

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

Институт фундаментальной биологии и биотехнологии  
Кафедра водных и наземных экосистем

УТВЕРЖДАЮ  
Заведующий кафедрой

\_\_\_\_\_   
подпись    инициалы, фамилия  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2017г.

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

06.03.01 – Биология

Донные беспозвоночные разных типов грунта верховья реки Енисей (район  
г. Кызыл)

Руководитель	_____	к.б.н _____	Шулепина С.П. _____
	подпись, дата	должность, ученая степень	инициалы, фамилия
Выпускник	ББ13-03Б _____	_____	Сысолятина Ю.В. _____
	номер группы	номер зачетной книжки	подпись, дата    инициалы, фамилия

Красноярск 2017

# СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	3
<b>Глава 1.</b> Обзор литературы.....	4
1.1. Донные беспозвоночные в оценке качества воды .....	4
1.2. Распределение зообентоса по грунтам.....	5
1.3. Донные беспозвоночные в пище основных видов рыб.....	21
1.4. Гидрология реки Енисей .....	27
1.5. Гидрохимия реки Енисей.....	29
<b>Глава 2.</b> Материалы и методы исследования.....	31
2.1. Характеристика района исследования.....	31
2.2. Методика отбора и обработки проб зообентоса .....	31
<b>Глава 3.</b> Анализ результатов.....	32
3.1. Видовой состав зообентоса разных типов грунта верховья р. Енисей..	32
3.2. Численность и биомасса зообентоса верхнего района р. Енисей (Временная динамика плотности донной фауны; Межгодовая динамика плотности бентофауны).....	37
Выводы.....	42
Список литературы.....	44

## ВВЕДЕНИЕ

Актуальность данной работы обусловлена тем, что в настоящее время все чаще поднимается проблема загрязнения водных объектов. Экологическая пластичность служит важным регулятором расселения водных организмов. Бентос - это организмы, которые играют важнейшую роль в водном биологическом сообществе. Бентосные виды представляют собой разнородную группу, которая является основным звеном в пищевой цепи. Важно отметить, что в рационе ценных видов рыб, обитающих в Енисее, зообентос играет главную роль, поэтому его изучение очень важно также как и в биоиндикации качества воды.

Основные гидробиологические исследования верхнего района Енисея были начаты в середине 1950-х г. В.Н. Грезе, на сегодняшний день имеются данные по структуре зообентоса среднего и нижнего района р. Енисей, данные о современном состоянии бентофауны по верхнему району реки в литературе отсутствуют. До этого времени бентос не изучался углубленно, поэтому данную работу считаю расширением имеющихся сведений по исследованию зообентоса.

Цель исследования - изучить структуру донной фауны верховья р. Енисей в районе г. Кызыл.

Задачи исследования:

1. Изучить видовой состав донных беспозвоночных р. Енисей, в районе г. Кызыл на разных типах грунта;
2. Изучить численность, биомассу зообентоса разных типов грунта;
3. Изучить временную динамику плотности зообентоса;
4. Изучить межгодовую динамику плотности бентофауны.

## **Глава 1. Обзор литературы**

### **1.1. Донные беспозвоночные в оценке качества воды**

При биологических оценках состояние биоты определяют для различных уровней: структура, таксономический состав, состояние особей и биологические процессы, т.е. используется интегрированный подход.

Набор этих показателей является биологическими критериями, которые выступают в роли индикаторов. Другими словами, биологическая оценка - это оценка состояния методом использования биологических критериев (биоиндикаторов).

Важным моментом при биологических оценках является выбор биологических критериев, которые бы свидетельствовали об ухудшении качества воды. Присутствие, число и состояние рыб, насекомых и других организмов - это данные, которые совокупно обеспечивают прямую и точную информацию о состоянии водных масс [1].

В комплексном экологическом мониторинге состояния окружающей среды гидробиологический мониторинг водных объектов является важной составляющей. В основе гидробиологического мониторинга лежат исследования по биоиндикации с целью наблюдений, оценки и прогноза состояния водных экосистем в условиях все усиливающегося антропогенного пресса. Биологические методы основаны на том, что для жизнедеятельности - роста, размножения и функционирования - живых существ необходима среда строго определенного химического состава. При изменении этого состава, например, при исключении из питательной среды какого-либо компонента или введении дополнительного (определяемого) соединения организм через какое-то время, иногда практически сразу, подает соответствующий ответный сигнал. Установление связи характера или интенсивности ответного сигнала организма (называемого индикаторным) с количеством введенного в среду или исключенного из среды компонента служит для его обнаружения или определения. Аналитическими индикаторами в

биологических методах являются различные живые организмы, их органы и ткани, физиологические функции, биохимические реакции и т. д [2].

При контроле качества поверхностных вод проводится структурный анализ популяций, биоценозов донных (бентосных) организмов. Видовой состав и количественное развитие биоценозов донных организмов надежно характеризуют степень загрязнения грунта и придонного слоя воды.

Состав биоценозов относительно постоянен, пока он находится в условиях, в которых он сформирован. В достаточно чистых водах донные сообщества в хорошо аэрируемых участках дна характеризуются высоким видовым разнообразием, что свидетельствует о нормальном состоянии водной экосистемы. В загрязненных водоемах выпадают группы животных, наиболее чувствительные к отдельным загрязняющим веществам. Происходит видоизменение состава биоценозов, иногда катастрофическое, приводящее к замене его другим составом.

Донные беспозвоночные организмы играют важную роль в формировании структуры реобиомов, особенно в верховьях рек. Отличаясь меньшей миграционной способностью и тесным контактом с субстратом, бентосные организмы формируют более стабильные сообщества и, соответственно могут дать интегральную оценку экологического состояния конкретного участка водотока [3,4].

## **1.2. Распределение зообентоса по грунтам**

Бентос - жизненная форма, организмы которой обитают на поверхности грунта и в его толще. По размерам различают микро - (мельче 0,1 мм), мезо- (0,1-2 мм), макробентос (больше 2 мм). Бентос состоит из бактериобентоса, зообентоса и фитобентоса.

Организмы зообентоса занимают в водоеме два основных биотопа: грунт (поверхность и толщу) и растительность. Подвижные организмы могут отрываться от поверхности субстрата и плавать в воде, занимая, таким образом, третий биотоп - водную толщу в пределах придонного слоя воды или водного пространства в зарослях макрофитов.

Некоторые виды животных могут обитать в каждом из трех биотопов и находиться в разных условиях загрязнения, поскольку грунт в ряде случаев загрязнен сильнее толщи воды. Сам же грунт в прибрежной зоне и на глубине может содержать различные концентрации и виды загрязняющих веществ [2].

В комплексе факторов среды, влияющих на распределение макрозообентоса вдоль речных русел, определяющими являются глубина, скорость течения и характер донных отложений. Значимость характера грунта и скорости течения столь велика, что отношение отдельных видов и сообществ беспозвоночных к этим двум генеральным факторам легло в основу широко используемой классификации речных донных биоценозов [4].

Можно выделить три основных биоценологических комплекса, слагающихся при трех наиболее характерных сочетаниях главных экологических условий русла реки - грунта и течения. Этими биоценозами будут: литореофильный, занимающий галечно-каменистые грунты, омываемые значительным течением, и потому наиболее типичный для верхнего Енисея; псаммореофильный, типичный для перемываемых речных песков и потому наиболее распространенный в среднем течении реки; пелофильный, свойственный илистым отложениям, формирующимся в условиях затухающего течения и потому особенно характерный для дельты, отчасти губы.

Кроме этих трех своеобразных, резко различных биоценозов, в Енисее сравнительно широко развиты биоценозы, формирующиеся в промежуточных гидрологических условиях - на галечно-песчаных и на илисто-песчаных грунтах. Первый из них, наиболее обычный в нижней части верхнего и верхней части среднего плесов Енисея, можно характеризовать как лито-псаммореофильный, слагающийся из литореофильных и псаммореофильных организмов. Второй биоценоз, занимающий большие площади в нижнем течении и дельте, где скорости реки снижены, составляют в основном организмы псаммо-пелофильные [5].

Донных организмов в поверхностном стоке реки Енисей в районе Красноярска гораздо меньше, чем планктонных (пробы отобраны с июня по ноябрь 1956г.). Их максимальный элементарный расход не превышал 800 экз/сек, как это наблюдалось в июне. Средний расход бентоса в поверхностной части сечения русла за период наблюдений составлял 720 экз/сек при среднем содержании  $3,7 \text{ экз/м}^3$ .

В течение всего периода наблюдений в бентосной части стока неизменно преобладали личинки тендипедид, составлявшие от 55 до 100% от общего числа донных организмов. Среди них многочисленны *Orthocladius gr. saxicola*, *Eukiefferiella sp.*

В составе донной фауны р. Енисей на участке от Красноярской ГЭС до устья р. Ангара обнаружено более 100 видов и форм бентосных организмов. Из них личинок двукрылых - 51 (46 видов хирономид), олигохет - 10, поденок - 11, моллюсков - 5, пиявок - 3, амфипод - 5, остальные группы донных организмов (веснянки, нематоды, водяные клопы, вислокрылки) были представлены 1-3 видами.

Среди амфипод в массе были распространены только два вида, остальные виды обнаружены единично. Как следует из полученных данных, байкальские амфиподы не только распространились вверх по Енисею до плотины ГЭС, но и заняли доминирующее положение в зообентосе. Интересно отметить, что в самом верхнем на данном участке притоке - р. Мана биомасса амфипод оказалась незначительной, тогда как в устье ближайшего к Ангаре притока - р. Кан они доминировали, как и русле Енисея. Наименее выраженным доминирование амфипод было вблизи плотины ГЭС. Средняя биомасса зообентоса на исследованном участке составила около  $6 \text{ г/м}^2$  и мало изменилась по сравнению с 1940-1950 годами [6].

Малощетинковые черви занимали одну из доминирующих позиций в общей численности и биомассе зообентоса во всех зонах на всех исследованных типах грунта оз. Большой Харбей. На гравийно-галечных

грунтах литорали в число субдоминантов входили *Chernosvitoviella sp.*, *Enchytraeidae gen. sp. juv.*, *Nais barbata* (Müller), *Uncinaiis uncinata* (Oersted), *Tubificidae gen. sp. juv.*, на песчаных грунтах - те же виды совместно с *Cognettia glandulosa* (Michaelsen), *Lumbriculus variegatus* (Müller), *Piguetiella blanci* (Piguet).

На глинистых грунтах литоральной и сублиторальной зон четко выраженного доминанта не было выявлено, однако были отмечены виды, преобладающие по численности и составляющие группу второстепенных (D - от 1,2 до 9,3): *Chernosvitoviella sp.*, *Chaetogaster diaphanus*.

Наибольшие значения средней численности личинок хирономид отмечались на разнообразных грунтах. Основу численности зообентоса в литоральной зоне на всех типах грунта составляли олигохеты, ракообразные и личинки хирономид. На песчаных и илистых грунтах совместно с этими группами доминировали нематоды. Наиболее многочисленны ракообразные были на галечно-гравийных грунтах, здесь средние значения их численности определяли точки наибольшей концентрации зообентоса. На долю червей (нематоды и олигохеты) приходилось максимально до 43 % общей численности зообентоса на илистых грунтах, личинок хирономид до 45 % на глинистых грунтах [7].

Сообщества бентосных беспозвоночных илов отличаются невысоким таксономическим разнообразием, сравнительно высокими численностью и биомассой зообентоса, доминированием 2-3 видов животных преимущественно из сем. Chironomidae и сем. Tubificidae, однородным пространственным распределением организмов, связанным, в первую очередь, с относительным постоянством среды обитания.

Пески встречаются преимущественно в прибрежье водохранилищ и занимают незначительную площадь дна водоемов, наиболее распространены песчаные субстраты в водоемах-охладителях озерного происхождения (озера Кенон и Гусиное). Бентосные сообщества песков водоемов-охладителей, как и других водных объектов, характеризуются невысоким таксономическим

разнообразием и низкими значениями численности и биомассы животных; доминируют преимущественно формы, обитающие на поверхности субстрата. Так, в оз. Гусином биомасса зообентоса чистых песков ( $2.3 \text{ г/м}^2$ ) была на порядок ниже, чем в других биотопах.

Каменистые субстраты слабо распространены в водоемах-охладителях, обычно они представлены искусственно внесенным в берегоукрепительных целях щебнем и как правило встречаются в литорали приплотинного и водоподводящего участков; в литорали водоемов-охладителей озерного происхождения встречается также галечник. Донные зооценозы каменистых субстратов таксономически разнообразны (уступают только зарослям макрофитов), однако для них характерно неравномерное пространственное распределение беспозвоночных, что связано с нестабильностью условий обитания в прибрежье. Так, в сентябре 2002 г. в Беловском водохранилище прибрежные участки с каменистыми субстратами были наименее схожи между собой, а амплитуда колебаний биомассы зообентоса была максимальной ( $1.8\text{-}38.0 \text{ г/м}^2$ ) [8].

Зообентос малых рек центральной части Соликамской депрессии неоднороден. Наиболее широкое распространение на изученной территории получают зообентоценозы, формирующиеся на среднезаиленных песчаных грунтах. Ядро зообентоценозов данного типа составляют личинки комаровидных двукрылых - болотниц *Dicranota bimaculata* (Schummel, 1829), долгоножек Tipulidae и звонцов Chironomidae. Наряду с ними в этих сообществах заметную роль играют веснянки *Nemoura cinerea* (Retzius, 1783), ручейники *Potamophylax latipennis* (Curtis, 1834), малощетинковые черви Tubificidae, брюхоногие и двустворчатые моллюски Lymnaeidae и Euglesidae. Песчано-гравийно-галечные грунты с умеренной степенью заиления в пределах изученного участка имеют локальное распространение.

К ним приурочены сообщества, основу которых составляют брюхоногие моллюски *Lymnaea auricularia* (Linnaeus, 1758) и личинки поденок *E. vulgata*.

В сложении биомассы донной фауны заметное участие принимают личинки

долгоножек Tipulidae, слепней Tabanidae, бекасниц *Atherix ibis* (Fabricius, 1798), болотниц *D. bimaculata* и *Antocha vitripennis* (Meigen, 1830), ручейников *Anabolia soror* McLachlan, 1875 и *P. latipennis*, часто встречаются личинки и взрослые жуки Elmiidae, личинки комаров-звонцов Chironomidae, бабочниц Psychodidae, мошек Simuliidae, мокрецов Ceratopogonidae, веснянок *N. cinerea* и *Taeniopteryx nebulosa* (Linnaeus, 1758), вислокрылок *Sialis sp.*, речные чашечки *Ancylus fluviatilis* (Mueller, 1774) и горошины *Pisidium amnicum* (Mueller, 1774), малощетинковые черви Tubificidae [9].

На преобладание личинок тендипедид в биосточе реки Мологи указывает Иоффе (1949), по данным которой они составляют от 29 до 88% в поверхностном горизонте, в паводок содержание донных животных колеблется от 1 до 15 экз/м<sup>3</sup>, р. Волга у Тетюш (Аристовская, 1945) несет в паводок от 1,3 до 3,8 экз/м<sup>3</sup>; близ г. Куйбышева (Жадин, 1948) количество донных организмов в стоке во время паводка колебалось от 4 до 31 экз/м<sup>3</sup>. В р. Днепре (Марковский, Оливари, 1956) в мае, в период наибольшего расхода воды, средняя плотность донных организмов для всего живого сечения реки не превышала 2,6 экз/м<sup>3</sup>. Между тем, в р. Енисее у г. Красноярска в паводок только в поверхностном горизонте содержится 6,8 экз. донных организмов на 1 куб. м воды. Таким образом, сток бентоса в Енисее больше, чем во многих других реках, что объясняется значительно более сильным его течением [5].

Для Ладожского озера известно об обитании в нем 240 видов и форм мейобентоса. Из этого числа в литоральной зоне озера встречено 228 видов.

Литоральный мейобентос в Ладоге представлен животными следующих систематических групп: Nematoda, Oligochaeta, Turbellaria, Tardigrada, Bivalvia, Gastropoda, Rotatoria (классы); Ostracoda (подкласс); Cladocera, Cyclopoida, Harpacticoida, Acari, Ephemeroptera, Plecoptera (отряды); Chironomidae, Ceratopogonidae (семейства). Из этих групп массовыми и наиболее часто встречающимися являются: Nematoda, Cyclopoida, Harpacticoida, Oligochaeta, Ostracoda, Cladocera, Chironomidae [10].

Условия обитания в лососевых реках Тимана, Северного и Приполярного Урала являются благоприятными для донных организмов, которые играют основную роль в функционировании их водных экосистем. По результатам гидробиологических исследований, здесь зарегистрировано 29 групп бентоса: 27 - установлено в водотоках Урала (24 группы - в реках Приполярного Урала, 27 - Северного Урала) и 28 - в водотоках Тимана. В бентосе тиманских рек найдены ракообразные - Amphipoda (*Gammarus lacustris* Sars.) и Decapoda (*Astacus leptodactylus* Eschsch), не установленные в лососевых реках Урала амфиподы указываются для бентоса горных озер в бассейне р. Вангыр (Приполярный Урал). Из всего списка групп донной фауны, приводимых для бентоса водоемов европейского Северо-Востока России, в лососевых реках Урала и Тимана не найдены лишь Porifera, Phylloporoda, Neuroptera, которые обнаружены только на территории равнины в водоемах бассейнов Вычегды и Печоры.

Состав групп бентоса исследованных рек однообразен. В лососевых реках Урала и Тимана на стабильных галечно-валунных грунтах с растительными обрастаниями наиболее часто распространены Oligochaeta, Hydracarina, личинки Ephemeroptera, Plecoptera, Coleoptera, Trichoptera, и Chironomidae. Редко в бентосе этих рек присутствуют Hydrae, Nematomorpha, Bryozoa, Decapoda, Tardigrada, личинки Odonata, Hemiptera. На участках рек со значительной аккумуляцией песка и ила на галечно-валунных грунтах чаще встречаются представители «истинного» бентоса - олигохеты и моллюски [11].

Отличительными особенностями камчатской бентофауны до настоящего времени считались небольшое разнообразие, отсутствие строгих стенобионтов и слабая типологическая приуроченность видов (Леванидов, 1981; Леванидова, 1970, 1982), однако установлено, что распространение большинства видов более или менее ограничено.

Стенобионты установлены в камчатской бентофауне впервые. Хирономиды *Diamesa steinboeckii*, *D. bertrami*, *D. aberrata*, *D. geminata*,

*Orthocladius (M) roussellae*, мошки *Gimnopsis bifistulatus*, *G. frontatus*, *Twinnia sp.* и ракообразные отр. Bathynellacea встречаются только в холодноводных горных водотоках, причем наиболее многочисленны в зоне снежников. Распространение хирономид *Pseudodiamesa gr. nivosa*, *Micropsectra pharetrophora* и *Tanytarsus gr. chinyensis* ограничено предгорными водотоками с мощным грунтовым питанием. Эти виды господствуют на заиленном дне родников, в «лососевых ключах» их численность напрямую зависит от доли грунтового питания [12].

На дне озера Байкал наиболее богатыми являются илистые грунты, причем для этих грунтов наиболее обильная биомасса встречена на глубинах 10-25 м, а для песчаных грунтов и песчаных с илом наиболее богаты грунты на глубине 25-50 м.

В Ангарском соре средний вес биомассы составляет 1.59 г на 1 кв. м. В донном населении преобладают моллюски из родов сфериум (*Sphaerium*) и пизидиум (*Pisidium*), личинки хирономид и олигохеты. В заливе Провал биомасса составляет в среднем 10.8 г на 1 кв. м, причем в ней доминируют олигохеты, составляющие до 50% всей биомассы, затем гаммариды, составляющие 35-40% веса, и некоторые иные организмы. Посольский сор характеризуется биомассой в среднем в 4 г на 1 кв. м. Главная составная часть веса биомассы падает также, на олигохет (до 80% веса), а среди остальных преобладают моллюски, личинки хирономид и гаммариды. Соры и заливы Байкала приближаются по своей продуктивности к тому, что имеет место среди богатых биомассой обычных озер Сибири (Чаны, Сартлан) [13].

На участке р. Тимптон в районе пос. Нагорный (Южная Якутия) зообентос был представлен 10 группами, численность которых насчитывала 3 264 экз/м<sup>2</sup> при биомассе 0,796 г/м<sup>2</sup>. В сообществе преобладали хирономиды, достигая 89,7 % численности и 41,2 % биомассы бентоса. В эту же категорию входили поденки (44,8 %) по биомассе. Категорию субдоминантов группового состава бентоса представляли веснянки (7,9 %) по биомассе.

Видовой состав сообщества в р. Тимптон у пос. Нагорный включал 34 таксона. По биомассе доминировали поденки *Metretopus sp.* и хирономиды *Eukiefferiella limuri* Makar.et Makar. Хирономиды *Orthocladus sp.* и *Micropsectra sp.* входили в состав субдоминантов, а *Rheotanytarsus sp.*, *Thienemanniella sp.* и *Euryhapsis cilium* Oliver в категорию второстепенных видов. Кроме того, к второстепенным видам по биомассе относились веснянки *Megarcys sp.*, *Nemoura sp.* и поденки *Baetis vernus* Curt. В видовой структуре сообщества по численности во всех категориях преобладали хирономиды: *Rheotanytarsus sp.* и *Orthocladus sp.* - доминировали; *Eukiefferiella limuri*, *Thienemanniella sp.* и *Micropsectra sp.* относились к субдоминантам и 13 видов входили в категорию второстепенных. К второстепенным по численности относились также 10 видов ручейников, веснянок и поденок [14].

В составе бентосных сообществ малых горных рек Хибин (Кольский полуостров) выявлены организмы следующих групп: Oligochaeta, Gastropoda, Bivalvia, Insecta. Насекомые представлены отрядами Ephemeroptera (доминирует *Baetis rhodani* Pictet 1843), Plecoptera (наиболее многочисленны *Arcynopteryx compacta* McLachlan 1872), Trichoptera (в составе сообществ преобладают *Rhyacophila nubila* Zetterstedt 1840 и *Hydropsyche sp.*), Coleoptera (сем. Dytiscidae) и Diptera. Из двукрылых многочисленны Simuliidae и Chironomidae. Наибольшая численность и биомасса зообентоса была отмечена в местах локального скопления личинок мошек (Simuliidae) на поверхности валунов и в зарослях зеленых нитчатых водорослей р. Ulotrix. Здесь были многочисленны личинки хирономид подсем. Diamesinae (*Diamesa sp.*), численность которых достигала 10 тыс. экз./м<sup>2</sup>, биомасса - 15 г/м<sup>2</sup>. На участках с песчаным грунтом количественные показатели были значительно ниже - соответственно 100-150 экз./м<sup>2</sup> и 0,14-0,21 г/м<sup>2</sup>. На перекатах доминировали представители реофильных групп - поденки, веснянки, ручейники, личинки жесткокрылых. В плесовых участках на заиленных грунтах преобладали олигохеты [15].

На илистых грунтах профундали исследованных водоемов-охладителей преобладает хирономидно-олигохетный комплекс видов.

Доминирующую группу составляют пять родов: *Chironomus* (представленный в разных водоемах *Ch. gr. plumosus* и *Ch. anthracinus* Zett.), *Limnodrilus* (преимущественно *L. hoffmeisteri* Claparede и *L. claparedianus* Ratzel), *Procladius* (*P. ferrugineus* Kieff. и *P. choreus* Kieff.), *Tubifex* (*T. tubifex* Mull.), *Polypedilum*. В глубоководной и отепленной зонах водохранилищ доминируют, как правило, 1-2 вида, что приводит к заметному увеличению индексов доминирования. В подогреваемой зоне многих водохранилищ (озера Кенон и Гусиное, Беловское, Экибастузское, Харанорское водохранилища) отмечено повышение доли олигохет по сравнению с непоогреваемым участком. Незначительная доля олигохет отмечена только в Барабинском водохранилище, где на протяжении всего периода исследований доминировали хирономиды, составлявшие 90-100% биомассы. Увеличение роли олигохет в биомассе зообентоса илов отепленной зоны водохранилищ - общая особенность структуры бентосных сообществ водоемов-охладителей различных природных зон: схожие тенденции отмечены при исследованиях водоемов Литовской и Криворожской ГРЭС, Кольской АЭС. Смена хирономидных ценозов на олигохетные происходит обычно к пятому-седьмому году существования водохранилищ, что, вероятно, связано с формированием в этот период илистых грунтов. В зооценозах зарослей высшей водной растительности в оз. Гусином доминирует *G. fasciatus*, водоеме- охладителе Экибастузской ГРЭС - *Paramysis lacustris* Czerniavsky и *G. lacustris* , в оз. Кенон - *G. lacustris* , в остальных водоемах роль амфипод была невелика. Среди моллюсков чаще всего доминируют представители р. *Pisidium* и р. *Sphaerium* на мягких субстратах, р. *Лумнаеа* - на твердых, среди хирономид в зарослях обычно встречаются личинки р. *Cricotopus* и р. *Glyptotendipes*, среди олигохет в прибрежье доминирует р. *Nais*, среди поденок массовый вид - только *Caenis horaria* (L.). При исследованиях Беловского водохранилища отмечено

упрощение трофической структуры зообентоса: обнаружена общая тенденция вытеснения из бентоса хищников (*P. ferrugineus*, *Cryptochironomus gr. defectus*) и фильтраторов (р. *Pisidium*) эври- и детритофагами, способными поглощать грубую пищу (*G. fasciatus*, р. *Lymnaea*, *Glyptotendipes glaucus* (Meigen)) [16].

В верхнем течении р. Кадалинки в макрозообентосе отмечено 8 групп организмов: олигохеты, веснянки, поденки, ручейники, мошка, типулиды, лимониды, хирономиды. Основу комплекса макрозообентоса составляют хирономиды. В среднем течении отмечено 14 групп организмов: к группам верхнего течения добавляются веслокрылки, жуки, чешуекрылые, табаниды, мокрецы, клещи, пауки. Доминировали хирономиды, ручейники, веслокрылки. В нижнем течении найдено 12 групп организмов: исчезают веснянки, веслокрылки, чешуекрылые, лимониды и пауки, добавляются гастроподы, двустворчатые моллюски и амфиподы. Доминировали хирономиды, амфиподы, гастроподы. Рассмотрение вопроса о присутствии амфипод в реках бассейна Верхнего Амура требует более тщательного изучения. Присутствие амфипод не характерно для водотоков бассейна Верхнего Амура, в том числе в Кадалинке, в отличие от водотоков других регионов России. В настоящее время в устье Кадалинки обитают два вида амфипод: *Gammarus lacustris* и байкальский эндемик *Gmelinoides fasciatus*. В устье Кадалинки амфиподы являются доминирующей группой, составляя в некоторых пробах до 99% биомассы и численности, и изменяя структуру сообществ бентоса, выедая практически всех остальных беспозвоночных.

Структуры сообществ макрозообентоса исследуемых ключевых участков в целом не имели больших различий, что обусловлено присутствием на большинстве станций стабильных грунтов, на которых доминировали в основном личинки амфибиотических насекомых (хирономиды, поденки, ручейники, веснянки, мошка, веслокрылки). Из общей картины распределения сообществ макрозообентоса по типам грунтов выделялись 8 и 10 станции: при этом на 8 станции доминировали олигохеты,

на 10-й станции - амфиподы. На первой это связано с присутствием значительного количества песка и детрита в грунте, на второй также с наличием песка и главным образом с доминированием амфипод в устьевом участке реки. По данным гранулометрического анализа было установлено, что большинство донных отложений представлено валунно-галечными грунтами с подчиненным количеством гравия, песка и небольшим заилением, в некоторых случаях с включениями песка или небольшим заилением. На данном типе грунта по численности доминировали хирономиды (41%) и мошка (24%), субдоминантами оказались олигохеты (12%), лимониды (12%) и ручейники (8%). По биомассе основу сообществ составили хирономиды (57%) и мошка (16%), в группу субдоминантов вошли олигохеты (13%).

Чуть реже отмечаются песчано-галечный и галечно-песчаный грунт с присутствием гравия и ила, на которых структура сообществ слабо отличалась от сообщества валунно-галечного грунта. По численности доминировали хирономиды (31%) и мошка (26%), субдоминантами оказались лимониды (14%), веслокрылки (12%), олигохеты (9%), ручейники (8%). По биомассе преобладали хирономиды (72%) и олигохеты (14%).

Песчаные грунты были отмечены на нижнем участке среднего течения реки. В песке встречался различный детрит (листья, палки, шишки и т.д). На данном типе грунта доминировали олигохеты (72%), в группу субдоминантов вошли типулиды (11%), веснянки (10%), ручейники (5%). По биомассе – олигохеты (81%).

Илисто-песчаные грунты с большим количеством органики были отмечены в верхнем течении реки, где русло имеет характер бочагов: небольших ям с практически стоячей водой и валунным грунтом с обрастаниями колоний носток. В связи с замедлением течения на данном типе грунта происходит накопление песка и ила. Несмотря на условия, близкие к озерным, комплекс бентоса представлен типичными для верховья рек группами организмов: доминировали хирономиды (47%), ручейники (25%), мошка (21%), в группу субдоминантов вошли веснянки (7%). По

биомассе - хирономиды (68% ) и веснянки (16%), субдоминантом оказалась мошка (12%).

На устьевом участке реки был отмечен гравийно-песчаный грунт. В связи с присутствием на устье реки амфипод, заплывающих сюда из озера Кенон, по численности и биомассе на этом грунте они доминировали (96 и 87% соответственно). Таким образом, таксономическое разнообразие и количественные характеристики бентоса во многом определяются размерами частиц грунта, но не всегда этот фактор является решающим. Более тесная связь донных отложений и бентоса наблюдается тогда, когда гранулометрический состав грунта является решающим условием существования какой-либо группы организмов по сравнению с другими факторами среды [17].

Сравнительный анализ видового разнообразия донного биоценоза коренного русла Волги и рукавов дельты Волги (Бузан, Бушма, Кизань, Бахтемир) показал, что помимо традиционных видов донных беспозвоночных, отмеченных на изучаемых участках низовьев р. Волги (*N. robustoides*, *N. abbreviatus*, *N. deminutus*, *N. (P.) obesus*, *N. corpulentus*, *N. compactus*, *N. carausui*, *Dikerogammarus caspius*, *D. haemobaphes*, *Corophium curvispinum*, *Pterocuma pectinata*; амфибиотических насекомых - Trichoptera, Odonata, Ephemeroptera, Coleoptera, Hemiptera, Diptera, с доминированием среди них семейств двукрылых: Chironomidae, Ceratopogonidae, Tabanidae и Culicidae; моллюсков - *Theodoxus pallasii*, *Viviparus viviparus*, *Lithoglyphus naticoides*, *Dreissena polymorpha*, *Unio longirostris*, *U. pictorum*, малощетинковых червей кл. Oligochaeta), были определены и редкие таксоны (*Paramysis intermedia*, *P. lacustris*, *Limnomysis benedeni*, *Katamysis warpachowskyi*), зарегистрированные только в коренном русле Волги, рукавах Бузан и Бахтемир. Кроме этого, в коренном русле Волги отмечали редкие, единичные экземпляры моллюсков *Pseudanodonta complanata*, *P. elongata*, зафиксированных также и в рукавах Бузан и Бушма [18].

Неблагоприятные условия обитания Рыбинского водохранилища (волновое воздействие и ежегодное осушение) в открытом мелководье привели к формированию здесь хирономидного сообщества, основу которого в верхнем горизонте прибрежной зоны (ПЗ) составляли детритофаги собиратели (*Lipiniella araenicola* и *Cladotanytarsus ex gr. mancus*). В нижнем горизонте ПЗ по численности доминировали детритофаги собиратели (*C. mancus* и *Stictochironomus crassiforceps*), по биомассе - фитодетритофаги фильтраторы+собиратели (*Chironomus muratensis*). Последний вид, вместе с детритофагом глотателем *Tubifex newaensis* доминировали по биомассе на илистых песках, где основу численности составляли детритофаги собиратели из родов *Cladotanytarsus*, *Polypedilum* и *Tanytarsus*. Основную площадь глубоководной зоны занимают серые илы и песчанистые серые илы. Часть заиленных песков и песчанистых серых илов в настоящее время занимает биотоп заиленного ракушечника, на котором около 50% от общей численности и 98% биомассы приходилось на фитодетритофагов фильтраторов (*Dreissena polymorpha* и *D. bugensis*). На серых илах основу численности составляли детритофаги глотатели (олигохеты из родов *Limnodrilus*, *Potamothrix* и *Tubifex*) и детритофаги собиратели (хирономиды из родов *Cladotanytarsus*, *Polypedilum* и *Tanytarsus*), а биомассы - фитодетритофаги фильтраторы+собиратели (*Chironomus plumosus*) и детритофаги глотатели (олигохеты из вышеперечисленных родов). Таким образом, на подавляющем большинстве биотопов Рыбинского водохранилища основу численности и биомассы макробеспозвоночных составляли собиратели, фильтраторы+собиратели и глотатели, в то время как на биотопе заиленного ракушечника существенно преобладали фильтраторы [19].

В зообентосе Беловского водохранилища отмечено 137 таксонов бентосных беспозвоночных. Максимальное число таксонов относится к Diptera (59 видов, из них Chironomidae - 46). Наибольшая частота встречаемости отмечена у *Glyptotendipes glaucus* Meigen (53%),

*Chaetogammarus sp.* (40%), *Limnodrilus hoffmeisteri* Claparede (40%), *Limnea sp.* (п/род *Radix* (35%), *Limnodrilus claparedianus* Ratzel (33%), *Tubifex tubifex* Müller. (33%), *Chironomus gr. plumosus* (31%). Вызывает особый интерес обнаружение в сбросном канале двух видов брюхоногих моллюсков, неопределенных до вида (один из них по Жадину - сем. *Micromelaniidae* - обитатели пресных и солоноватых вод Черного и Каспийского морей, второй близок к тропическому семейству *Ampulariidae*). Около половины таксонов (64) можно отнести к редким для водохранилища формам; 29% таксонов встречены только в зарослях макрофитов. В бентосе водохранилища по числу видов преобладают детритофаги, значительно ниже доля хищников (16% видов) и фильтраторов (5% видов). В зарослях макрофитов выше доля хищников (26% видов) и не было обнаружено фильтраторов [20].

Вавайские озера. Обнаружено 79 видов макробентоса. Из них 16 видов - макрофиты и макроформы обрастаний, прочие - беспозвоночные. В действительности количество видов бентоса Вавайских озер гораздо больше, что объясняется слабой идентификацией мелких моллюсков. Кроме того, возможна бóльшая представленность амфибиотических насекомых, присутствие которых имеет сезонные закономерности. Именно насекомые были наиболее разнообразной группой - 25 видов с массовым присутствием хирономид. Распределение личинок комаров-звонцов неравномерно, *Glyptotendipes glaucus* обычен на волновой литорали, а *Procladius gr. choreus* - в сублиторали. Малоцетинковые черви включают 12 видов; *Spirosperma arapillatus* характерна на волновой литорали, а виды рода *Limnodrilus* образуют массовые поселения на илисто-песчаной сублиторали. Ракообразные представлены 7 видами; по 2 вида относятся к бокоплавам, равноногим и десятиногим ракам. Бокоплав *Eogammarus kygi*, изопода *Gnorimosphaeroma kurilensis*, оба вида креветок приурочены к волновой литорали, а бокоплав *Kamaka kuthae* и водяные ослики индицируют профундаль. Большинство видов брюхоногих моллюсков (6 видов) отмечены на литорали: среди которых *Acroloxus klucharevae* встречены на прибойной

гравийно-каменистой литорали, а *Cincinna klucharevae* - во всем диапазоне глубин [21].

В составе бентоса пороговых участков рек зарегистрированы представители Nematoda, Oligochaeta, Hirudinea, Gastropoda, Ostracoda, Acari и Insecta. Также присутствовали брюхоногие моллюски (2 вида) и насекомые (Ephemeroptera - 9 видов, Plecoptera - 8, Trichoptera - 10, Diptera - 27, Coleoptera - 3). Число видов на порогах с грунтом из обломочных скальных пород было достоверно выше ( $p = 0.05$ ), чем на порогах с валунным грунтом. В составе зообентоса всех рек обнаружены олигохеты и насекомые (ручейники, поденки, веснянки, хирономиды) на стадии личинки. На всех станциях отмечены ручейники *Rhyacophila nubila* и *Arctopsyche ladogensis*, веснянка *Leuctra fusca* и поденка *Baetis vernus*. Более чем в половине рек встречены поденки *Heptagenia dalecarlica* и *Serratella ignita*, веснянка *Diura nanseni*. Редки на порогах моллюски *Limnea sp.* и *Valvata depressa*. При этом ведущим фактором следует считать наличие на порогах зарослей мха *Fontinalis* [22].

В результате проведенных исследований впервые в составе донной фауны малых рек зоны арктических тундр п-ва Ямал определено 17 видов и таксонов более высокого ранга. Отмечены представители 5 систематических групп: Oligochaeta: *Lumbriculus variegatus* (O.F. Mueller, 1773) Coleoptera: *Hydraenidae n./det.* Limoniidae: *Hexatoma sp.* Simuliidae: *Simulium sp.* Chironomidae: *Procladius choreus* (Meigen, 1804), *Hydrobaenus gr. lugubris*, *Orthocladius sp.*, *Paracladius sp.*, *Cricotopus gr. silvestris*, *Chironomus sp.*, *Chironomus dorsalis* Meigen, *Glyptotendipes glaucus* (Meigen, 1818), *Endochironomus stackelbergi* Goetghebuer, 1935, *Polypedilum nubeculosum* (Meigen, 1818), *Sergentia coracina* Zetterstedt, 1850, *Stictochironomus rosenscholdi* (Zetterstedt, 1838) *Tanytarsus excavatus* Edwards, 1929. Видовое обилие гидробионтов определяли насекомые - 94.1% от общего числа таксонов. Преобладали хирономиды - 13 видов и форм, преобладали личинки п./сем. Chironomini. В группу константных видов с частотой

встречаемости 50% и более входили личинки *P. choreus*, *Orthocladus sp.*, *Chironomus sp.* и *Polypedilum nubeculosum* [23].

Исследуемая фауна в водоемах бассейна Терека представлена в основном литореофильными видами. К литореофильному биоценозу принадлежит большинство личинок встреченных нами видов: поденок (7 видов), веснянок (5 видов), ручейников (12 видов), двукрылых (2 вида) и бокоплав (1 вид). Всего к литореофильному биоценозу относятся 27 видов. К альгореофильному биоценозу относится один вид *Diamesia insignipes* (Diptera) [24].

### **1.3. Донные беспозвоночные в пище основных видов рыб.**

Питание наиболее многочисленных и широко распространенных видов рыб в лососевых реках Урала и Тимана - сига-пыжьяна, европейского хариуса и молоди семги - в настоящее время изучено достаточно полно.

Состав пищевого рациона основных видов рыб, населяющих лососевые реки региона, весьма разнообразен: установлены организмы бентоса, рыбная и растительная пища, воздушные насекомые.

Результаты обработки сборов, выполненных в период открытой воды в 90-е годы XX столетия, дают представление о питании локальных группировок половозрелого сига исследованных лососевых рек Северного Урала и Тимана, позволяют сравнить полученные данные с литературными и дополняют имеющиеся сведения о значительной роли донных организмов в пище этого вида рыб.

В пище половозрелого сига лососевых рек Северного Урала и Тимана доля бентоса составляет 75-100% от массы комка. Основу пищевого рациона рыб определяют доминирующие в лососевых реках исследованных регионов донные организмы, роль которых меняется в зависимости от сезона года. Отмечено большое содержание моллюсков в пище сига из рек Северного Урала, в верхнем течении Печоры основным кормовым объектом сига также являются моллюски, на некоторых участках реки они (доминирует вид *Lymnaea auricularia*) - почти единственная пища этой рыбы.

Наиболее полно изучено питание хариуса и молоди семги лососевых рек Урала и Тимана. Основу пищи этих видов рыб составляет бентос, в большей степени зообентос. Основу пищевого рациона этих видов рыб составляют представители амфибиотических насекомых: отряды поденок, веснянок, ручейников и двукрылых. В июле в пище молоди семги из верхнего течения Печоры преобладают двукрылые, среди которых личинки мошек составляют 82 и 33% соответственно от общего числа и биомассы потребленных организмов; велика роль ручейников (доминируют *Potamophylax latipennis* и род *Hydropsyche*) [11].

В пище хариуса доминируют один-три вида ручейников, поденок, веснянок, двукрылых, причем состав ведущих видов в желудочно-кишечном тракте сходен у разновозрастных рыб, не зависит он и от пола рыбы. В течение всего года постоянными важнейшим объектом питания хариуса являются ручейники. В период открытой воды хариус использует в пищу личинок, куколок и имаго, но преимущественно личинок, на долю которых приходится 97 % количества и 80 % массы всех потребленных ручейников. Роль взрослых насекомых ручейников невелика (около 1 % численности и массы ручейников). К осени в теплые годы возрастает масса ручейников в пищевом комке рыб, в холодные годы наблюдается обратная картина. Эти изменения обусловлены динамикой биомассы ручейников в бентосе. Рыбы с возрастом потребляют ручейников более разнообразного видового состава. Например, в р. Щугор наибольшее количество видов зарегистрировано в питании хариуса в возрасте 6+ лет. В зависимости от пола рыбы не установлено значительного расхождения в видовом составе потребленных ручейников.

Анализ видового состава ручейников в пищевом рационе хариуса и другой массовой рыбы (молодь семги) в лососевых реках Урала выявил высокую степень общности ручейников в питании этих видов рыб. Однако напряженность пищевых взаимоотношений между хариусом и молодь

семги ослаблена за счет некоторой разобщенности их кормовых станций, а также за счет расхождения станций питания разновозрастных рыб.

В реках Тиманского края, как и в некоторых уральских реках с повышенной минерализацией воды, в число доминирующих в пище хариуса организмов входят моллюски. В июле-сентябре моллюски - главный компонент пищи хариуса и в тундровых озерах. В этих озерах заметное снижение кормовой роли моллюсков происходит в подледных условиях после миграции их в сублитораль (доля моллюсков по массе в пищевом комке в июле-августе составляет 73, в ноябре - 5 %); недостаток кормов особенно чувствуется зимой.

Хариус в Вашуткиных озерах в большом количестве использует в пищу также личинок ручейников и насекомых имаго, в протоках озер - мошек на разных стадиях метаморфоза. Весной в составе кормовых объектов хариуса из Харбейских озер до 91 % массы его желудочно-кишечного тракта приходится на долю ручейников, к осени их значение снижается - до 50 %. В озерах весной хариус в пищу максимально использует хирономид до их вылета, летом роль этих двукрылых минимальна и несколько повышена осенью и зимой. В пищевом рационе рыб наиболее калорийны личинки и субимаго поденок, энергетический эквивалент сухого вещества которых составляет 6-7 ккал/г. Следующими по мере убывания энергетической ценности оказались личинки веснянок (5.5), ручейников (3.8-5.8), хирономид (4.5-5.3). Замыкают этот перечень организмов моллюски, сухое вещество тканей которых содержит 1.7-4.6 ккал/г [25].

За период наблюдений в питании разновозрастной молоди кижуча встречались практически все донные беспозвоночные, обнаруженные в ключе Карымайский. Исключение составляли личинки ручейников *N. nigrovittatus* и типулид *A. salisetorum*, приуроченные к прибрежным скоплениям грубого детрита, а также моллюски - сферииды, относительно многочисленные в зарослях водяного мха [12].

Состав пищи леща довольно однообразен - личинки хирономид, олигохеты, мелкие кормовые моллюски. Состав пищи в 1975 г. значительно отличался от такового в 1953-1954 гг. Резко возросла встречаемость всех основных групп кормовых организмов, хирономиды составляли в 1975 г. основную составную часть пищи в течение всего периода нагула, а не только осенью, как было ранее. Средний суточный рацион по животным компонентам равен примерно 2% от веса тела леща [26].

Основным источником, определяющим спектр жирных кислот (ЖК) липидов рыб, является жирнокислотный состав организмов предыдущих трофических уровней. Качественное и количественное содержание ЖК в тканевых липидах тех или иных видов рыб и их пищевых объектов зависит от ряда физиологических и трофоэкологических факторов среды. Водные беспозвоночные составляют основную массу питания рыб и поставляют им незаменимые полиненасыщенные ЖК (ПНЖК), такие как линолевая, линоленовая и арахидоновая кислоты, а также отдельные мононенасыщенные ЖК (МНЖК), которые не могут синтезироваться в организме рыб *de novo*. Основную часть ПНЖК беспозвоночные зоопланктона (в частности, *Calanus spp.*) получают с триацилглицеринами (ТАГ) фитопланктона и переводят их в насыщенные, моноеновые ЖК и жирные спирты, которые депонируются в составе ТАГ и восковых эфиров в их теле. Известно, что после полного расходования ТАГ зоопланктоном (в период голодания) в их организме активируются восковые липазы, в результате чего становится возможным потребление эфиров восков. В организме рыб эфиры восков, поступающие с зоопланктоном, могут вновь трансформироваться в ТАГ. Длинноцепочечные мононенасыщенные ЖК и спирты (20:1(n=9) и 22:1(n=11)) синтезируются *de novo* только растительноядными видами *Calanus* (*Calanus glacialis*, *Calanus finmarchicus* и др.), поэтому их можно считать биомаркерами этих организмов.

Специфика окисления жирных кислот, которые входят в состав ТАГ жировой ткани рыб, сводится к их избирательному использованию

отдельные периоды жизни и при разных условиях среды. Как уже отмечалось, корреляция между температурой и жирнокислотным составом липидов проходит через всю пищевую цепь рыб и выражается в увеличении ненасыщенности липидов при более низких температурах. Высокий уровень липидов у гидробионтов коррелирует с повышенным поступлением кислорода в клетку. Существенная доля пищевых ЖК поступает в запасные липиды - ТАГ или воска в неизменном виде, однако имеются некоторые характерные различия в составе ЖК у отдельных групп рыб, связанные в основном с разным спектром питания [27].

Жирные кислоты общих липидов естественной пищи осетровых рыб (молоди и взрослых особей) отличаются наличием высокого содержания эссенциальных жирных кислот  $\omega 3$  преимущественно за счет докозапентаеновой и докозагексаеновой ЖК (в сумме от 12 до 38%). Бентос и зоопланктон отличаются высоким уровнем полиненасыщенных жирных кислот ряда  $\omega 3$  при соотношении  $\omega 6/\omega 3$  равном 0,32-0,37. Содержание жира в абсолютно сухом веществе живых кормов (моллюски и бычки) может составлять: 6,8; 4,7; 6,7%, колебание уровня достигает 4,7-20,7%.

Исключительно важную роль в обеспечении осетровых рыб протеином и незаменимыми аминокислотами, липидами и ненасыщенными жирными кислотами играет естественная пища - кормовые организмы и их наличие в достаточном количестве. В составе пищи молоди осетровых рыб важное значение имеет содержание полиненасыщенных жирных кислот.

Потребность осетровых рыб в жирных кислотах типа  $\omega 3$  определяется уровнем биологической адаптации к условиям выращивания, поскольку эти высоконенасыщенные жирные кислоты, являясь структурными элементами клеточных мембран, регулируют процессы клеточного транспорта [28].

Как было установлено в последнее десятилетие, полиненасыщенные жирные кислоты (ПНЖК) семейства  $\omega 3$ , в первую очередь эйкозапентаеновая (20:5 $\omega 3$ , ЭПК) и докозагексаеновая (22:6 $\omega 3$ , ДГК), играют ключевую роль в регуляции функционирования сердечно-

сосудистой системы и других важнейших физиолого-биохимических процессов животных и человека. Эти кислоты являются незаменимыми, так как большинство животных, включая человека, не способны синтезировать их в достаточном количестве и должны получать с пищей. Очевидно, что ПНЖК попадают к человеку не напрямую, а пройдя через соответствующую трофическую цепь: водоросли-беспозвоночные-рыбы. В связи с этим актуальной является оценка запасов незаменимых ПНЖК в различных водных экосистемах.

Как следует из полученных данных, в течение сезона происходит перемещение запасов ПНЖК в экосистеме из биомассы первичных продуцентов (весна-начало лета) в биомассу консументов (осень). Одновременно с перемещением запасов между трофическими уровнями, происходит концентрирование ПНЖК в биомассе консументов: так, если в годовом максимуме (июнь) отношение суммы ЭПК+ДГК в биомассе фитобентоса составляло 2,73 мг/г, то в сентябре для зообентоса это отношение было 9,55 мг/г. Таким образом, в биомассе зообентоса происходит концентрирование незаменимых полиненасыщенных жирных кислот семейства  $\omega 3$ , а именно ЭПК и ДГК. Впервые установлено, что в речной литоральной экосистеме основные запасы ПНЖК осенью сосредоточены в биомассе зообентоса [29].

Для основной массы людей со среднестатистическим генотипом необходимо регулярное употребление значительных количеств ЭПК (эйкозапентаеновая кислота) и ДГК (докозагексаеновая кислота). Основным продуктом, содержащим высокие концентрации этих длинноцепочечных омега-3 ПНЖК, является рыба. Почему именно рыба и другие морепродукты - крабы, моллюски, креветки - так богаты ЭПК и ДГК? Наземные высшие (цветковые) растения останавливают свой синтез на 18-атомной альфа-линоленовой кислоте и не синтезируют длинноцепочечные омега-3 ПНЖК (Heinz, 1993; Tocher et al., 1998). Большинство животных обладают слабой способностью конвертировать АЛК (альфа-линоленовая

кислота) в ЭПК и ДГК. Из всех известных организмов лишь некоторые микроводоросли (диатомеи, перидинеи, криптофиты) способны эффективно синтезировать и накапливать в своей биомассе большие количества ЭПК и ДГК. То есть водные экосистемы - озёра, реки и моря - являются основными месторождениями длинноцепочечных омега-3 ПНЖК (Gladyshev et al., 2009a). ЭПК и ДГК, синтезированные микроводорослями, по трофической (пищевой) цепи передаются к водным беспозвоночным, от них - к рыбам и затем - к человеку и другим наземным животным [30].

#### **1.4. Гидрология реки Енисей**

Енисей - самая большая река не только в пределах территории ответственности Среднесибирского УГМС, но и вообще в Российской Федерации. Образуется слиянием рек Большого и Малого Енисея в пределах республики Тыва (Рисунок 1).

В гидрографическом отношении система Енисея относится к бассейну Северного Ледовитого океана. Длина Енисея от места слияния его истоков до устья равна 3487 км, общая длина Енисея от истока Большого Енисея составляет 4092 км. А если считать за начало Енисея реку Селенгу, то длина речной системы (Селенга-Ангара-Енисей) достигает 5940 км. Общая площадь бассейна Енисея равна 2,58 млн км<sup>2</sup>, из них 0,328 млн км<sup>2</sup> находится на территории Монгольской Народной Республики. Бассейн вытянут в меридиональном направлении более чем на 3000 км, имеет ярко выраженную асимметричность (правобережная горная часть его в 5-6 раз превосходит по площади левобережную).

Енисей питает множество притоков, среди них есть реки, по своим размерам относящиеся к основным водным артериям страны. Это - Ангара, Подкаменная и Нижняя Тунгуски. Огромную роль в решении проблем, связанных с использованием водных ресурсов, прогнозами паводковых

ситуаций, эксплуатацией гидростанций, играют гидрологические

наблюдения, которые ведутся более чем на ста водных объектах бассейна

Енисея

и

верховий

Оби.

На территории деятельности Среднесибирского управления находятся две крупнейшие гидроэлектростанции - Красноярская и Саяно-Шушенская. Экономические показатели деятельности этих объектов, объемы выработки энергии зависят, прежде всего, от притока воды в водохранилища. Именно здесь необходим гидрологический прогноз. С другой стороны, создание этих гигантов повлекло за собой целый ряд проблем, в частности, незамерзающий нижний бьеф: вода, проходящая через турбины, не замерзает на очень большом расстоянии.

Там, где вода начинает охлаждаться, формируется кромка ледостава, которая при неправильном регулировании сброса и в зависимости от характера погоды подвержена изменениям. Срыв кромки приводит к тому, что лед начинает забивать русло реки Енисей и формируется естественная ледовая плотина - начинаются зимние наводнения. Для того чтобы этого не произошло, гидрометеорологическая служба вырабатывает рекомендации по регулированию сброса воды. При этом важно, с одной стороны, не допустить ледового затора, а с другой - не ограничить работу ГЭС, т. к. в период сильных морозов происходит повышенное потребление электроэнергии.

Можно привести еще множество примеров, когда наличие гидрологической информации (расчетной или прогностической) способствует снижению экономических ущербов и рисков, а иногда и спасает человеческие жизни [31].

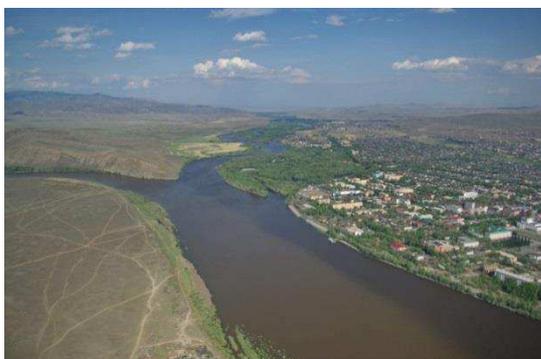


Рисунок 1 - Место слияния рек Бий-Хем (Большого Енисея) и Каа-Хем (Малого Енисея) [32]

## 1.5. Гидрохимия реки Енисей

Анализ данных с 2006 по 2009 гг. показал, что в этот период в большинстве случаев вода реки характеризовалась как "очень загрязненная" - "грязная" и относилась к 3 классу и 4 классу.

Максимальное загрязнение воды отмечалось в 2006 г. в створе ниже г. Игарка, здесь качество воды оценивалось как 4 "б" - грязная, при этом показатель УКИЗВ составлял 4,74, превышения ПДК наблюдались по меди, цинку и алюминию (КПЗ=3).

Минимальное загрязнение отмечалось в 2009 г. в Красноярском водохранилище в створе пос. Приморск, класс качества здесь оценивался как 2 - слабо загрязненная (УКИЗВ - 1,68, КПЗ отсутствовал). Вода 3 "а" качества (загрязненная) отмечалась в створах гг. Дивногорск (выше города - в 2007 г., ниже города - в 2009 г.) и Красноярск (2008 г., выше города и на 35 км ниже). Величина УКИЗВ на этих участках составляла 2,84-3,0, КПЗ отсутствует.

Значения УКИЗВ за все время наблюдения варьировали от 1,68 (Красноярское водохранилище, пос. Приморск) до 5,13 (г. Кызыл)

По длине реки величина УКИЗВ распределяется довольно неравномерно. Наименее всего за весь период наблюдений были загрязнены воды Красноярского водохранилища и ниже по течению, до г. Дивногорск. Величина УКИЗВ здесь изменялась от 1,68 до 3,39, качество воды - от 2 - слабо загрязненная до 3 "б" - очень загрязненная (пос. Приморск и г. Дивногорск, соответственно). Между тем, в 2006-2007 гг. на этом участке наблюдались превышения ПДК цинка (2006-2007 гг. - Приморск, в 2006 г. - в створах Дивногорска), меди (в 2007 г. в Хмельниках), меди и цинка (2006 г., Хмельники).

Наиболее всего были загрязнены участки реки от пгт. Стрелка до пос. Подтесово, а также ниже г. Кызыл. На участке от Стрелки до Подтесово УКИЗВ за рассматриваемый период варьировал от 3,95 (выше пгт. Стрелка) до 5,1 (ниже пос. Подтесово), качество воды практически повсеместно оценивалось как 4 "а" - грязная. Отмечались превышения ПДК алюминия

(2006 г. - створ выше пгт. Стрелка), меди (2009 г. - створ ниже пгт. Стрелка), цинка (2009 г. - створ выше Стрелки, Лесосибирска, Подтесово). В створе ниже г. Кызыл величина УКИЗВ составляла 4,03-5,13, качество воды оценивалось как 4 "а" - грязная, в 2006 и 2007 гг. наблюдались превышения ПДК по алюминию, в 2008 г. - по меди, в 2009 г. - по меди и цинку (КПЗ=2).

Анализ динамики качества воды р. Енисей за период с 2006 по 2009 гг. показал следующее. В 2009 г. в сравнении с 2006 г. ухудшилось качество воды на отрезке от к. Джойская Сосновка до створа ниже г. Саяногорск. Так, качество воды Саяно-Шушенского водохранилища в створе ниже Усть-Усы изменилось с 3 "б" - очень загрязненная (УКИЗВ=3,35) до 4 "а" - грязная (УКИЗВ=4,52, число КПЗ=2 - цинк и алюминий).

Качество вод Красноярского водохранилища, а также реки на участке от Лесосибирска до Игарки и в створе г. Кызыл за этот период, напротив, улучшилось. В створе пос. Приморск класс качества воды перешел с 3 класса, разряда "б" - очень загрязненная (УКИЗВ=3,25, превышения ПДК по цинку, КПЗ=1) во 2 класс - слабо загрязненная (УКИЗВ=1,68, КПЗ=0); в д. Хмельники - с 4 "а" - грязная (УКИЗВ=3,41, превышения ПДК по меди и цинку, КПЗ=2) в 3 "а" - загрязненная (УКИЗВ=2,44, КПЗ=0). В Игарке (ниже города) класс качества изменился с 4 "б" - грязная (УКИЗВ=4,74, КПЗ=3 - медь, цинк, алюминий) до 3 "б" - очень загрязненная (УКИЗВ=3,73, КПЗ=0).

В 2009 г. наблюдались превышения ПДК по цинку (на Саяно-Шушенском водохранилище в к. Джойская Сосновка, в створах выше пгт. Стрелка, в двух створах выше г. Абакан), алюминию (створ ниже пгт. Усть-Абакан), меди (ниже пгт. Стрелка). Превышение ПДК по двум веществам (КПЗ=2) наблюдалось в м. с. Усть-Уса (Саяно-Шушенское водохранилище) - цинк и алюминий и г. Кызыл - медь и цинк [33].

## **Глава 2. Материалы и методы исследования**

### **2.1. Характеристика района исследования**

Отбор проб зообентоса проводился в р. Енисей в районе г. Кызыл (Рисунок 1), где отмечены различные типы грунта. Собственно Енисей начинается в городе Кызыл, при слиянии Большого Енисея и Малого Енисея (Бий-Хем и Каа-Хем). На протяжении первых 188 км Енисей течёт под названием Верхний Енисей (Улуг-Хем), в пределах северного борта Тувинской котловины на западе река разбивается на рукава, русло изобилует перекатами, ширина колеблется от 100 до 650 м; глубины на плёсах 4-12 метров, на перекатах не более одного метра [34].

### **2.2. Методика отбора и обработки проб зообентоса**

Пробы зообентоса в верховье р. Енисей отбирали скребком Г.Д. Дулькейта [35] в 3 повторностях в июле и августе 2015-2016 годов на различных типах грунта: песчаный, илистый и каменистый. Всего отобрано 42 пробы.

Определение зообентоса велось по определителям: Определитель пресноводных беспозвоночных Европейской части СССР [36]; Определитель пресноводных беспозвоночных России и сопредельных территорий [37].

Взвешивание организмов проводилось на торсионных весах типа Т5.

Для анализа сходства видовой структуры бентосных сообществ использовался коэффициент Серенсена-Чекановского [38]:

$$K_{sc} = \frac{2c}{(a+c) + (b+c)}$$

где  $a$  - число видов встречающихся только в первой пробе,  $b$  - число видов, встречающихся только во второй пробе,  $c$  - число видов, встречающихся в обеих пробах.

### **Выводы:**

1. В составе донных беспозвоночных р. Енисей за исследованный период зарегистрировано всего 13 видов зообентоса, в том числе личинок хирономид - 7 видов, гаммарусов и малощетинковых червей - по 2 вида и по одному таксону ручейников и поденок. Наибольшее число видов (9 видов) зарегистрировано на песчаном типе грунта, наименьшее (7 таксонов) - на илистом и каменистом типе грунта. Сходство видового состава зообентоса в 2015-2016 гг. отмечено между песчаным и илистым типами грунта ( $K_{сч} = 0,8-0,9$ ).

2. За весь период исследования наибольшая плотность зообентоса зарегистрирована в илу (численность -  $71 \pm 14$  экз/м<sup>2</sup>, биомасса -  $151,8 \pm 110,2$  мг/м<sup>2</sup>). Минимальные величины численности донных беспозвоночных ( $16 \pm 2$  экз/м<sup>2</sup>) отмечены на каменистом типе грунта, минимальные величины

биомассы выявлены на песке ( $81,1 \pm 23,4 \text{ мг/м}^2$ ). В илу и в песке по плотности доминировали хирономиды, на камнях – поденки.

3. Во временной динамике плотности донной фауны в илу, в 2015 году отмечено снижение плотности зообентоса от июля к августу, в связи с вылетом хирономид, в 2016 году - не значительное повышение плотности зообентоса от июля к августу, за счет развития новых генераций хирономид. На песке в оба года исследования отмечено повышение плотности зообентоса от июля к августу, за счет новых генераций олигохет. На каменистом типе грунта отмечено колебание плотности зообентоса на протяжении всего периода исследования, что связано с развитием амфибиотических организмов.

4. В межгодовой динамике плотности зообентоса зарегистрировано его увеличение практически на всех типах грунта от 2015 к 2016 году в 2-2,5 раза, что связано с паводком в 2015 году и как следствие обеднением бентоса при высокой скорости течения. Исключение отмечено на камнях, где биомасса донной фауны снизилась от 2015 к 2016 году в 1,5 раза, за счет преобладания в 2015 году крупных поденок.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Семенченко, В. П. Экологическое качество поверхностных вод: монография / В. П. Семенченко, В. И. Разлуцкий. – Минск: Беларуская наука, 2010. – 206 с.
2. Безматерных, Д. М. Зообентос как индикатор экологического состояния водных экосистем Западной Сибири: аналитический обзор / Д. М. Безматерных. – Новосибирск: ГПНТБ СО РАН, 2007. – 87 с.
3. Алимов, А. Ф. Элементы теории функционирования водных экосистем: монография / А. Ф. Алимов. – СПб.: Наука, 2000. – Т. 1. – 103 с.
4. Хабибуллина, Г. И. Продольное распределение зообентоса в реках Меше и Казанке / Г. И. Хабибуллина // Учен. зап. Казан. ун-та. Сер. Естеств. науки. – 2012. – Т. 154. – С. 190-197.
5. Попов, П. А. Характеристика ихтиофауны водоемов Гыданского полуострова / П. А. Попов // Вестник Томского государственного университета. Биология. – 2011. – №. 3. – С. 54-59.
6. Гладышев, М. И. Байкальские вселенцы заняли доминирующее положение в бентофауне верхнего Енисея / М. И. Гладышев, А. И. Москвичева // Доклады АН. – 2002. – Т. 383. – С. 568-570.
7. Baturina, M. A. Structure and Distribution of Zoobenthos of the Kharbey Lake System / M. A. Baturina, O. A. Loskutova, V. M. Shchanov // Journal of Siberian Federal University. Biology. – 2014. – С. 101-105.
8. Кириллов, В. В. Биологическая оценка последствий термического загрязнения водоема-охладителя Беловской ГРЭС / В. В. Кириллов // Ползуновский вестник. – 2004. – №. 2. – С. 133-141.
9. Старова, О. С. Зообентос малых рек центральной части соликамской депрессии / О. С. Старова, Н. Н. Паньков // Вестник Пермского университета. Серия: Биология. – 2009. – №. 10. – С. 201-206.
10. Курашов, Е. А. Литоральная зона Ладожского озера: монография / Е. А. Курашев. - Санкт-Петербург: Нестор-История, 2011. – 125 с.

11. Шубина, В. Н. Бентос лососевых рек Урала и Тимана: монография / В. Н. Шубина. - Санкт- Петербург: «Наука», 2006. – 400 с.
12. Чебанова, В. В. Бентос лососевых рек Камчатки: дис. канд. биол. наук / В. В. Чебанова. - Москва: Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии, диссертации на соискание ученой степени, 2008. – 276 с.
13. Верещагин, Г. Ю. Байкал: монография / Г. Ю. Верещагин. – Иркутск: Огиз, 1947. – 74 с.
14. Тиунова, Т.М. Структура сообществ донных беспозвоночных в экосистемах рек бассейна реки Тимптон (Южная Якутия): монография / Т. М. Тиунова. – Хабаровск: Наука, 2007. – 98 с.
15. Зинченко, Т. Д. Экологическое состояние водоемов и водотоков (методология исследований): учеб. пособие / Т. Д. Зинченко.- Тольятти: Академия, 2011. – 225 с.
16. Яныгина, Л. В. Экология сообществ донных беспозвоночных в водоемах-охладителях тепловых электростанций Сибири / Л. В. Яныгина // Водные ресурсы. – 2011. – Т. 38. – №. 5. – С. 618-630.
17. Салтанова, Н.В. Влияние донного грунта на формирование сообществ макрозообентоса (на примере р. Кадалинки, Восточное Забайкалье) / Н. В. Салтанова, А. Р. Филенко // Вестник Красноярского Аграрного Университета. – 2011. – Т. 3. - №.1. – С. 125-130.
18. Тарасова, О. Г. Биологическое разнообразие бентосных организмов низовьев Волги / О. Г. Тарасова // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Рыбное хозяйство. – 2016. – Т. 2. - №. 1. – С 123-126.
19. Силина, А. Е. Изменение трофической структуры донных сообществ в сукцессионном ряду водоемов Усманского бора / А. Е. Силина, А. А. Прокин // Матер. Междунар. конф. «Трофические связи в водных сообществах и экосистемах». – 2003. – С. 113-114.

20. Яныгина, Л. В. Многолетние изменения трофической структуры зообентоса Беловского водохранилища: монография / Л. В. Яныгина, Е. А. Ковешников. – Москва: Институт биологии внутренних вод им. ИД Папанина РАН, 2003. – 567 с.
21. Лабай, В. С. Состав и структура макробентоса озер Вавайской системы (Южный Сахалин) / В. С. Лабай // Чтения памяти Владимира Яковлевича Леванидова. – 2008. – №. 4. – С. 224-238.
22. Барышев, И. А. Зообентос пороговых участков лососевых рек юго-востока Кольского полуострова / И. А. Барышев, Е. Н. Белякова // Биология внутренних вод. – 2013. – №. 4. – С. 43-43.
23. Степанов, Л. Н. Зообентос малых рек арктических тундр Ямала: монография / Л. Н. Степанов. – Иркутск: Общество с ограниченной ответственностью "Филигрань", 2014. – 122 с.
24. Хадарцева, Д. А. Особенности распространения бентоса в реке Камбилеевка / Д. А. Хадарцева // Материалы I Международной научной конференции. - 2013. - №. 1. – С. 25-57.
25. Шубина, В. Н. Питание европейского хариуса в водоемах Печорского бассейна / В. Н. Шубина // Вестник института биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН. – 2006. – №. 2. – С. 24-26.
26. Баканов, А. И. Распределение макрозообентоса и количественный учет кормовой базы рыб-бентофагов / А. И. Баканов // Канд. дис. – 1984.- С. 290-293.
27. Мурзина, С. А. Влияние жирных кислот (маркеров пищевых источников рыб) на механизмы адаптации в условиях высоких широт / С. А. Мурзина, З. А. Нефедова // Труды Карельского научного центра Российской академии наук. – 2012. – №. 2. – С. 127-129.
28. Бычкова, А. П. Природные цеолиты в продукционных комбикормах для осетровых рыб / А. П. Бычкова // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Рыбное хозяйство. – 2013. – №. 1. – С. 95-98.

29. Gladyshev, M. I. Seasonal changes in the standing stock of essential polyunsaturated fatty acids in the biomass of phyto-and zoobenthos on a littoral station of the Yenisei River / M. I. Gladyshev // Doklady Biological Sciences. – 2005. – Т. 403. – №. 1. – С. 267-268.

30. Гладышев, М. И. Незаменимые полиненасыщенные жирные кислоты и их пищевые источники для человека / М. И. Гладышев // Journal of Siberian Federal University. – 2012. – С. 102-104.

31. Федеральное государственное бюджетное учреждение «Среднесибирское управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды» [Электронный ресурс] / Енисей. - Режим доступа:

32. Все регионы [Электронный ресурс] / Республика Тыва, г. Кызыл. - Режим доступа: <http://nesiditsa.ru>, свободный. (Дата обращения 17.04.17.).

33. Схемы комплексного использования и охраны водных объектов [Электронный ресурс] / Гидрохимия реки Енисей. - Режим доступа:

34. Википедия [Электронный ресурс] / Енисей. - Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Енисей>.

35. Абакумова, В. А. Руководство по методам гидробиологического анализа поверхностных вод и донных отложений: учебное пособие для вузов / В. А. Абакумова. – Ленинград: Гидрометеиздат, 1983. – 239 с.

36. Кутикова, Л. А. Определитель пресноводных беспозвоночных Европейской части СССР: учебное пособие / Л. А. Кутилова. – Москва: Рипол Классик, 1977. – 511 с.

37. Цалолихин, С. Я. Определитель пресноводных беспозвоночных России и сопредельных территорий: учебное пособие / С. А. Цалолихин. – СПб.: ЗИН РАН, 1997. – 426 с.

38. Шмидт, В. М. Математические методы в ботанике: учебное пособие / В. М. Шмидт. – Ленинград: Изд-во Лен. Гос. Ун-та, 1984. – 370 с.