карп, который выходит из садков рыбоводческого хозяйства ООО "Назаровское рыбное хозяйство", расположенного на водосбросном канале НГРЭС. Он может встречаться как в основном русле, так и в притоках и старицах. Карпы из Новосибирского водохранилища и Назаровского рыбного хозяйства обитают в нижнем течении. Рыбаки-любители также могут отловить карпа в верхнем течении Чулыма (Зуев и др., 2014; Злотник, 2019). Этот вид является пресноводным, но может встречаться и в солоноватых водах Каспийского и Аральского морей, образуя полуанадромную форму.

Живущая круглый год в определенной части водоема и не совершающая длительных миграций жилая форма зимой обитает в глубоких ямах в устьях рек и в предустьевых пространствах. Её рост значительно медленнее, чем у полуанадромной формы, которая выходит за пределы дельты рек и переходит в воды с высокой соленостью, нагуливаясь в море. Однако на нерест

полуанадромная форма возвращается в реки (Атлас пресноводных рыб ..., 2002). Вначале молодь потребляет зоопланктон, однако затем переходит на бентос. Взрослые рыбы, в свою очередь, питаются различными видами пищи, включая моллюсков, растительность и личинки насекомых (Атлас пресноводных рыб..., 2002). Часто становится объектом спортивного рыболовства. Однако в Чулыме она не используется в промысловых целях. Это связано с тем, что численность данного вида рыбы слишком мала, чтобы оказывать существенное влияние на местную ихтиофауну (Злотник, 2019).

**Белый толстолобик *Hypophthalmichthys molitrix* (Valenciennes, 1844).** Пелагический вид, питающийся фитопланктоном (диатомовые, зеленые и др. водоросли). В районах, где акклиматизирован толстолобик, синезеленые водоросли составляют значительную часть его рациона, особенно во время «цветения» водоемов (Заделенов, 2015). Водохранилище Березовской ГРЭС-1 является местом, где толстолобик потребляет в основном синезеленые водоросли (Заделенов и др., 2006). В один год в основном были наиболее распространены виды рода *Anabaena*, диатомовые водоросли *Stephanodiscus agassizensis* и мелкие формы диатомовых водорослей рода *Stephanodiscus*. Однако в следующем году (2005) на первом месте по распространенности оказались *Microcystis*, а также *Anabaena* и *Microcystis aeruginosa*. В отношении зоопланктона, *Leptodora sp.* и *Bosmina sp.* были замечены только отдельными экземплярами (Заделенов и др., 2006). Содержимым кишечника является преимущественно тот фитопланктон, который доминирует в водоеме (Заделенов, 2015). С 2003 по 2006 год в Берешском водохранилище было замечено доминирование сине-зеленых водорослей в биомассе пруда-охладителя. Однако уже к лету 2007 года на первое место вышли диатомовые, что свидетельствует о положительном влиянии толстолобика на структуру альгоценоза и не только на численность и биомассу водорослей. В первые годы запуска белого толстолобика промышленное и браконьерское рыболовство мешали накоплению ихтиомассы, необходимой для достаточной депрессии "цветения". Однако В. А. Заделенов в своих

исследованиях (2015) отмечает, что введение этого вида не повлекло за собой изменения в структуре ихтиоценоза (Заделенов, 2015). В настоящее время практически не встречается водохранилище, так как не натурализовался (Злотник, 2019).

**Лещ *Abramis brama* (Linnaeus, 1758).** Успех акклиматизации леща основан на обилии пищи и бедном видовом составе местной ихтиофауны. Контроль численности леща со стороны местных хищников (щуки, окуня, а в последнее время и судака) оказался слабым. Успешное воспроизводство леща на второй год жизни обусловлено особенностями формы его тела, которые делают его недоступным для большинства хищников. Нерестилище леща - пойма Оби и Чулыма, способствовала его успешному размножению в этом регионе. С начала 1990-х годов в Новосибирском водохранилище лещ составляет около 90% улова (Котов, Визер, 2000). Сейчас лещ является одним из наиболее успешных и распространенных вселенцев в бассейне Чулыма (Злотник, 2014). Лещ, являющийся эвритермным видом с высокой способностью к миграции, быстро распространился по территории Сибири. Он обнаружен в Обском бассейне, бассейне Байкала, в нижнем течении реки Лены и в реках Монголии (Злотник, 2019). Исследования многих ученых, занимающихся изучением биологических инвазий рыб, свидетельствуют о том, что появление новых видов приводит к изменению биоценозов. Лещ является типичным бентоядным видом. Благодаря строению своего рта лещ способен питаться на глубине 5-10 см под грунтом. Объекты питания леща меняются с возрастом, молодь употребляет в пищу в основном зоопланктон, становясь старше переходит на организмы бентоса, крупный лещ может поедать молодь рыб (Попков и др., 2008; Злотник, 2016). Лещ, как и серебряный карась, является ценным объектом для промышленных и любительских рыболовов в основном русле Чулыма и в Верхне-Чулымской группе озер. В Чулыме этот вид рыбы не так сильно эксплуатируется, поэтому его численность и распространение все же увеличиваются. Тем не менее, лещ стал проблемой в предполагаемом объекте акклиматизации, так

как он конкурирует с местными ценными бентофагами - молодью осетра и стерляди (Попков и др., 2008).

**Уклейка *Alburnus alburnus* (Linnaeus, 1758).** Уклейка имеет разнообразный спектр питания, который зависит от наличия и количества объектов питания (Медников, 1962). Рыбы взрослого возраста питаются зоопланктоном, но в их кишечниках также можно найти водоросли, макрофиты, воздушные насекомые и их личинки (Biro, Musko, 1995 ; Бабкина, 2015), а также икру, включая свою собственную (Бабкина, 2015), личинки и мелкие мальки рыб (Атлас пресноводных рыб..., 2002). Уклейка не является промысловым видом, но она популярна среди любителей и спортсменов, которые занимаются ее ловлей. Уклейка может временно вытеснить ельца в некоторых районах реки Чулым, включая места поблизости от плотины Назаровской ГРЭС, которая расположена на 1380 км от устья. Кроме того, уклейка представляет собой дополнительный кормовой объект для хищных видов рыб (Злотник, 2019).

**Обыкновенная верховка *Leucaspis delineates* (Heckel, 1843).** Хотя официальной регистрации вид не имеет, в бассейне Чулыма уже стал обычным в верхней части реки и иногда является единственным видом ихтиофауны в пойменных озерах. Верховка обитает практически во всех типах водных объектов бассейна, особенно в пойменных, и также в карьерах, оставшихся после угледобычи, курьях и старицах. Питание верховки основано на воздушных насекомых и их личинках (в основном Diptera), коловратках, дафниях и других организмах (Интересова, 2012; Pinder et al., 2005). Местные виды рыб, которые обитают как в пойменных озерах Чулыма, так и в группе озер Верхне-Чулымского района, могут конкурировать с верховкой, но последняя является кормом для хищных видов. Интересно, что свидетельства указывают на поедание верховкой икры и личинок рыб, что может негативно повлиять на население рыб в данной зоне. Однако, некоторые авторы утверждают, что верховка может выступать в качестве биомелиоратора, питаясь личинками и куколками двукрылых

насекомых, в основном – комаров (Ходырев, Бабуева, 2014; Злотник, 2019). Не промысловый, короткоцикловый вид. Используется рыбаками-любителями как живая наживка при ловле таких хищников как судак, окунь и щука.

**Канальный сомик *Ictalurus punctatus* (Rafinesque, 1818).** Канальный сомик относится к эврифагам. Молодые особи питаются личинками поденок, веснянок, моллюсками, ракообразными, головастиками, лягушками, водорослями и остатками высших растений (семенами деревьев). Даже у мелких особей можно найти остатки рыб в их желудках. При длине более 30 см сомик переходит на хищничество (Атлас пресноводных рыб..., 2002). Сомики, выращенные в садках Назаровского рыбоводного хозяйства, попадают в русло Чулыма через водосбросный канал НГРЭС. Покинув садки, они становятся объектом увлеченных любителей рыбалки. В водосбросном канале НГРЭС сомик может стать серьезным соперником для других видов рыб, обитающих в нем. Но маловероятно, что он сможет распространиться за пределы канала.

**Европейская ряпушка *Coregonus albula* (Linnaeus, 1758).** Европейская ряпушка, благодаря своему пелагическому образу жизни, питается зоопланктоном. Но рипус и килец, которые являются более крупными формами, не ограничиваются только планктоном - они также включают мизид и молодь рыб в свой рацион (Атлас пресноводных рыб..., 2002). В озере Инголь ряпушка питается четырьмя группами кормовых объектов: гаммаридами, которые составляют основу рациона, копеподами, которые встречаются в небольшом количестве, хирономидами и высшей водной растительностью (Вышегородцев, 2006). Практикуется любительское рыболовство на европейской ряпушке, однако промыслом она не осваивается. Благодаря мерам природоохранной территории, численность популяции ряпушки находится на относительно высоком уровне. Ряпушка быстро интегрировалась в биоценоз озера Инголь, заняв свободную экологическую нишу, так как в озере отсутствуют типично планктоядные

виды рыб, помимо нее. Кроме того, абиотические условия в новом месте обитания идентичны практически всем параметрам материнского водоема, озера Ладожского. Ряпушка также является дополнительным объектом питания для щук (Зуев и др., 2014).

**Обыкновенный сиг *Coregonus lavaretus* (Linnaeus, 1758).** В оз. Больше питается в основном, бентосными организмами, планктон потребляется только ранней молодью сига. Из бентосных организмов предпочитает в основном моллюсков (*Limnaea*, *Phusa*, *Planorbis*, *Pisidium*), куколок и личинок тендипендид и прочих (Кудерский, 2001). В настоящее время промыслового значения не имеет. В уловах присутствует редко и, в основном, в виде незаконной добычи. Популяция сига-лудоги в озере Большое находится в угнетенном состоянии по нескольким причинам. Одной из них является пресс со стороны промысла, который часто осуществляется незаконно. Кроме того, основные абиотические факторы озера сильно отличаются от параметров материнского водоема, который является озеро Ладожское. Эти факторы делают среду в озере Большое недостаточно пригодной для обитания сига-лудоги. Кроме того, в озере наблюдается возрастающая тенденция эвтрофикации. Заняв свободную экологическую нишу, сиг стал видом, не имеющим конкурентов в озере, поскольку там больше нет типичных бентофагов, обитающих и питающихся на больших глубинах. (Зуев и др, 2014; Злотник, 2019).

**Пелядь *Coregonus peled* (Gmelin, 1789).** Практическое использование пеляди было осуществлено в трех направлениях: выращивание в моно- и поликультуре как объекта озерного товарного рыбоводства (это было наиболее важным направлением), использование в качестве добавочного объекта в прудах и интродукция в водоемы для натурализации. Однако практических результатов от выпусков не было и до сих пор не достигнуто. Популяция поддерживается только за счет постоянного вселения молоди разного возраста. По типу питания пелядь является типичным планктофагом, но может переходить на питание зообентосом, если запасы планктона



ограничены (Злотник, 2019). Вселяется в озеро Большое с целью товарного рыбоводства, однако не натурализовалась. Численность популяции пеляди в озере зависит от количества рыбопосадочного материала. При массово выращивании, пелядь конкурирует с местными видами рыб за корм. Достаточного пресса со стороны хищников не имеет (Зуев и др., 2014).

**Байкальский омуль *Coregonus autumnalis migratorius* (Georgi, 1775).** Питается зоопланктоном, бокоплавами и молодь рыб (Атлас пресноводных рыб..., 2002). Интродукция омуля не завершилась натурализацией из-за отсутствия условий естественного воспроизводства, включая отсутствие крупных притоков (Зуев и др., 2014).

**Микижа (радужная форель) *Parasalmo mykiss* (Walbaum, 1792).** Радужная форель водится в русле Чулыма в среднем и верхнем течении, куда она попадает через водосбросной канал из садков Назаровского рыбоводного хозяйства. Основным видом рыбохозяйственного использования форели – индустриальное товарное выращивание в подогретой воде НГРЭС. Рацион форели в природе меняется в зависимости от возраста и размера рыбы, местообитания, размера пищевых организмов, сезона года и условий окружающей среды. Радужная форель является эврифагом и может питаться как водными, так и наземными беспозвоночными, рыбами, амфибиями и млекопитающими (главным образом, насекомоядными) (Kottelat, Freyhof, 2007; Montgomery, Bernstein, 2008). В Чулыме радужная форель не была успешно введена в естественную среду, поэтому её улов ограничен и составляют его только единичные особи, которые случайно выбираются из садков хозяйства. В то же время, нет необходимости для этого вида бороться за пищу с местными рыбами.

**Обыкновенный судак *Sander lucioperca* (Linnaeus, 1758).** Судак – облигатный хищник. В первые месяцы жизни молодые особи питаются зоопланктоном. Но затем они переходят на другие виды пищи, такие как нектобентические ракообразные, таких как мизиды, гаммариды и изоподы, а также мальками других рыб. Однако, если погодные условия не

благоприятны, то некоторые молодые особи продолжают питаться зоопланктоном до осени. Взрослый судак питается мелкими массовыми видами рыб (Атлас пресноводных рыб..., 2002; Иванова и др., 2019). В целом, судак успешно акклиматизировался в водосборном бассейне Оби и в настоящее время является одним из ценных промысловых видов рыб. Судак - ценный объект для любительского, спортивного и промышленного рыболовства, и распространен в настоящее время по руслу Чулыма и его притокам до плотины НГРЭС. Благодаря своим особенностям, судак имеет преимущества перед другими видами рыб. Он является высшим хищником и может занимать более высокий трофический уровень, чем щука и окунь, а также легко адаптируется к высокоэвтрофным и мутным водным экосистемам (Copp et al., 2009). В Чулыме судак занимает свободную экологическую нишу, отличную от щуки, поскольку они различаются местами нереста, временем кормления, объектами питания и другими элементами. Кроме того, судак является единственным хищником, который питается лещом, достигающим размеров, которые недоступны для других хищников.

**Ротан-головешка *Percottus glenii* (Dybowski, 1877).** Ротан-головешка быстро распространяется во многих водоемах России, что свидетельствует о его широкой экологической пластичности (Решетников, 2009; Бабкина, 2015). Широкое распространение получил ротан благодаря своей неприхотливости к условиям окружающей среды, особенно к недостатку кислорода в воде. Он может выживать в условиях, где недостаточно кислорода в воде, а также противостоять почти полному пересыханию и промерзанию водоемов, зарываясь в ил. Ротан предпочитает спокойные водоемы, такие как озера, пруды и болота, и избегает течений (Атлас пресноводных рыб..., 2002). Питается любым видом животной пищи, которая доступна по размеру. В своем рационе включает молодь рыб и икру, в том числе тех, которые принадлежат к его виду (Атлас пресноводных рыб ..., 2002; Горлачева, 2008; Кириленко, Шемонаев, 2011; Бабкина, 2015).

Ротан-головешка, который может наносить значительный ущерб популяциям земноводных, использует разные объекты в качестве еды, в зависимости от своей жизненной стадии. До достижения длины 11 мм он питается планктоном, а при длине до 100 мм - бентосными организмами. При длине более 100 мм он переходит к хищному образу жизни. В ареалах, которые он захватил, головастики стали неспецифичными объектами питания в его рационе (Поляков, Бузмаков, 2008; Зуев, 2013). Это непромысловый вид, который когда-то отлавливали в его естественной среде обитания для кормления домашних животных. Некоторые люди употребляют его в качестве пищи. Этот вид быстро распространяется и является конкурентом в питании для промысловых аборигенных видов естественных водоемов. Ротан наносит ущерб и уничтожает икру и молодь других видов рыб, при этом защищая свое потомство (Атлас пресноводных рыб..., 2002). Ротан, как агрессивный хищник (Горлачева, 2008; Кириленко, Шемонаев, 2011; Бабкина, 2015) наносит серьезный ущерб биоразнообразию земноводных, поедая их икру и употребляя в пищу самих амфибий. Это может привести к конкуренции в питании личинок амфибий (Поляков, Бузмаков, 2008). Кроме того, хищничество ротана может привести к подавлению и исчезновению популяций некоторых местных видов рыб. Ротан, единственный представитель ихтиофауны в некоторых пойменных озерах нижнего течения Чулыма, также может привести к подавлению и исчезновению популяций некоторых местных видов рыб в этом районе (Злотник, 2019).

### **1.5.2. Распределение инвазивных видов рыб внутри бассейна реки**

#### **Чулым.**

Таблица 2 - Распределение инвазивных видов рыб внутри бассейна реки Чулым.

Вид	Не образуют устойчивых популяций	Обитают в пойменных и террасных озерах, водохранилищах	Обитают в основном русле выше плотины НГРЭС	Обитают в основном русле ниже плотины НГРЭС

Серебряный карась (амурская форма) <i>Carassius gibelio</i> (Bloch, 1782)		+	+	+
Сазан, обыкновенный карп <i>Cyprinus carpio</i> (Linnaeus, 1758)	+	+	+	+
Белый толстолобик <i>Hypophthalmichthys molitrix</i> (Valenciennes, 1844)		+		
Лещ <i>Abramis brama</i> (Linnaeus, 1758)		+	+	+
Уклейка <i>Alburnus alburnus</i> (Linnaeus, 1758)				+
Обыкновенная верховка <i>Leucaspis delineates</i> (Heckel, 1843)		+	+	+
Канальный сомик <i>Ictalurus punctatus</i> (Rafinesque, 1818)	+			
Европейская ряпушка <i>Coregonus albula</i> (Linnaeus, 1758)		+		
Обыкновенный сиг <i>Coregonus lavaretus</i> (Linnaeus, 1758)		+		
Пелядь <i>Coregonus peled</i> (Gmelin, 1789)	+	+		
Байкальский омуль <i>Coregonus autumnalis migratorius</i> (Georgi, 1775)	+	+		
Микижа (радужная форель) <i>Parasalmo mykiss</i> (Walbaum, 1792)	+		+	
Обыкновенный судак <i>Sander lucioperca</i> (Linnaeus, 1758)				+
Ротан-головешка <i>Percottus glenii</i> (Dybowski, 1877)		+		

### 1.6. Гидрологическое описание реки Чулым.

Река Чулым – правобережный приток р. Обь, берёт начало на восточных склонах Кузнецкого Алатау, образуется при слиянии р. Белый Июс и Черный Июс. Впадает на 2542 км от устья, длина водотока 1799 км, площадь бассейна 134 тыс. км<sup>2</sup>. Протекает по территориям трёх субъектов РФ – Республика Хакасия, Красноярский край, Томская область. В пределах Красноярского края протяженность реки составляет 1100 км. Водоток относится к Верхнеобскому бассейновому округу. Чтобы облегчить

ориентацию, мы разбиваем бассейн Чулыма на четыре основные зоны: верхнее, среднее и нижнее течения, а также Верхне-Чулымская группа озер.

От истока до пос. Красный Завод река горная, затем полугорная, имеет устойчивое русло, сложенное гравием и галькой. Однако, в пределах Чулымо-Енисейской котловины и до устья, русло реки слабоустойчиво, меандрирует и местами разделяется на рукава. Русловые отложения состоят из гравия и песка.

Рассматриваемый район находится в зоне умеренного резко-континентального климата, с продолжительной суровой зимой и коротким тёплым летом. Среднемесячная температура воздуха самого теплого месяца (июль) составляет  $+19^{\circ}\text{C}$ , а самого холодного (январь)  $-16^{\circ}\text{C}$  (Ресурсы поверхностных вод..., 1972; Пурдик, 2011).

Характер водного режима Чулыма сложен. Несмотря на различия в условиях питания и формирования стока, половодье является основной фазой всех участков реки и составляет от 60 до 90% годового стока. Весенне-летнее половодье и паводки в теплое время года характерны для верховья Чулыма, в то время как для средней и нижней частей реки свойственно весеннее половодье. Продолжительность половодья зависит от площади водосбора, заболоченности и озерности участка и составляет в среднем от 83 до 140 дней. Основным источником питания Чулыма являются твердые осадки, такие как снеговой сток, который составляет от 75 до 100% годового стока. Дождевой сток составляет около 0-10%, а грунтовый - 0-20%. В верхних и средних участках суммарный весенний сток дает около 70-95% годового стока. Летне-осенняя межень длится 3-4 месяца на всем протяжении реки, с июня по октябрь, а зимняя межень начинается в конце октября и заканчивается на подъеме половодья. Наибольший объем годового стока в Чулыме приходится на период наибольшей водности, т.е. на май и сентябрь, когда проходит около 80% годового объема стока. Среднегодовой расход воды варьируется от 101 до 1960 м<sup>3</sup>/с, при этом минимальные значения наблюдаются зимой (Ресурсы поверхностных вод ..., 1972).

Вдоль реки нет значительных изменений в температуре воды. Средняя месячная температура воды увеличивается на около 1 °С от верховья к устью с июня по сентябрь. Средняя температура воды в период с апреля по октябрь составляет примерно 10,1 °С, а весной переход температуры через отметку 0,2 °С происходит в конце апреля, а осенью - в конце октября. Средняя температура воды в районе Назаровской ГРЭС увеличивается на 11 °С в марте и октябре, а также на 8 °С в летние месяцы. Повышенные средние температуры наблюдаются на расстоянии около 60 км ниже по течению. Тем не менее, теплового загрязнения на этом участке не обнаружено (Ресурсы поверхностных вод ..., 1972; Хлынова, 2004).

Река Чулым преимущественно равнинного типа, характерно значительное меандрирование, местами русло разбивается на рукава и протоки, в пойме множество стариц.

## 2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ.

### 2.1. Характеристика объектов исследования.

Плотва обыкновенная (лат. *Rutilus rutilus* Linnaeus, 1758) — один из наиболее обыкновенных видов костных рыб, обитающих на территории России. Относится к отряду Карпообразные (лат. *Cypriniformes*), семейству Карповые (лат. *Cyprinidae*), роду Плотва (лат. *Rutilus*). Плотва — полиморфный вид, образующий много подвидов, которые бывают как оседлые, так и проходные. Многие из этих подвидов являются промысловыми, в зависимости от места обитания и плотности стада. От других рыб легко отличается по окраске радужной оболочке глаз и красному пятну на нем. Является эврифагом — то есть способна к питанию как животными, так и растительными кормовыми объектами, в зависимости от концентрации и распределения их по водоему (Абакумов и др, 1971). Взрослые питаются беспозвоночными и их личинками, моллюсками, а при обилии мальков и личинок рыб могут переходить на хищничество.

Сибирский подвид плотвы (сорога, чебак) — полностью пресноводный, оседлый, обладающий одним из самых быстрых темпов роста среди подвидов плотвы. Обитает на территории западной и восточной Сибири, от восточного Урала, до бассейна р. Лена. Населяет как крупные реки, так и небольшие реки и ручьи, озера, водохранилища, причем часто занимает первые места по численности среди рыбного населения как эврибионтный вид с большим потенциалом приспособлений к изменяющимся условиям среды (Атлас пресноводных рыб ..., 2002). Время нереста зависит от температуры воды, но обычно это конец апреля — начало мая, хотя могут быть значительные временные сдвиги в зависимости от степени нагревания воды (Кодухова, 2013).

Елец (лат. *Leuciscus leuciscus* Linnaeus, 1758) — промысловый и многочисленный вид. Относится к отряду Карпообразные (лат. *Cypriniformes*), семейству Карповые (лат. *Cyprinidae*), роду Елец (лат.

*Leuciscus*). Предпочитает участки рек с течением и проточные озера. Елец – эврифаг. В рацион взрослых особей входит зоопланктон, зообентос, имаго воздушных насекомых, детрит и водоросли. Иногда употребляет икру других рыб (Атлас пресноводных рыб..., 2002).

Сибирский подвид ельца (лат. *Leuciscus leuciscus baicalensis* Dybowski, 1874) — в бассейне Оби сибирский елец встречается повсеместно, начиная от истоков и заканчивая южной частью Обской губы. Он обитает в озере Телецкое и реках Бия и Катунь на Алтае, но не встречается в водоемах высокогорий. Верховья Оби относительно богаты этим видом. В бассейне Енисея елец широко распространен. На озере Байкал он в основном проживает на восточном берегу, но также встречается и на западном. Елец предпочитает участки с небольшой глубиной и песчано-илистым или илистым грунтом. Восточная Сибирь охватывает его ареал от Анабара до Колымы. В сибирских водоемах у ельца единовременный период нереста. Время нереста зависит от температуры воды, но обычно это конец апреля - начало мая, хотя могут быть значительные временные сдвиги в зависимости от степени нагревания воды (Попов, 2015).

## **2.2. Характеристика инвазивного вида.**

Уклейка (лат. *Alburnus alburnus* Linnaeus, 1758) – широко распространенный, многочисленный вид обитающий в Европе к северу от Альп и Пиренеев в Европе на восток до Урала в России. В России обитает в бассейне Балтийского, Черного и Азовского морей, реках Белого моря, в реках Каспийского моря – Эмбе, Урале, Волге, реках Дагестана и др. Относится к отряду Карпообразные (лат. *Cypriniformes*), семейству Карповые (лат. *Cyprinidae*), роду Уклейки (лат. *Alburnus*) (Атлас пресноводных рыб..., 2002).

В настоящее время обнаружена во многих водоемах и водотоках бассейна р. Оби (Бабкина и др., 2013). В Чулыме уклейка распространена по всему руслу и в притоках до плотины НГРЭС (до 1380 км от устья). У



плотины держится большими группами, вероятнее всего ввиду наибольшего прогрева воды из-за деятельности НГРЭС (Злотник, 2019). Рацион питания уклейки в бассейне р. Обь представлен наземными насекомыми, бентосом и зоопланктоном (Власов и др., 2017). В различных регионах исследований уклейка, являясь чужеродным видом, имеет довольно высокий уровень вероятности стать инвазионным видом (Dodd et al., 2019).

В реке Чулым этот вид оценивается как представляющий умеренный риск стать инвазионным, однако специальных исследований по этому виду на территории Сибири проводилось крайне мало. Исходя из данных о достаточно обширном ареале обитания, можно предположить, что данный вид приспособлен к широкому спектру экологических факторов – от температурного режима до мест укрытий, что позволяет ему найти благоприятные условия обитания при малом количестве лимитирующих факторов (Бабкина, 2013; Злотник, 2019).

### **2.3. Район работ.**

Сбор зообентоса производился в четырех точках, расположенных в Назаровском и Ачинском районах Красноярского края в 2020-м году. В районе г. Назарово, расположены три точки отбора – две выше от плотины НГРЭС (56.065278 с. ш., 90.343665 в. д.; 56.028901 с. ш., 90.416477 в. д.), где тепловое загрязнение отсутствует и одна ниже плотины НГРЭС (56.061590 с. ш., 90.324180 в. д.), в километре от места впадения подогретых вод сбросного канала НГРЭС в Чулым. В районе г. Ачинска расположена одна точка сбора (56.296855 с. ш., 90.491937 в. д.), где тепловое загрязнение уже рассеяно (Рис. 2).

Отбор аборигенных и инвазивных видов рыб производился в Назаровском и Ачинском районах Красноярского края в 2019-2022 годы. Уклейка отлавливалась в 8 километрах ниже по фарватеру от места впадения подогретых вод сбросного канала НГРЭС в Чулым. Плотва, елец и щука отлавливались в 13 километрах выше плотины НГРЭС (56.027632 с. ш.,

90.435509 в. д.), где тепловое загрязнение отсутствует и в районе г. Ачинска (Рис. 3).



Рисунок 2 - Точки отбора зообентоса (А – точки отбора в районе г. Ачинск. Б – точки отбора в районе г. Назарово).

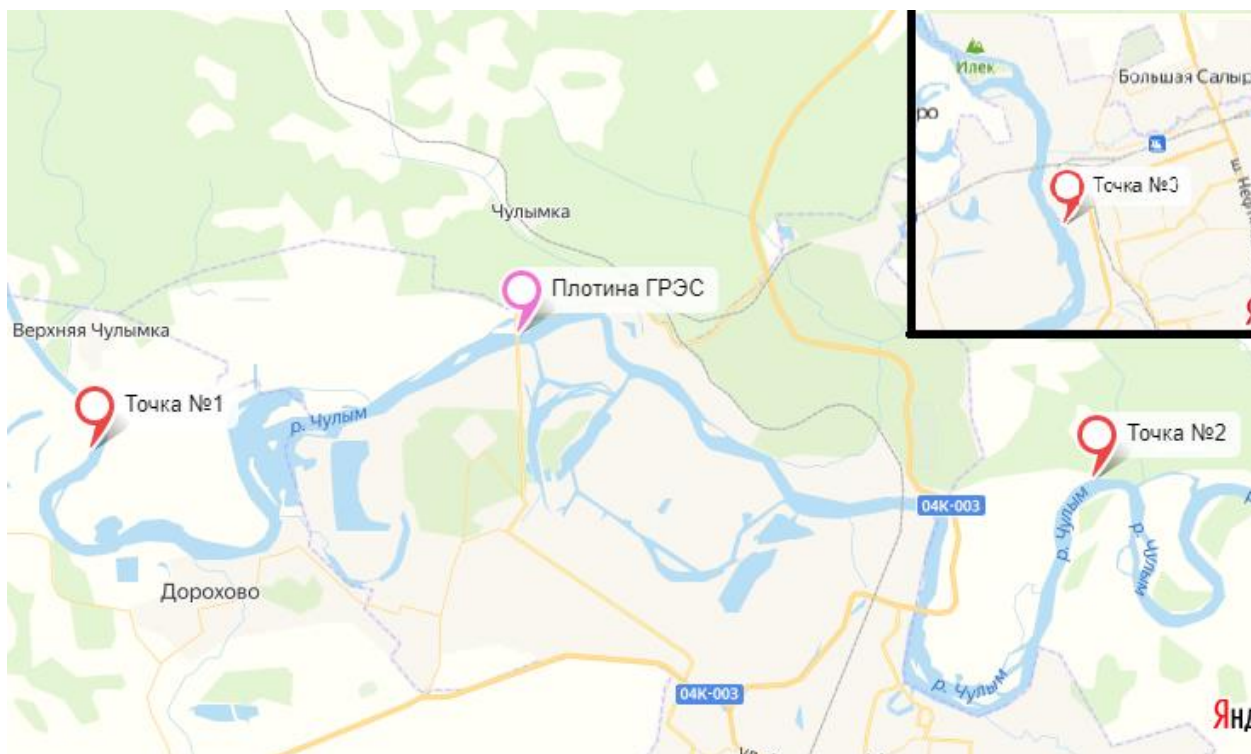


Рисунок 3 - Точки отбора уклеи (№1), плотвы, ельца и щуки (№2 и №3) (А – точки отбора в районе г. Ачинск. Б – точки отбора в районе г. Назарово).

#### **2.4. Методы биохимического анализа мышечной ткани рыб.**

Для изучения состава жирных кислот отбирались навески мышечной ткани (0,5-1 г) со спинной стороны тела рыбы на 1-2 см ниже спинного плавника. Пробы фиксировали в смеси растворителей хлороформ : этанол (2:1 по объему). Подготовка проб к хроматографическому анализу включала в себя ряд стандартных процедур (Sushchik et al., 2007):

1. Экстракцию и гомогенизацию. Ткани перетирали в ступке в смеси растворителя и пропускались через слой  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  безводного - для удаления воды.

2. Метанолиз. Полученный на первом этапе экстракт липидов подвергался метанолизу в щелочной и кислой среде на водяной бане для получения метиловых эфиров ЖК.

Определение состава метиловых эфиров жирных кислот (МЭЖК) проходило при помощи газового хроматографа со спектрометрическим детектором (модель 6890/5975С; Agilent Technologies, Santa Clara, USA) и капиллярной колонкой HP-FFAP (длина колонки 30 м, внутренний диаметр 0,25 мм). В качестве внутреннего стандарта, для определения количественного содержания ЖК, использовали С19:0 в концентрации 1 мг/мл.

#### **2.5. Методы анализа стабильных изотопов углерода и азота.**

Для проведения анализа применяется методика, которая основана на сравнении изотопных соотношений углерода ( $\delta^{13}\text{C}$ ) и азота ( $\delta^{15}\text{N}$ ) биомассы консументов с потенциальными источниками пищи, такими как низшие уровни консументов, сейстон, бентос, наземное органическое вещество и прочее (Caut et al., 2009; Gladyshev, 2009). Когда потребитель потребляет и усваивает пищу, происходит разница между  $\delta^{13}\text{C}$  и  $\delta^{15}\text{N}$  тканей и рационом. Это происходит из-за выбора определенных молекул субстрата во время

некоторых ферментативных реакций, что называется трофическим фракционированием (Gladyshev, 2009).

С помощью изотопного масс-спектрометра Delta V Plus, сопряженного с элементным анализатором (Thermo Fisher Scientific Corporation, США), было определено соотношение стабильных изотопов углерода  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  и азота  $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$  в общем органическом веществе мышц рыб и биомассе беспозвоночных.

Данные изотопного анализа были выражены общепринятым способом, то есть в виде разности между соотношением тяжелых и легких изотопов в пробе и стандартном образце (Vander Zanden et al., 2011):

$$\delta R(\text{‰}) = [R_{\text{проба}}/R_{\text{стандарт}} - 1] \times 103$$

где  $R = ^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  or  $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ , т. е. соотношение тяжелых и легких изотопов углерода или азота в пробе и в стандарте. В качестве стандарта для углерода используется ископаемый известняк Vienna PeeDee Belemnite (PDB), а для азота - атмосферный азот  $\text{N}_2$ . Точность измерений проверяли ежедневно с использованием вторичного референтного материала USGS40 Международного агентства по атомной энергии (L-глутаминовая кислота,  $\delta^{15}\text{N} = -4,5\text{‰}$  и  $\delta^{13}\text{C} = -26,39\text{‰}$ ). Аналитическая воспроизводимость составляла  $\pm 0,2\text{‰}$  для C и  $\pm 0,3\text{‰}$  для N.

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

\_\_\_\_\_

подпись      инициалы, фамилия

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20 \_\_ г

## ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

06.04.01.04 – Гидробиология и ихтиология

Изучение изменений пищевых сетей некоторых аборигенных

видов рыб реки Чулым в присутствии инвазивных видов

Тема

Руководитель



подпись, дата

20.06.2023

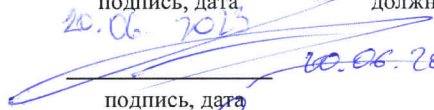
доцент, к.б.н.

должность, ученая степень

А. Е. Рудченко

инициалы, фамилия

Выпускник



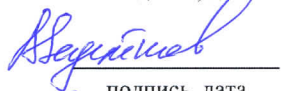
подпись, дата

20.06.2023

А. И. Вялкова

инициалы, фамилия

Рецензент



подпись, дата

20.06.2023

профессор, д.б.н.

должность, ученая степень

В. А. Заделенов

инициалы, фамилия

Красноярск, 2023