

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Институт фундаментальной биологии и биотехнологии
Кафедра водных и наземных экосистем

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой



М.И. Гладышев

подпись инициалы, фамилия

«01» июля 2020 г.

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

06.03.01 Биология

код и наименование специальности

Фитопланктон Абаканской протоки реки Енисей

тема работы

Научный

руководитель:



подпись, дата

профессор, д.б.н.
должность, ученая степень

Иванова Е.А
инициалы, фамилия

Выпускник
Чичканова Л.А

подпись, дата



инициалы, фамилия

Красноярск, 2020

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа Чичкановой Л.А. по теме «Фитопланктон Абаканской протоки реки Енисей» содержит 61 страницу текстового документа, 39 использованных источников, из них 14 – иностранных, 4 рисунка и 13 таблиц.

Ключевые слова: фитопланктон, видовая структура, доминантный комплекс, сапробность, качество воды, численность, биомасса, река Енисей, Абаканская протока.

Объект исследования – фитопланктон Абаканская протока реки Енисей.

Цель: Изучение фитопланктона Абаканской протоки реки Енисей.

В результате проведения мониторинговых работ был определен и проанализирован видовой состав фитопланктона, изучены количественные характеристики фитопланктона, дана оценка качеству вод участков Абаканской протоки.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
Глава 1. Обзор литературы.....	5
1.1 Определение фитопланктона и его основные систематические группы....	5
1.2. Факторы, влияющие на развитие фитопланктона	16
1.3. Фитопланктон реки Енисей	21
Глава 2. Район и методы исследования	23
2.1. Характеристика Абаканской протоки реки Енисей	23
2.2. Методы отбора и обработки проб фитопланктона.....	31
Глава 3. Результаты исследования	36
3.1. Таксономический состав фитопланктона Абаканской протоки	36
3.2. Структурные показатели фитопланктона.....	53
3.3. Качество воды Абаканской протоки реки Енисей	55
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	57
Список литературы:	59

ВВЕДЕНИЕ

Фитопланктон - растительные организмы, главным образом, одноклеточные (хотя могут быть и колониальные) микроскопические водоросли (Зилов, 2009).

Объектом исследования был фитопланктон Абаканской протоки реки Енисей. Данный участок реки используется населением города Красноярск для отдыха, купания, любительской ловли рыбы, а так же там расположена аквакультура рыбы, которая регламентируется как садки, где держат взрослую рыбу для продажи населению. Поэтому качество вод этого участка реки, куда активно поступают продукты жизнедеятельности рыб и остатки твердого корма, должно стать предметом тщательного изучения. Видовой состав фитопланктона может выступать в качестве интегрального показателя, характеризующего уровень эвтрофикации и степень загрязнения воды (Охапкин, 2002).

Цель работы – изучение фитопланктона Абаканской протоки реки Енисей.

В задачи исследования входило:

1. Определить и проанализировать видовой состав фитопланктона.
2. Изучить количественные характеристики фитопланктона.
3. Дать оценку качества вод участков Абаканской протоки.

Пробы фитопланктона отбирали на 4 станциях с мая по август в течение 2018-2019 гг. Работа выполнялась в Сибирском федеральном университете. Автор благодарит сотрудников Аналитической лаборатории ИБФ СО РАН за предоставленные данные по гидрохимии воды.

Глава 1. Обзор литературы

1.1 Определение фитопланктона и его основные систематические группы

Термин «планктон» (блуждающий) впервые был введен в науку Гензеном в 1887 году; он обозначает совокупность организмов, живущих в толще воды. Несколько позднее в составе планктона стали различать зоопланктон и фитопланктон. К фитопланктону относятся водоросли, находящиеся во взвешенном состоянии в толще воды. Эти организмы выполняют в водоёме ту же роль, что и высшие растения на суше, являясь основными созидателями органического вещества и обеспечивая жизнь других организмов (Миловидова, 1982).

Основной состав фитопланктона представляют микроскопические, одноклеточные, колониальные или ценобиальные водоросли, имеющие различные приспособления для подвижного образа жизни или своеобразного парения в воде. У одних видов существуют разного рода выросты и придатки – шипы, щетинки, роговидные отростки, перепонки, парашюты, другие образуют полые или плоские колонии и обильно выделяют слизь, третьи накапливают вещества, удельный вес которых меньше единицы (капли жира у диатомовых или некоторых зелёных водорослей, газовые вакуоли у цианобактерий). Мелкие размеры тела планктоновых водорослей также являются приспособлением к существованию в толще воды во взвешенном состоянии (Водоросли..., 1989).

Водоросли делят на такие же таксоны, как и высшие растения, а именно: отдел, класс, порядок, род и вид. Отделы, относящиеся к фитопланктону это: Cyanobacteria, Euglenophyta, Cryptophyta, Ochrophyta, Bacillariophyta, Dinophyta, Chlorophyta.

Цианобактерии (Cyanobacteria). Ранее именовались сине-зелёными водорослями. В отличие от всех других отделов водорослей Cyanobacteria принадлежит к прокариотическим организмам. В клетках цианобактерий отсутствуют оформленные ядра, а также мембранные органеллы. У цианобактерий часто встречаются газовые вакуоли. Представители данного

отдела могут быть одноклеточными или многоклеточными, прикрепленными или неприкрепленными к субстрату, неподвижными или способными к скользящему движению, однако жгутиков и ресничек никогда не образуют. Монадная форма строения тела отсутствует. Очень часто цианобактерии образуют разнообразные соединения – колонии индивидов. Для одноклеточных характерна коккоидная форма тела. Для многоклеточных – нитчатая. Нити многоклеточных цианобактерий, у которых протопласты соседних клеток сообщаются посредством плазмодесм, носят специальное название – трихом (Водоросли., 1989).

Клетки цианобактерий всегда покрыты слизистыми оболочками (футляры, влагалища). Они чаще всего толстые, бесцветные или от жёлтых до коричневых, реже красные, синеватые или фиолетовые (Комаренко, Васильева, 1975). Оболочка клеток многослойная, с внутренним пептидогликановым (муреиновым) слоем. Из хлорофиллов имеется только хлорофилл а, также имеются каротины, ксантофиллы и фикобилины. Наличие последних пигментов и отсутствие хлорофилла b говорит о древности представителей *Cyanobacteria*. Такой разнообразный пигментный состав объясняет устойчивость водорослей к продолжительному затемнению и анаэробнозису, их способность к существованию в крайних условиях обитания, а также разнообразную окраску клеток. Продуктом ассимиляции является гликогенподобный полисахарид – цианофициновый крахмал (Миловидова, 1982).

Размножение особей вегетативное, реже собственно бесполое (экзо- и эндоспорами). Митоза и мейоза нет. Размножаются равным, реже неравным делением (Водоросли., 1989).

Распространены они повсеместно, обитают там, где не могут обитать никакие другие растения и первыми заселяют вновь образующиеся поверхности Земли, например вулканические острова. Большинство цианобактерий встречается в пресных водах, меньше – в море. В планктоне

прудов, озёр, медленно текущих рек наиболее распространены виды родов микроцистис, анабена, глеотрихии, часто вызывающие «цветение» воды (Горбунова, 1991).

Эвгленовые водоросли (Euglenophyta) распространены в пресноводных водоёмах. Особенно они любят стоячие, хорошо прогреваемые водоёмы, где развиваются в огромном количестве, вызывая «цветение» воды. Форма тела у них монадная, лишь немногие формы имеют пальмелловидную структуру. Передвигаются с помощью жгутиков. Их количество и длина у разных родов эвгленовых сильно варьирует. Существуют безжгутиковые эвглени. Движение эвгленовых плавное, помогают движению его стабилизаторы, выросты на теле и хвостовые отростки (факусы). На переднем конце клетки имеется мешковидное углубление – глотка. В её расширенную часть – резервуар – изливается содержимое сократительных вакуолей. Клетки эвгленовых водорослей не имеют настоящей оболочки. Роль её выполняет наружный специальный слой белка – пелликула. Почти все виды способны к метаболии, однако у некоторых форм пелликула очень прочная, и метаболические изменения тела не наблюдаются. Под пелликулой располагаются слизистые тельца, выделяющие слизь. У отдельных видов поверх клетки формируется панцирь или домик, состоящий из солей железа и марганца (трахеломонас, стромбомонас) (Миловидова, 1982).

В цитоплазме имеются ядро, хроматофоры, стигма (красный глазок), пульсирующие вакуоли. Имеется особая светочувствительная органелла – фоторецептор, или парафлагеллярное тело. Обычно эта органелла наблюдается у тех эвгленовых, которые имеют стигму. По своим функциям фоторецептор тесно связан со стигмой и жгутиками и играет определённую роль в движениях представителей данного отдела. Хроматофоры разнообразной формы: звездчатые, лентовидные, пластинчатые. Основной пигмент – хлорофилл а и b. Имеются ксантофиллы и каротины. Часто откладывается особый красный пигмент – астаксантин. Запасное вещество – парамилон. Отличительная

особенность эвгленовых – митоз особого типа (эвгленомитоз). Его особенностью является то, что при делении ядра ядрышко делится как отдельная структура, ядерная оболочка при этом сохраняется. Размножение эвгленовых происходит путём деления надвое в подвижном или пальмеллоидном состоянии. Перед делением клетки обычно становятся неподвижными, сбрасывая наружную часть жгутика, и часто выделяют вокруг себя слой слизи. Разделению клетки всегда предшествует деление ядра, образование нового жгутикового аппарата, деление хлоропластов, пиреноидов, стигмы (Водоросли, 1989).

Отдел Ochrophyta включает большую группу водорослей, которые в более ранней классификации представляли самостоятельные отделы, а теперь входят в состав охрофициевых водорослей в ранге классов Eustigmatophyceae, Chrysophyceae, Synurophyceae, Pelagophyceae, Pedinellophyceae, Dictyochophyceae, Bolidophyceae, Pinguiphyceae, Phaeothamniophyceae, Tribophyceae (Xanthophyceae), Raphidophyceae, Fucophyceae (Phaeophyceae) и Diatomophyceae (Bacillariophyceae) (Белякова и др., 2006). По данным всемирной базе водорослей (<https://www.algaebase.org/>) из этого списка выделили диатомовые водоросли снова в ранг отдела Bacillariophyta.

Золотистые водоросли (Chrysophyceae) характеризуются большим морфологическим разнообразием форм тела. Они в большинстве своем являются одноклеточными, но могут быть колониальными или многоклеточными. Такое название водоросли данного отдела получили за свои золотистые хроматофоры. Окраска их обуславливается сочетанием пигментов: хлорофиллов а и с, каротина, нескольких ксантофиллов, среди которых выделяется жёлтый фукосантин. Запасными питательными веществами являются масло и особый углевод – хризоламинарин, откладывающийся в клетках в виде сильно преломляющих свет капель (Миловидова, 1982).

Клетки могут быть голыми, покрытые только клеточной мембранной плазмолеммой, способны к метаболическим изменениям, в основном

однойдерные. Многие представители имеют своеобразные домики или же покрыты панцирем. Домики состоят из клетчатки, пропитанной углекислой известью и солями железа; последние окрашивают домики в коричневый цвет (*Eleutheropyxis fulva* Scherff.). У некоторых видов домики окружены слизью (*Chrysococcus hydra* Pasch.) или зернистыми образованиями (*Heliochrysis eradians* Pasch.). Некоторые представители образуют ризоподии, псевдоподии и аксоподии. Преимущественное большинство золотистых водорослей имеют жгутики. Наиболее часто встречаются одножгутиковые или двужгутиковые формы со жгутиками разной длины (Водоросли, 1989).

У золотистых известно бесполое размножение и половое. Вегетативное размножение широко представлено у одноклеточных форм. Осуществляется простым делением на двое. Золотистые водоросли могут размножаться с помощью амёбоидов. Амёбоиды очень мелкие, они имеют короткие тупые псевдоподии. Образуются они по 4 и более, выползают из отверстия домика и образуют затем свой собственный. Реже амёбоиды возникают в значительном количестве в специальных образованиях, напоминающих зооспорангий. Представители данного отдела могут размножаться зооспорами. Они могут возникать в обычных вегетативных клетках или в особых органах – зооспорангиях. Обычно образуется по 2 зооспоры, реже по 4-8. У некоторых хризосферных и хризосферных кроме зооспор образуются автоспоры. Развиваются они в вегетативных клетках по 4 и 7, реже по 16. По форме автоспоры напоминают материнские клетки. Половой процесс редок, представлен в виде гологамии, изогамии и автогамии.

Характерной особенностью цикла развития золотистых является образование цист. Они бывают эллипсоидной, яйцевидной, цилиндрической формы. Имеют целлюлозную оболочку. Стенки цист толстые, бесцветные или бурые, гладкие или покрытые различными скульптурными образованиями в виде бородавочек, шипов и т.д. Цисты снабжены отверстием или порой, которая иногда вытянута в воротничок различной формы (Белякова и др., 2006).

Жёлто-зелёные водоросли (Tribophyceae (Xanthophyceae))

распространены по всему земному шару, встречаются в планктоне рек, озёр, прудов, морей, предпочитают чистые водоёмы. Любят поселяться среди скоплений нитчатых водорослей и высших водных растений. Индивиды одноклеточные, многоклеточные и неклеточные, либо колонии индивидов, активно подвижные или неподвижные, прикрепленные или свободноживущие. Монадные формы и стадии обладают двумя жгутиками (Водоросли, 1989).

Талломы жёлто-зелёных водорослей разнообразны (амёбоидные, монадные, пальмелловидные, коккоидные, нитчатые, разнонитчатые, пластинчатые и сифональные). Есть представители, таллом которых имеет вид многоядерного голого плазмодия (Миловидова, 1982).

Клетки покрыты оболочкой. У прикрепленных водорослей оболочка обычно образует вырост – ножку с прикрепленным диском (подошвой). У примитивных форм оболочка в виде пелликулы. Эти формы способны к метаболии. У большинства видов оболочка постоянная, цельная или двустворчатая, с различными скульптурными украшениями, пропитана известью, кремнезёмом или солями железа. В протопласте клетки есть несколько хроматофоров, имеющих дисковидную, пластинчатую, лентовидную, чашевидную форму. Ядро имеют одно, небольших размеров, реже встречаются многоядерные. У подвижных форм имеется красный глазок (стигма) – светочувствительный орган. Своё название они получили за жёлто-зелёную окраску хроматофоров. Комплекс фотосинтетических пигментов своеобразен. Он включает хлорофиллы а и с. В качестве основного ксантофилла выступает вошериаксантин. Характерный для бурых, диатомовых и золотистых водорослей коричневый пигмент фукоксантин у жёлто-зелёных отсутствует. Запасным веществом являются капли масла, лейкозин и волютин (Белякова и др., 2006).

Размножение жёлто-зелёных водорослей осуществляется преимущественно бесполым путём с помощью вегетативных или

специализированных клеток. Вегетативное размножение одноклеточных происходит простым делением надвое, колониальных или многоклеточных – фрагментацией таллома или отчленением отдельных конечных клеток таллома. У вошерии наблюдается образование выводковых почек. Наиболее широко у жёлтозелёных водорослей представлено бесполое размножение с помощью специализированных клеток: амёбоидов, зооспор, автоспор. Самый распространённый способ размножения связан с образованием зооспор. Половой процесс (оогамного типа) с достоверностью известен лишь у видов рода *Vaucheria*. Половые органы антеридии и оогонии. Образующиеся в антеридии двужгутиковые антерозоиды, проникая в оогоний, оплодотворяют яйцеклетку. Зигота, или ооспора, покрывается толстой многослойной оболочкой и после периода покоя прорастает в новое растение (Водоросли, 1989).

Диатомовые водоросли (Bacillariophyta) представляют собой особую группу организмов, которые по количеству видов очень часто занимают первое место в водоёмах, являясь основными продуцентами органического вещества. Представители данного отдела – микроскопические одноклеточные, однако могут образовывать колонии, размеры которых достигают десятка и более сантиметров. Колонии могут быть самой разнообразной формы: в виде нитей, лент, кустиков, цепочек, звёздочек, вееров и бесформенных клеток. Цвет диатомовых водорослей варьирует от бесцветного, светло-жёлтого до тёмно-бурого. Обусловлен он содержащимися в хлоропластах пигментами: каротином, ксантофиллами и хлорофиллами а и с. Зелёный пигмент проявляется только в мёртвых клетках, когда бурые пигменты растворяются (Миловидова, 1982).

Систематика диатомовых основывается на строении их клеточной оболочки и панциря. Клетка диатомовой водоросли состоит из протопласта, пектиновой оболочки и внешней кремнезёмной оболочки (панциря). Панцирь вырабатывается самой клеткой в процессе её жизнедеятельности. Происходит

это с помощью откладывающейся кремниевой кислоты на клеточную оболочку из пектинового матрикса. В процессе эволюции происходило прогрессивное развитие панциря. Чаще он состоит из двух почти равных частей и напоминает коробочку, закрытую крышкой. Наружная половинка панциря называется эпитекой, а внутренняя – гипотекой. Эпитека состоит из плоской или выпуклой створки – эпивальвы и пояскового ободка – эпицингулюма. Гипотека имеет аналогичные части: створку – гиповальву и поясковый ободок – гипоцигулюм. Эпицингулюм и гипоцигулюм составляют вместе поясok панциря. Он обеспечивает рост и увеличение объема клетки. В створках некоторых диатомовых имеются одна-две слизевые поры, через которые выделяется слизь, служащая для прикрепления водорослей к субстрату и для образования колоний. Продукт фотосинтеза – масло. У некоторых диатомовых наряду с маслом наблюдается волютин, капли которого своим голубовато-тусклым блеском отличаются от масла (Водоросли, 1989).

Размножаются диатомовые водоросли вегетативным делением. В результате неоднократного деления размеры клеток уменьшаются. Восстановление первоначальных размеров клетки происходит благодаря образованию ауксоспор, присущих только диатомовым водорослям. Образование ауксоспор сопровождается половым процессом. В наиболее примитивной форме половой процесс известен у представителей *Centricales* и у *Araphinales*. Ауккоспора у них развивается из одной клетки, в которой предварительно происходит редукционное деление ядра на четыре гаплоидных ядра, два из них растворяются, а два оставшихся сливаются вместе, образуя вновь диплоидное ядро. У остальных видов класса *Pennatophyceae* половой процесс протекает в виде конъюгации двух клеток. Наиболее обычный тип полового процесса состоит в том, что две клетки перед образованием ауксоспоры сближаются, и каждая из них делится на две дочерние клетки. Происходит редукционное деление каждого ядра на четыре гаплоидных ядра, два из них растворяются, а два оставшихся переходят в дочерние клетки, после

чего гаплоидные дочерние клетки сливаются с гаплоидными дочерними клетками другой водоросли (Белякова и др., 2006).

Динофитовые водоросли (Dinophyta) – преимущественно одноклеточные с монадным типом структуры, но некоторые из них имеют амeboидную, пальмеллоидную, коккоидную или нитчатую структуру. Клетки обычно окрашены в тёмно-бурый, красный, иногда в жёлтый или желто-зелёный цвет, имеются также бесцветные формы. Данный отдел характеризуется разнообразием форм тела у представителей. Преобладают шаровидная, эллипсоидная, яйцевидная формы. Преимущественное большинство динофитовых покрыты текой, часто образующей панцирь. Он состоит из трёх основных частей: верхней – эпивальвы, нижней – гиповальвы и средней – пояска, соединяющего обе части в сплошной панцирь. Эпивальва и гиповальва состоят из пластинок и щитков, соединенных в определённом порядке швами. Швы бывают узкие, более или менее широкие, плоские или выпуклые, гладкие или шероховатые. Они представляют собой зону роста панциря. На панцире многих видов имеются 2 бороздки – поперечная и продольная. Поперечная бороздка разделяет панцирь на верхнюю (эпивальву) и нижнюю (гиповальву) части и проходит обычно по экватору, редко она смещена к переднему концу, как у видов рода *Amphidinium* Clap. et Lachm., или к нижнему, как у видов рода *Katodinium* (Conr.) Fott. (Водоросли, 1989).

Монадные динофитовые имеют два неравных по величине жгутика – поперечный и продольный. Поперечный жгутик имеет вид волнистой ленты, выходит из верхней жгутиковой поры и опоясывает клетку влево. Этот жгутик расположен в поперечной бороздке. Продольный – рулевой – жгутик в виде тонкой нити выходит из нижней жгутиковой поры и у большинства видов расположен в продольной бороздке панциря. Хлоропласты у динофитовых обычно дисковидные, как правило, многочисленные. Они содержат хлорофиллы а и с, β- и γ-каротин, из ксантофиллов – фукоксантин, диадиноксантин, диатоксантин, диноксантин, перидинин, неоперидинин,

пирроксантин. Стигма расположена за пределами хлоропласта, в основании жгутиков. Характерной особенностью динофитовых являются своеобразные вакуоли, называемые пузулами. У некоторых представителей обнаружены трихоцисты – палочковидные или булавовидные бесцветные образования, радиально расположенные на периферии протопласта. Продуктами ассимиляции динофитовых являются масло и крахмал, реже хризоламинарин, гликоген и другое (Белякова и др., 2006).

Размножение у динофитовых водорослей осуществляется в основном делением клеток в подвижном состоянии или зооспорами и апланоспорами. У некоторых видов описан половой процесс, происходящий путём слияния взрослых или жгутиковых клеток и апланоспор. При неблагоприятных условиях у многих панцирных видов образуются толстостенные цисты, по форме напоминающие вегетативные клетки (*Ceratium cornutum* (Ehr.) Clap. et Lachm.) (Водоросли, 1989).

Зелёные водоросли (Chlorophyta) - наиболее многочисленная группа пресноводных водорослей, лишь незначительная часть их встречается в морях и океанах. Представители данного отдела могут быть одноклеточными, колониальными, ценобиальными, многоклеточными. У них встречаются все типы формы тела, возникшие в процессе эволюции, кроме ризоподиальной и тканевой. Клеточные покровы разнообразны. У некоторых клетки окружены лишь плазмолеммой, у других снабжены дополнительными образованиями в виде субмикроскопических чешуек или структур, напоминающих перипласт. Такие клетки метаболичны. У большинства зелёных водорослей образуются клеточные оболочки, сохраняющие более или менее постоянную форму клеток. Целлюлоза – основной компонент клеточной оболочки большинства зелёных водорослей. Однако у *Chlamydomonas* она отсутствует; в состав клеточных оболочек у этого рода входит гликопротеин. На поверхности оболочки нередко образуются разнообразные выросты, шипы, щетинки, гранулы, бородавки,

выполняющие защитную функцию и облегчающие парение в воде (Миловидова, 1982).

У монадных форм и стадий зелёных водорослей имеется стигма, являющаяся частью хлоропласта. Монадные формы обычно снабжены жгутиками, количество которых может варьировать от одного (*Pedinomonas*) до многих (монадные стадии *Oedogonium*, зооспоры *Derbesia*). Название они своё получили за зелёную окраску хроматофоров, обусловленную хлорофиллами а и в. Встречаются десятки ксантофиллов и каротинов. По составу фотосинтетических пигментов зелёные водоросли близки к высшим растениям. Запасное питательное вещество – крахмал, редко масло (Водоросли, 1989).

Размножаются зеленые водоросли половым и бесполом путём, с помощью вегетативных и специализированных клеток. Вегетативное размножение у одноклеточных происходит простым делением надвое, у колониальных и многоклеточных – фрагментацией таллома. Ценобиальные образуют дочерние ценобии внутри клеток материнского ценобия. Многие размножаются с помощью акинет. Размножение с помощью спор широко представлено у многих зелёных водорослей. Иногда образование спор является единственным способом размножения (*Chlorella*), у некоторых споры отсутствуют (*Chara*). Споры бывают подвижными (зооспоры) и неподвижными (апланоспоры). Зооспоры обычно имеют 2-4 жгутика. Половой процесс представлен разнообразными формами: гологамией, изогамией, гетерогамией, оогамией, конъюгацией (Белякова и др., 2006).

Выше рассмотрены водоросли тех отделов и классов, которые широко распространены во многих типах водоемов, и составляют экологическую группу – фитопланктон. Ведущими факторами, влияющими на развитие фитопланктона, являются свет, температура, наличие капельно-жидкой воды, а также источников углерода, минеральных и органических веществ (Водоросли, 1989).

1.2. Факторы, влияющие на развитие фитопланктона

Факторы, влияющие на развитие фитопланктона, подразделяют на биотические, абиотические и антропогенные. Многие факторы, особенно абиотические, являются лимитирующими, т.е. способны ограничивать развитие водорослей. К абиотическим факторам относятся: температура, свет, физические и химические свойства воды (Водоросли, 1989).

Для существования в условиях разной освещенности, ряд водорослей имеют комплекс адаптаций. Подвижные жгутиковые водоросли, например эвгленовые, могут совершать светозависимые миграции, регулируя уровень освещенности. Диатомовые, не способные к активному передвижению и не обладающие нейтральной плавучестью, в условиях загрязнения в водной толще распределяются гомогенно, в основном скапливаясь в придонном слое. Самыми чувствительными к условиям освещения оказались цианобактерии. У некоторых диатомовых водорослей в утренние часы в клетке накапливаются метаболиты и, к полудню происходит уменьшение доли клеток у поверхности воды. В слоях воды, где интенсивность дыхания выше интенсивности фотосинтеза, происходит освобождение от метаболитов, которое является типичной адаптацией для водорослей без специальных органелл передвижения. Цианобактерии совершают светозависимые перемещения с помощью газовых вакуолей, служащих одновременно и светозащитой, располагаясь при низкой освещенности в толще клетки, а при высокой — перемещаясь к периферии (Водоросли, 2018).

Температурные характеристики вод бассейна реки изменчивы, дополнительной причиной может являться сброс промышленных вод. Также дополнительным фактором, оказывающим влияние на температуру, является повышение содержания накопленной органики в зимнее время, поступающей в русло реки в весеннее половодье с пастбищ, болот, садков. Тепловая энергия может непосредственно влиять на интенсивность ряда процессов,

происходящих в клетке, и воздействовать на жизнедеятельность водорослей косвенным путём, вызывая физико-химические изменения воды при термическом перемешивании водных масс в реках. Цианобактерии и зелёные водоросли активны при повышенных значениях температуры. При низкой температуре воды фотосинтез у этих водорослей пропорционален энергии поверхности воды солнечной радиации, который при повышении температуры выше 20°C возрастает. При повышении температуры выше 25°C наблюдается понижение фотосинтеза, которое обусловлено не фотоингибированием, а взаимодействием световых и температурных факторов (Науменко, Назын, 2007; Назын, Науменко, 2012; Назын, 2014; Ондар и др., 2017).

Существенное влияние на рост и развитие водорослей оказывают гидродинамические характеристики воды. В весенний период, когда наблюдается интенсивное перемешивание. Стратиграфия нарушается осенью, когда снижается инсоляция и температура, и соответственно, уменьшается плотность водорослей и их первичная продукция. Преобладание диатомовых водорослей в весенне-осенний период связано с их потребностью в подвижности воды. Увеличение скорости течения в эти периоды приводит к росту первичной продукции у отдельных видов водорослей и к снижению численности сине-зелёных. Положительное влияние турбулентности водных масс на клетки фитопланктона в том, что с клеточных оболочек удаляются экскреты водорослей и облегчается процесс диффузии, доставки питательных веществ и углекислого газа (Назын, Науменко, 2012; Назын, 2014; Ондар и др., 2017).

Солёность и минеральный состав воды являются важнейшими лимитирующими факторами. Конкретные виды диатомовых нередко развиваются только при определённой солёности и столь чувствительны к её изменениям, что могут быть использованы как индикаторные организмы. Но при этом практически в каждом отделе водорослей можно найти виды, способные обитать в условиях крайнего засоления, и виды, живущие в

водоёмах с очень низкой минерализацией. Так, цианобактерии – пресноводные организмы, однако среди них есть виды, способные развиваться в водоёмах с высокой концентрацией солей. Кислотность воды также является лимитирующим фактором. Устойчивость разных таксонов водорослей к изменениям кислотности (рН) столь же различна, как и к изменениям солёности. Некоторые виды водорослей живут только в щелочных водах, при высоком значении рН, другие обитают в кислых водах, при низком рН (Водоросли, 1989).

В экосистеме существуют факторы, ограничивающие ее продуктивность, естественным является предположение, что в олиготрофных и мезотрофных водоемах продуктивность фитопланктона в частности и всей экосистемы в целом определяется концентрацией элементов минерального питания. Поэтому представляется очевидным считать концентрацию элементов минерального питания основными лимитирующими факторами. Рассматриваются три основных минеральных элемента как лимитирующие факторы (Behrenfeld et al., 1999). Азот и фосфор являются основными питательными веществами, которые могут ограничить рост фитопланктона в природной среде (Bergstrom et al., 2008; Davey et al., 2008; Persic et al., 2009).

Присутствуют нитратная, нитритная и аммонийная формы азота, соотношения между ними могут быть различными. Различное происхождение этих форм является причиной разделения процесса продуцирования органического вещества на два вида. Первый, который формируется в эвфотической зоне за счет азота, поступающего вследствие вертикального или горизонтального обмена. Этот процесс назван как «new production» (Eppley et al., 1979). В нем основной является нитратная форма азота. Аммонийная форма азота образуется за счет разложения органического вещества с помощью бактерий и за счет экскреций зоопланктона (Nelson et al., 1996). Данная форма азота является продуктом регенерации собственного органического вещества, и поэтому она была названа «regenerate production». Отношение скорости

поглощения нитратов к суммарной скорости поглощения нитратов и аммония (f-ratio) служило мерой формирования новой продукции за счет аллохтонного азота, а отношение скорости поглощения аммония к общей скорости поглощения двух форм азота являлось оценкой вклада регенерационных процессов и формирования продукции за счет автохтонного азота (Eppley et al., 1979).

Изменение соотношения форм азота может быть причиной сдвига в структуре фитопланктона. Показано, что повышение концентрации нитратов приводит к преобладанию диатомовых (Domingues et al., 2011), а аммонийная форма азота связана с преобладанием динофлагеллят и мелких флагеллят (Semeneh et al., 1998).

Внутри одной и той же группы может быть различная реакция на повышение концентрации азота, океанические формы более чувствительны к повышению концентрации аммония, чем прибрежные. В прибрежных водах, особенно в урбанизированных эстуариях, высокие концентрации аммония приводят к «цветению» диатомей. Однако очень высокие концентрации аммония ингибируют поглощение нитратов, задерживают развитие «цветений», подавляют первичную продукцию и развитие диатомового комплекса (Dugdale et al., 2007).

Соединения кремния широко представлены в донных отложениях водоемов. Кремний присутствует в виде оксидов (кварц, опал), а также входит в состав разнообразных силикатов и алюмосиликатов. Значительная часть кремния в донных отложениях присутствует в виде аморфного биогенного кремнезема, который образуется в результате отмирания органического материала оседающего на дно водоема. Обогащение поверхностных горизонтов растворимыми соединениями кремния происходит в результате биогеохимического круговорота кремния в пределах водоема и, он тесно связан с жизнедеятельностью диатомовых водорослей. Кремний играет важную физиологическую роль и участвует в метаболизме клеток диатомовых

водорослей. Повышение его концентраций способствует увеличению численности и размеров клеток, ускорению роста, образованию колоний и благоприятствует видовому разнообразию диатомей, присутствие кремния в концентрации более 2 мг/л задерживает, а в ряде случаев даже ингибирует развитие цианобактерий (Ходоровская и др., 2002).

Фосфор (P) является структурным и функциональным компонентом всех организмов. Он обеспечивает основу ДНК и РНК, и это имеет решающее значение в передаче химической энергии через молекулы АТФ. Наличие фосфора может повлиять на показатели первичной продукции, а также на распространение видов и структуру экосистемы (Benitez-Nelson, 2000; Clark et al., 1999; Karl et al., 2001).

Фосфор как лимитирующий фактор, для диатомовых водорослей имеет второстепенное значение и, эти водоросли могут развиваться при очень низких его концентрациях в отличие от сине-зелёных, для которых присутствие фосфора в воде играет важную роль (Ходоровская и др., 2002).

Биогенные вещества, такие как азот и фосфор, могут выделяться в виде твердых частиц, и в растворенном виде из органического материала рыбных кормов. Сельское хозяйство несет за собой отходы в форме избытка рыбного корма, рыбные экскременты, которые могут накапливаться в водной среде и донных отложениях, так как главная особенность выращивания аквакультуры в садках это концентрация большого количества рыбы на относительно небольшой площади водоёма. Сельское хозяйство оказывает огромное влияние на будущее управление водными ресурсами. Пресноводная аквакультура культивируется в таких местах как водохранилища, реки, озера, каналы, устья, заливы, лагуны и фьорды. Это приводит к ухудшению качества воды пресноводных водоемов посредством увеличенного водного обмена и их загрязнения. Все это оказывает негативное влияние на здоровье человека и окружающей среды, особенно страдают равнинные прибрежные районы,

которые являются благоприятными областями для жизни человека (Raymond et al., 2016).

1.3. Фитопланктон реки Енисей

В современных условиях все увеличивающиеся масштабы и мощность хозяйственной деятельности человека, а также глобальное изменение климата и его региональные проявления приводят к нарушению устойчивости и ухудшению качества вод (Беспалова и др., 2018).

Интенсивная эксплуатация биологического потенциала вод северных регионов, расширение транспортных перевозок и других видов хозяйственной деятельности с каждым годом делают все более актуальными задачи изучения экосистем Арктики. Енисей относится к рекам Арктического бассейна. Это самая полноводная река страны, имеющая огромное народно-хозяйственное значение. По физико-географическим условиям, характеру строения долины и русла, водному режиму Енисей делят на три участка: верхний (исток–устье Ангары), средний (Ангара–устье Нижней Тунгуски) и нижний (устье Нижней Тунгуски–устье Енисея) (Грезе, 1957).

В 1940–1950-х гг. исследования гидробионтов реки Енисей проводились В. Н. Грезе. Им отмечено, что фитопланктон верхних участков Енисея беден и содержит в основном бентосные диатомовые водоросли, представленные 199 видами, при этом именно планктонных представителей обнаружено 45 видов. Наиболее разнообразным в верхней части реки был фитобентос, в низовьях его численность снижалась. Также установлено, что до зарегулирования плотиной Красноярской ГЭС, река по всей длине соответствовала олиготрофному типу (Кузьмина, 1978).

Создание Красноярской ГЭС изменило гидрологический и термический режимы реки ниже плотины. Скорости течения в весенне-летний период уменьшились с 3,4–3,8 до 2,5 м/с, а зимой повысились с 0,56 до 1,7 м/с.

Температура воды весной и летом стала ниже, а в осенне-зимний период выше. Ниже плотины ГЭС в течение всего года наблюдалась интенсивная вегетация донных водорослей. На этом участке реки бентосные диатомовые составили 35–40 % от общей численности планктона, в низовье — не более 7 % (Гресе, 1957).

Мониторинг состояния и качества поверхностных вод и их трансформаций проводится с использованием физико-химических и биологических методов, а ограниченность гидрохимических и гидрофизических подходов к оценке водных экосистем состоит в том, что они не показывают характер и последствия воздействия на биоту поступающих в водный объект загрязнителей их комплекса и факторов нехимической природы. На основе физико-химических показателей, таких как прозрачность воды, наличие взвешенных частиц, степень минерализации вод, ионный состав, освещенность чаще всего осуществляется экономическая и технологическая оценка вод, определяется их пригодность для питьевого водоснабжения (Беспалова и др., 2018).

Глава 2. Район и методы исследования

2.1. Характеристика Абаканской протоки реки Енисей

Река Енисей, на исследуемом нами участке, представляет горную быстротекущую реку (скорость течения 1,8-2,0 м/с). Морфометрические особенности вышележащего Красноярского водохранилища и глубина водозаборных отверстий (40 м при НПУ) обуславливают в нижнем бьефе Красноярской ГЭС понижение температуры воды летом и повышение осенью и зимой. Поступление в зимний период из водохранилища воды с более высокой температурой приводит к образованию незамерзающей полыньи длиной 50-200 км. Колебания уровня воды в реке значительно зависят от режима работы Красноярской ГЭС (Космаков, 2001).

Гидрохимические и гидробиологические пробы, в том числе фитопланктона, отбирали в литоральной части протоки. Глубина на станциях отбора проб варьировала от 0,75 до 2,80 м. Скорость течения реки на месте сбора проб была низкая, в среднем 05 м/с, за счет расположенной выше Абаканской протоки дамбы (см.рис. 1).

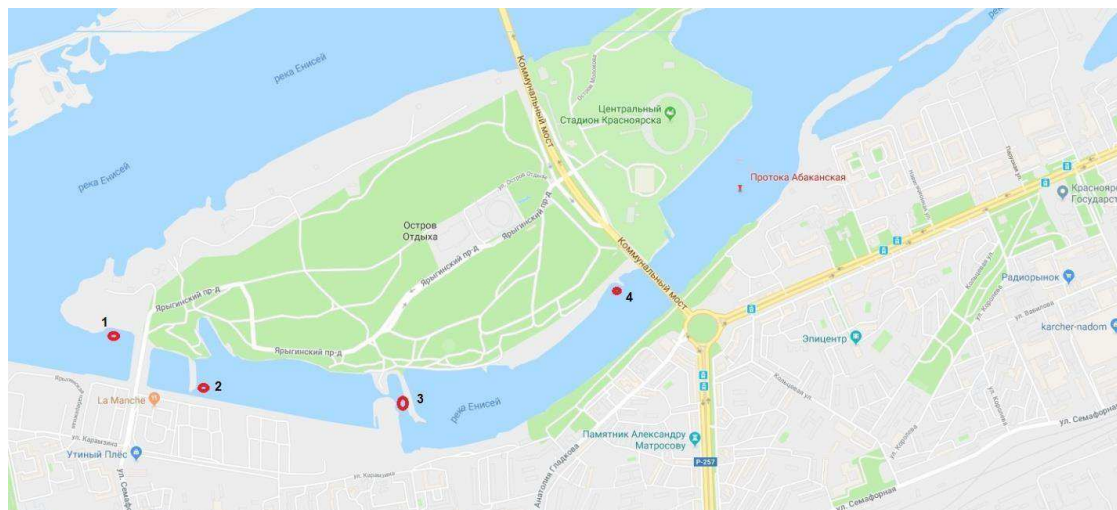


Рис.1 - Схема Абаканской протоки реки Енисей со станциями отбора проб

Работы по отбору проб фитопланктона осуществляли с мая по август 2018-2019 гг. на 4 станциях:

станция 1 - вход или условно фоновая станция, располагается на реке Енисей в начале Абаканской протоки, – 50 м выше дамбы, перекрывшей протоку;

станция 2 – расположена на 200 м ниже по течению за дамбой, где расположена искусственная насыпь, защищающая проходящие по дну дюкеры, и отражает изменения, происходящие в экосистеме при зарегулировании стока;

станция 3 – расположена по течению ниже станции 2 в районе выброса теплых вод с ТЭЦ 2, также имеющая искусственную насыпь, с другой стороны которой, расположено садковое хозяйство;

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

Пробы воды для гидрохимического и гидрологического анализа отбирали возле берега на глубине 0,5-0,7 м. Воду зачерпывали пластиковым ведром. Температуру воды измеряли электронным термометром Long-Stem Thermometer, F/C, 8 (Cole-Parmer, США), содержание растворенного кислорода – кислородомером HI 9142 (Hanna Instruments, США), pH – с помощью лабораторного pH-метра PB-11 (Sartorius, Германия).

Температура воды в Абаканской протоке во время проведения исследований в вегетационный период сильно варьировала 10,7-20,5°C - в 2018 году и 9,5-26,1°C - в 2019 году. Низкие положительные температуры регистрировали на станции 1, а высокие - на станциях 3 и 4, обуславливаемые сбросом теплой воды с ТЭЦ-2 (см.табл. 1).

Содержание кислорода и углекислого газа являются наиболее важными составляющими газового режима водоема. Растворенный кислород в природных водах находится в виде молекул O₂. Для нормального функционирования биоты в экосистеме и самоочищения вод он наиболее значимый элемент, который определяет величину окислительно-восстановительного потенциала, скорость процессов химического и биологического окислений органических и неорганических соединений.

Таблица 1- Показатели температуры воды, рН и содержание кислорода в воде на участке Абаканской протоки в вегетационный период 2018 - 2019 гг.

Станция	Год	Месяц	Температура, t°C		Кислород, мгО ₂ /л		рН	
			2018	2019	2018	2019	2018	2019
1		5	11	9,5	-	11,4	7,85	8,4
		6	15,7	15,6	10,9	11,1	7,92	8,42
		7	10,7	12,9	10,7	11,1	8,11	8,26
		8	14,7	16,1	10,7	10,0	8,09	8,18
2		5	19,1	9,5	-	9,3	7,86	8,5
		6	15,9	17,7	10,3	10,4	7,96	8,3
		7	18,2	14,7	9,8	8,7	8,33	8,02
		8	17,9	15,2	10,1	7,6	8,2	7,76
3		5	20,9	21,8		10,2	7,86	8,2
		6	21,7	25	10,1	9,8	8,04	8,27
		7	19,4	21,2	9,8	9,4	8,35	8,47
		8	20,3	24,8	9,6	7,6	8,09	7,96
4		5	18,4	19,0	-	10,9	8,99	9,0
		6	23,2	26,1	6,8	12,1	8,46	8,7
		7	19,2	22,3	12,7	10,3	8,22	8,65
		8	20,4	23,4	12,8	18,0	8,61	9,37

Кислородный режим в реке определяется влиянием водохранилища (сброс через плотину приводит к сильному перемешиванию водных слоев) и сильным течением реки (Красноярское водохранилище, 2008; Сороковикова, 1993). Таким образом, как во внутрисезонном, так и в многолетнем аспекте насыщенность воды кислородом в безледный период коррелирует с показателями продуктивности и обилия фитопланктона. С ростом содержания кислорода увеличивается интенсивность процессов его окисления. В годы повышенной инсоляции и температуры интенсивность фотосинтетической аэрации возрастает. В связи с этим можно предполагать, что при сохранении наблюдаемой тенденции повышения температуры воды будет также возрастать как роль фитопланктона в формировании кислородного режима водоема, так и уровень насыщения воды кислородом (вплоть до перенасыщения) в летний период (Девяткин и др., 2012).

Среднее значение содержания кислорода для водных экосистем составляет $11,72 \pm 0,18$ мгО₂/л. Так как в мае показатели кислорода не учитывали, то мы имеем показатели кислорода за июнь, июль и август (см.табл.

1). Из приведенных выше данных, можно отметить, что содержание кислорода в июне и июле 2018 и 2019 года практически одинаково. Наименьшая концентрация кислорода зафиксирована в июне 2018 года на станции 4 и в августе 2019 года на станции 2, что связано с прогревом воды в реке, и подтверждает факт достоверного снижения уровня кислорода в воде с возрастанием температуры воды. Данные свидетельствуют о естественном распределении кислорода в водотоке, что напрямую связано с температурами воды: чем выше температура воды, тем больше численность водорослей и ниже концентрация кислорода.

Также особую роль играет рН воды, его изменение связаны с процессами фотосинтеза, превращениями различных форм биогенных элементов, с динамикой токсичных загрязнений и самоочищения вод в целом (Гусева и др., 2000). На момент отбора проб активная реакция среды в Абаканской протоке на 2018 год изменялась в пределах 7,85-8,99, в 2019 году варьировала в пределах 7,76-9,37, что говорит о слабощелочном характере воды (см.табл. 1).

Воду для гидрохимического анализа отбирали ведром с поверхности водоема и помещали в пластиковые бутылки объемом 1 л. В лабораторных условиях происходит определение содержания в воде форм азота и общего минерального фосфора по стандартным общепринятым методикам (РД 52.24.486-95, РД 52.24.381-2006, РД 52.24.380-2006, РД 52.24.382 – 2006, РД 52.24.387 – 2006). В таблицах 2, 3 и 4 даны результаты гидрохимического состава воды в Абаканской протоке, любезно предоставлены Аналитической лабораторией ИБФ СО РАН.

По данным 2018 года концентрация общего фосфора была равна 0,01-0,005 мг/л, в 2019 году 0,01-0,009 мг/л (см.табл. 2).

Считается, что порог лимитирования по фосфору для цианобактерий составляет 0,01 мг/л (Zevenboom et al, 1982). Так наибольшее содержание общего фосфора выявлено на станциях 1 и 3. Самая высокая концентрация зарегистрирована в мае 2018 г.- 0,016 мг/л. Значения минерального фосфора на

станции 4 доходили до 0,013 мг/л в июне, а в июле резко уменьшались до 0,0045 мг/л, и далее в августе снова наблюдался подъем концентрации до 0,01 мг/л. (см.табл. 2).

Таблица 2 - Содержание биогенных химических элементов (мг/л) в воде Абаканской протоки, май-август 2018-2019 г.

Дата	Станция	NH ₄ , мг/л		NO ₂ , мг/л		NO ₃ , мг/л		P общ, мг/л		P мин, мг/л	
		2018	2019	2018	2019	2018	2019	2018	2019	2018	2019
5	1	0,03	0,04	0,0074	0,0027	0,1456	0,0073	0,016	0,0135	0,0039	0,0115
	2	0,07	0,02	0,0068	0,005	0,1882	0,195	0,01	0,003	0,0039	0
	3	0,03	0,055	0,0066	0,0043	0,1764	0,2257	0,016	0,0555	0,0029	0,00225
	4	0,06	0,004	0,015	0,0232	0,177	0,2118	0,011	0,01525	0,0039	0
6	1	0,05	0,004	0,003	0,009	0,102	0,561	0,011	0,01	0,011	0,0035
	2	0,03	0,004	0,0042	0,0072	0,1188	0,623	0,01	0,0075	0,008	0
	3	1,3	0,055	0,048	0,0083	0,183	0,502	0,009	0,0105	0,009	0,005
	4	0,05	0,14	0,0272	0,064	0,1358	0,438	0,018	0,0125	0,013	0,005
7	1	0,05	0,09	0,0008	0,006	0,0742	0,19	0,0065	0,005	0,0065	0,0015
	2	0,05	0,065	0,0062	0,003	0,0978	0,34	0,006	0,003	0,0015	0,0005
	3	0,09	0,065	0,0066	0,112	0,1124	0,3	0,006	0,008	0,0045	0,001
	4	0,08	0,075	0,0152	0,07	0,1118	0,25	0,005	0,009	0,005	0,0015
8	1	0,07	0,0064	0,006	0,0042	0,074	0,281	0,01	0,0055	0,01	0
	2	0,08	0,051	0,0082	0,0046	0,0788	0,0804	0,009	0,001	0,008	0
	3	0,09	0,06	0,0062	0,014	0,0888	0,056	0,01	0,007	0,01	0
	4	0,1	0,0077	0,0294	0,0918	0,0986	0,1038	0,0075	0,02	0,0055	0,0105

В 2019 году наибольшая концентрация общего фосфора выявлена в июле на станции 3 и 4 - 0,008-0,009 мг/л, а также в августе на станции 3-0,007 мг/л .

Значения минерального фосфора в июне на станции 3 и 4 доходили до 0,0105 – 0,0125 мг/л, а после понижались до 0,005- 0,003 мг/л, подобную ситуацию мы также наблюдали в 2018 году. Также стоит отметить, что на некоторых станциях значение минерального фосфора и вовсе равнялось нулю.

За период исследования 2018 года, содержание ионов аммония в наибольшем количестве выявлено в пробах воды со станций 2 и 4 до 0,7 мг/л, в 2019 году наибольшее количество выявлено на станции 1 и 4 до 0,14 мг/л. Повышенное содержание нитритов указывает на усиление процессов разложения органических веществ в условиях медленного окисления NO_2^- в NO_3^- , что свидетельствует об органическом загрязнении водоема. Исходя из результатов содержания проб 2018 года, концентрация ионов нитритов растет с мая по август. На станциях 3 и 4 наблюдалось значительное их содержание (от 0,015 до 0,0986 мг/л), а также в 2019 году на станции 4 (от 0,0232 до 0,0918 мг/л). Нитраты - это соли азотной кислоты, Их наибольшее количество за 2018 год зарегистрировано на станциях 2 и 3 (до 0,1882 мг/л), в 2019 году на станциях 3 и 4 (до 0,2257 мг/л). Вероятно, повышенное содержание ионов аммония, нитритов и нитратов, особенно, на станциях 3 и 4, может быть связано с несколькими источниками: поступлением из ливневой канализации, садков рыбного хозяйства и разложением макрофитов к концу вегетационного периода, которых на этих станциях много.

В воде Абаканской протоки обнаружены макроэлементы, такие как К, Са, Mg, Na, P, S (см.табл.3, см.табл.4), величины которых варьируют в широких пределах на разных станциях. Так в 2018 году (см.табл.3) содержание К изменяется от 0,58 до 0,79 мг/л, концентрация Mg варьирует от 3,99 до 5,37 мг/л, концентрация Na - от 2,24 до 5,95 мг/л, содержание Са - от 24 до 35,15 мг/л. Содержание неметаллов, таких как, S колебалось в пределах от 2,72 до 4,15 мг/л, а P - от 0,0072 до 0,0287 мг/л. Из литературных источников известно, что отсутствию натрия у цианобактерий снижается содержание пигмента фикоцианина (Горюнова и др., 1974).

Таблица 3 – Содержание макроэлементов в воде Абаканской протоки, июль- август 2018 (мг/л)

Месяц	Станция	Ca	K	Mg	Na	P	S
7	1	26,5327	0,642966	4,59247	2,47955	0,013837	2,93405
	2	35,148	0,787093	5,15403	4,14302	0,022826	3,82588
	3	30,7444	0,767196	4,75508	5,22877	0,01515	3,60469
	4	32,0271	0,938795	5,36613	5,95193	0,028684	3,90163
8	1	24,2703	0,513686	3,99253	2,24018	0,009797	2,71993
	2	30,7545	0,666802	4,82275	3,28957	0,007171	3,08252
	3	25,8156	0,585194	4,03697	3,72892	0,009494	3,29664
	4	26,9367	0,629432	4,26927	4,96415	0,016059	4,15211

Таблица 4 – Содержание макроэлементов в воде Абаканской протоки, май- август 2019 (мг/л)

Месяц	Станция	Ca	K	Mg	Na	P	S
5	1	25,6641	0,658823	4,47228	2,23109	0,011817	2,71589
	2	30,5323	0,715787	5,16817	2,80982	0,012524	3,07343
	3	24,644	0,688315	4,33997	2,48258	0,011918	2,9088
	4	25,3308	0,728008	4,56924	2,90678	0,011413	3,39461
6	1	25,2904	0,64943	4,21776	2,3331	0,013029	2,89062
	2	31,2191	0,857288	5,34896	3,535	0,003838	3,36734
	3	24,2703	0,740229	4,00364	3,71579	0,007474	3,02091
	4	25,6439	1,03222	4,26523	4,07232	0,012827	3,46632
7	1	23,8764	0,520756	4,06828	2,36643	0,012019	2,37552
	2	27,6942	0,590042	4,64398	2,77245	0,010403	2,55328
	3	24,6743	0,608727	4,01879	7,08515	0,014544	4,07131
	4	26,0782	0,636906	4,42481	2,94718	0,016968	2,91082
8	1	21,816	0,472478	3,74205	2,12302	0,017978	1,10696
	2	28,0073	0,58176	4,52177	2,63408	0,008989	1,18978
	3	25,3106	0,564085	4,22887	2,96031	0,014746	1,79073
	4	27,9063	0,641754	4,71266	3,71175	0,017776	2,67953

Концентрации наиболее значимых микроэлементов также значительно варьировали в течение вегетационного периода (см.табл.5). Так содержание Fe

изменялось в пределах 0,0209 - 0,0762 мг/л, Zn - от 0 до 0,0031 мг/л, Mo - от 0,0006 до 0,0013 мг/л, Mn - от 0,0026 до 0,0127 мг/л, Cu - от 0,0019 до 0,006 мг/л и Cr - от 0,0002 до 0,00071 мг/л (см.табл. 5).

Таблица 5 – Содержание микроэлементов в воде Абаканской протоки, июль- август 2018 (мг/л)

Дата	Станция	Cr	Cu	Fe	Mn	Mo	Zn
23.07.2018	1	0,0003	0,0021	0,051	0,0096	0,001	0,0012
	2	0,0002	0,0039	0,0476	0,0115	0,001	0,0013
	3	0,0004	0,006	0,0762	0,009	0,0011	0,0029
	4	0,00051	0,0062	0,0732	0,0127	0,0011	0,0031
27.08.2018	1	0,00071	0,0019	0,0334	0,004	0,0006	0,0007
	2	0,0002	0,0019	0,0238	0,0069	0,0013	0
	3	0,0002	0,0034	0,0209	0,0026	0,001	0,0011
	4	0,0002	0,0026	0,0336	0,007	0,0011	0,0003

В 2019 году были получены данные по содержанию макро- и микроэлементов на каждой станции и по каждому месяцу. Так содержание К изменяется от 0,47 до 1,03 мг/л, концентрация Mg варьирует от 3,74 до 5,16 мг/л, концентрация Na - от 2,12 до 7,08 мг/л, содержание Ca - от 21,81 до 31,21 мг/л. Содержание неметаллов, таких как, S колебалось в пределах от 1,10 до 4,07 мг/л, а P - от 0,0038 до 0,0179 мг/л (см.табл. 4).

Анализ данных за 2019 год также показал, что концентрации наиболее значимых микроэлементов значительно меняются в течение вегетационного периода (см. табл. 6).

Так содержание Fe изменялось в пределах 0,0103 - 0,1373 мг/л, Zn - от 0 до 0,0135 мг/л, Mo - от 0,0006 до 0,0101 мг/л, Mn - от 0,0031 до 0,0218 мг/л, Cu - от 0 до 0,0046 мг/л и Cr - от 0,0002 до 0,0008 мг/л (см.табл. 6).

Таблица 6 – Содержание микроэлементов в воде Абаканской протоки, май- август 2019 (мг/л)

Дата (месяц)	Станция	Cr	Cu	Fe	Mn	Mo	Zn
5	1	0,000505	0,003131	0,139279	0,011817	0,00505	0,00303
	2	0,000202	0,001717	0,033027	0,020301	0,000808	0,000707
	3	0,000303	0,005252	0,114332	0,009999	0,000606	0,00202
	4	0,000202	0,00404	0,051207	0,003131	0,000303	0,000707
6	1	0,000303	0,002727	0,062923	0,010504	0,000303	0,002424
	2	0,000202	0,002424	0,033734	0,016463	0,002929	0,000707
	3	0,000202	0,004646	0,074841	0,010504	0,0101	0,005757
	4	0,000202	0,003636	0,039895	0,005858	0,002828	0,004848
7	1	0,000303	0,001212	0,074336	0,008585	0,001111	0,001212
	2	0,000202	0	0,050096	0,018786	0,002121	0
	3	0,000404	0,002828	0,113423	0,011413	0,001111	0,003535
	4	0,000202	0,002222	0,041612	0,005252	0,001717	0,000707
8	1	0,000808	0,000909	0,252096	0,012322	0,000202	0,013534
	2	0,000404	0,001212	0,048278	0,021816	0,000404	0,001212
	3	0,000606	0,004242	0,13736	0,01313	0,000404	0,003434
	4	0,000404	0,00303	0,041309	0,00505	0,000606	0,001616

Согласно исследованиям И. М. Величко (1968), минимальная угнетающая концентрация цинка и меди равна 0,1-0,2 мг/л, но таких концентраций этих элементов в воде Абаканской протоки реки Енисей не обнаружено.

2.2. Методы отбора и обработки проб фитопланктона

Микроскопические организмы, свободно парящие в толще воды и осуществляющие фотосинтез, объединяются термином фитопланктон. Фитопланктон является одним из важнейших элементов водных экосистем, участвующих в формировании качества вод. Ассоциации реофильного планктона представлены главным образом диатомовыми и зелеными

протококковыми водорослями. В составе лимнофильных комплексов наиболее массовыми, вызывающими «цветение» водоемов, являются цианобактерии.

Отбор проб и учет организмов фитопланктона производили классическими гидробиологическими методами. Пробы фитопланктона отбирали с поверхности водоема, зачерпывая ведром, и помещали 1 л в пластиковую емкость. В лаборатории пробы фитопланктона, объемом 400 мл, фильтровали под вакуумом в специальной воронке Зейца, укрепленной на колбе Бунзена, которая соединялась с медицинским отсасывателем. Для фильтрации использовали специальные мембранные фильтры МФАС-ОС-2 с диаметром пор 0,45 мкм. Для длительного хранения фильтров с осадком, концентрированные пробы фиксировали модифицированным раствором Люголя (Водоросли, 1989).

Данные о численности водорослей являются исходными для определения их биомассы и пересчета других количественных показателей. Численность водорослей может быть выражена в количестве клеток, ценобиев, отрезков нитей определенной длины и др. (Миловидова, 1982). Счетный метод заключается в следующем: пробу перемешивают (для более равномерного распределения организмов), из нее берут определенный объем и помещают в камеру Горяева (объемом 0,0009 мл) и подсчитывают под микроскопом организмы каждого встреченного вида. Из нескольких подсчетов среднее количество водорослей пересчитывают на определенный объем воды. При исследовании количественных проб фитопланктона пересчет численности организмов на 1 л воды производят по формуле (Водоросли, 1979):

$$N = \frac{n * K * V2 * 1000}{V1}$$

где N , тыс.к. · л⁻¹ - количество организмов в 1 л воды исследуемого водоема;

n - количество организмов, обнаруженных на просмотренных дорожках (квадратах);

К – коэффициент, показывающий какую часть составляет объем порции от единицы объема (1 мл);

V1 - первоначальный объем отобранной пробы (мл);

V2 - объем сгущенной пробы (мл).

Для оценки биомассы планктона существуют разные методы: объемный, весовой, химические, фотометоды, телевизионная микроскопия. Но при их применении часто не делается различий между планктоном и неживыми взвешенными в воде частицами. Значение отдельных видов как индикаторов тех или иных свойств водных масс, как продуктов и факторов среды совершенно не оценивается. Поэтому наибольшее распространение в гидробиологической практике при количественной обработке планктона получил счетный метод (Кожова, Мельник, 1978), основанный на подсчете численности и объема клетки водорослей.

$$B = N \cdot V_{\text{кл}} \cdot \rho$$

где, B, $\text{мкг} \cdot \text{л}^{-1}$ - биомасса, водорослей, N - число клеток одного вида, $V_{\text{кл}}$ - объем клетки водоросли, который приравнивается к объему геометрической фигуры мкм^3 , ρ – плотность водорослей, принятая за 1, $\text{г} \cdot \text{см}^{-3}$.

Объем водоросли рассчитывается в зависимости от ее формы по предложенным формулам (Olenina, 2006).

Кроме относительной простоты применения счетного метода можно указать следующие его преимущества:

- исследователь видит внешний вид (размеры, форму) и состояние (мертвый или живой) организма;
- определение плотности даже бедных популяций;
- можно отделить небольшое количество интересующих организмов от других объектов и нежелательных примесей;
- производство подсчета в зависимости от потребности с большей или меньшей точностью (Водоросли, 1989).

Когда структура сообщества характеризуется просто числом входящих видов и не принимаются во внимание количественные соотношения между ними, теряется информация о редкости одних видов и обычности других. Поэтому видовой состав лишь весьма приблизительно описывает структуру сообществ. После работ Шеннона и Бриллюэна по теории информации, в которых была введена энтропийная мера информации, Р. Маргалеф предложил понятие «разнообразия», количественно выраженное с помощью индекса разнообразия, практически не отличавшегося от энтропийной меры разнообразия. Индикаторные свойства фитопланктона определяются не только фактом нахождения или отсутствия определенных видов, но и степенью их количественного развития. Поэтому изучение таких статистических характеристик, как видовой состав, численность, биомасса, распределение водорослей в водоеме имеет большое практическое значение. В формировании природных фитопланктонных сообществ участвуют многие факторы, и число изучаемых и измеряемых параметров может быть велико. Поэтому наряду с чисто феноменологическими приемами описания существуют формальные приемы изучения структуры сообществ.

Сложность структурной организации сообществ фитопланктона, оценивали с помощью индекса видового разнообразия Шеннона (Shannon, 1963). Величина индекса >3 служит индикатором чистых вод, <1 – сильного загрязнения, а промежуточные величины (1-3)- умеренного загрязнения (Hellowell, 1986 цит. по: Gray, 2017). Индекс Шеннона (H), рассчитывали по следующей формуле:

$$\bar{H} = -\sum_{i=1}^n \frac{N_i}{N} \log_2 \frac{N_i}{N}$$

где N_i - численность особей i -го вида, N - численность особей в пробе, n - число видов.

Этот индекс суммирует большое количество информации о численности и видовом составе организмов, учитывая число видов и степень их доминирования. Более сложно организованным системам характерны более высокие величины индекса разнообразия (Алимов, 2000). Таким образом, показатели индекса Шеннона характеризуют богатство видового состава экосистемы.

Таксономическую структуру фитопланктона в течение вегетационного периода оценивали с помощью индекса видового сходства Чекановского-Сьеренсена (ИЧС), который рассчитывали как отношение числа общих видов (а) к среднему арифметическому числу видов в двух списках (b – число видов одного списка, с – число видов другого списка) (Методика..., 1975):

$$\text{ИЧС} = 2 a / (a+b)+(a+c)$$

Таким образом, видовой состав сообществ на разных станциях сравнивали с помощью индекса Чекановского-Сьеренсена. Качество воды определяли по индексу сапробности (методом Пантле и Букка) в модификации Сладечека (Макрушин, 1974). Индивидуальные индексы сапробности взяты из литературных источников (Водоросли, 1989; Барина и др., 2001). По величинам индекса сапробности определяли класс качества воды согласно РД 52.24.309-2011.

Статистическая обработка данных выполнялась с использованием программы Microsoft Excel 2013 для Windows, рассчитаны среднее арифметическое и его ошибка.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные двухлетние исследования фитопланктона Абаканской протоки реки Енисей позволили сделать следующие выводы:

1. В фитопланктоне Абаканской протоке реки Енисей за 2018 - 2019 гг. зарегистрировано 75 видов из 8 отделов: Bacillariophyta – 31, Chlorophyta – 24, Cyanobacteria - 9, Euglenophyta - 4, Chrysophyta - 3, Cryptophyta - 2, Dinophyta, и Xanthophyta по 1 виду.
2. Анализ видовой структуры фитопланктона за два года исследования показал высокую степень сходства флор (0,74), Средние значения индекса Чекановского-Сьеренсена между всеми станциями за два года наблюдения варьировали от 0,31 до 0,44, что отражает достаточно низкую степень сходства таксономического состава фитопланктона на участках Абаканской протоки.
3. Основу доминантного комплекса по биомассе на всех участках Абаканской протоки составляли диатомовые водоросли, в отдельные даты преобладали зелёные водоросли (среди которых бентосные виды *Closterium acerosum* и *Stigeoclonium tenue*), а по численности - нитчатые цианобактерии семейства Oscillatoriaceae. Исключение составила станции 2 в верхней части протоки, где среди доминантов отмечена высокая доля золотистых, а также криптофитовых водорослей.
4. В Абаканской протоке реки Енисей структурные показатели фитопланктона были низкие, характерные для олиготрофной реки: численность фитопланктона изменялась в пределах 393,94 – 2017,60 тыс.кл./л; биомасса - 332,02 – 1712,74 мкг/л. В межгодовой динамике высокие величины численности отмечены в мае, этот пик обусловлен ростом численности цианобактерий в 2018 году и центрических диатомовых водорослей в 2019 году. Максимальные значения биомассы фитопланктона выявлены в 2018 г. в августе, 2019 г. - и мае.

5. Качество вод большинства станций Абаканской протоки реки Енисей согласно РД 52.24.309-2011 соответствовало 1 классу степени загрязненности вод «Условно чистая», исключение составили в 2018 году станции 3 и 4, где качество вод оценивалось 2 классом степенью «Слабо загрязненные». В 2019 год отмечено улучшение качества вод Абаканской протоки реки Енисей.

Список литературы:

1. Алимов А.Ф. Элементы теории функционирования водных экосистем – Санкт-Петербург: Наука, 2000. - 147 с.
2. Баринаева С.С., Медведева Л.А., Анисимова О.В. Водоросли-индикаторы в оценке качества окружающей среды. Москва, ВНИИприроды, 2000. - 150 с.
3. Белякова Г.А., Дьяков Ю.Т., Тарасов К.Л. Ботаника: в 4т. Т.2. Водоросли и грибы : учебник для студ. высш. учеб. заведений.- М.: издательский центр «Академия», 2006. – 320 с.
4. Беспалова Е.В. Оценка состояния водных экосистем Центрального Черноземья на основе анализа структурных перестроек комплексов микроводорослей и цианобактерий // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем, 2017. № 3. 84— 95 с.
5. Девяткин В.Г., Метелева Н.Ю., Вайновский П.А. О роли фитопланктона в формировании кислородного режима в водоема в связи с климатическими вариациями // Вода: химия и экология, 2012. – 68-74 с.
6. Водоросли. Справочник / Под ред. С. П. Вассера, Н. В. Кондратьевой, Н. П. Масюк, и др.- Киев: Наукова думка, 1989, - 608 с.
7. Водоросли: Эвгленовые, диатомовые, бурые, золотистые, желто-зеленые, криптофитовые и динофитовые : учеб.-метод. пособие / А. Г. Пауков, А. Ю. Тептина, Н. А. Кутлунина, А. С. Шахматов, Е. В. Павловский ; [под общ. ред. А. Г. Паукова] ; М-во образования и науки Рос. Федерации, Урал. федер. ун-т. — Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2018. — 224 с.
8. Горбунова Н.П. Альгология. - Москва: Высшая школа, 1991, 256 с.
9. Горюнова С.В. Химический состав и прижизненные выделения синезеленой водоросли *Oscillatoria splendula*, 1950. - 159 с.
10. Зилов Е.А. Гидробиология и водная экология (организация, функционирование и загрязнение водных экосистем) : учеб. пособие / Е. А. Зилов. – Иркутск : Изд-во Иркут. гос. ун-та, 2009. – 147 с.

11. Кожова О. М., Мельник Н. Г. Инструкция по обработке проб планктона счетным методом. - Иркутский государственный ун-т имени А. А. Жданова - 1978, - 52 с.
12. Комаренко Л.Е., Васильева И.И. Пресноводные диатомовые и синезелёные водоросли водоёмов Якутии. – М.: Наука, 1975, -.423 с.
13. Космаков И.В. Термический и ледовый режим в верхних и нижних бьефах высоконапорных гидроэлектростанций на Енисее. Красноярск, КФ СНИГМИ, 2001, - 3-129 с.
14. Макрушин А.В. Биологический анализ качества вод / Под ред. Г.Г. Винберга. - Л. Наука, 1974. – 60 с.
15. Методика изучения биогеоценозов внутренних водоемов. М. : Наука, 1975. -.242 с.
16. Миловидова Л. С. Водоросли: учебное пособие. - Томск: Изд-во Томск. ун-та. 1982, - 167 с.
17. Ходоровская Н.И., Стурова.М.В. Исследование влияния концентраций кремния и фосфора на развитие диатомовой микрофлоры // Химия и химическая технология, вып. 2 (15), 2002. - 53 с.
18. Назын Ч.Д. Диатомовые водоросли бассейна р. Элегест Республики Тува // Мир науки, культуры и образования. – 2014. – № 5 (48). – 327–329 с.
19. Назын Ч.Д., Науменко Ю.В. Водоросли р. Элегест (Республики Тыва) // Вест. ТувГУ. Вып. 2: Естественные и с.-х. науки. – Кызыл, 2012. – С. 23–26.
20. Науменко Ю.В., Назын Ч.Д. Водоросли реки Элегест и её притоков (Тыва) в зимний период // Сибирский экологический журн. – 2007. – № 6. – 993–1000 с.
21. Ондар С.О., Забелин В.И., Путинцев Н.И, Кирова Н.А., Назын Ч.Д., Ондар Е.Э., Ондар У.В., Очур-оол А.О., Чаш-оол Н.Н., Сагар А.А., Ооржак А.М. Опыт комплексного биологического мониторинга с использованием индикаторных групп организмов // Науч. тр. ТувГУ. Вып. XVI: Материалы ежег. науч.-практ. конф. преподавателей, сотрудников и аспирантов ТувГУ,

посвящ. году Экологии в Российской Федерации и году молодёжных инициатив в Туве (21.10.2017, Кызыл) / Отв. ред. канд. хим. наук У.В. Ондар. – Кызыл: РИО ТувГУ, 2017. – 9–20 с.

22. Охапкин А.Г., Юлова Г.А., Старцева Н.А. Состав и эколого-флористическая характеристика фитопланктона малых водоемов урбанизированных территорий (на примере города Нижнего Новгорода) // Ботан. Журн., Т. 87, № 2, 2002. - 78-88 с.

23. РД 52.24.309-2011. Руководящий документ. Организация и проведение режимных наблюдений за состоянием и загрязнением поверхностных вод суши (утв. Росгидрометом 25.10.2011). Электронный ресурс: www.consultant.ru.

24. Behrenfeld, M. J. Widespread iron limitation of phytoplankton in the south Pacific Ocean / M. J. Behrenfeld, Z. S. Kolber // Science. – 1999. – Vol. 283. – P. 840- 843.

25. Benitez-Nelson, C. R. The biogeochemical cycling of phosphorus in marine systems / C. R. Benitez-Nelson // Earth Sci. Rev. – 2000. – Vol. 51. – P. 109- 135.

26. Bergstrom, A. K., Jonsson, A., Jansson, M. Phytoplankton responses to nitrogen and phosphorus enrichment in unproductive swedish lakes along a gradient of atmospheric nitrogen deposition // Aquatic Biology - 2008. 4 (1). P. 55-64.

27. Clark, L. L. Marine organic phosphorus cycling: Novel insights from nuclear magnetic resonance / L. L. Clark, K. E. Ingall, R. Benner // Am. J. Sci. – 1999. – Vol. 299. – P. 724-737.

28. Davey, M., Tarran, G. A., Mills, M. M., Ridame, C., Geider, R. J., LaRoche, J. Nutrient limitation of picophytoplankton photosynthesis and growth in the tropical north atlantic // Limnology and Oceanography - 2008. 53 (5). P. 1722-1733.

29. Domingues, R. B. Ammonium, nitrate and phytoplankton interactions in a freshwater tidal estuarine zone: potential effects of cultural eutrophication / R. B. Domingues, A. B. Barbosa, U. Sommer, H. M. Galvao // Aquat Sci – 2011. – № 73. – P. 331-343.

30. Dugdale, R. C. The role of ammonium and nitrate in spring bloom development in San Francisco Bay / R.C. Dugdale, F. P. Wilkerson, V. E. Hogue, A. Marchi // *Estuar. Coast. Shelf Sci* – 2007. – № 73. – P. 17-29.
31. Eppley, R. Particulate organic matter flux and planktonic new production in the deep ocean / R. Eppley and B. J. Peterson // *Nature* – 1979. – № 282. – P. 677- 679.
32. Gray N. (2017) *Water Science and Technology: An Introduction*. CRC Press, P. 680.
33. Karl, D. M. Ecological nitrogen-to-phosphorus stoichiometry at station ALOHA / D. M. Karl, K. M. Bjorkman, J. E. Dore, L. Fujieki, D. V. Hebel, T. Houlihan, R. M. Letelier and L. M. Tupas // *Deep-Sea Research II* – 2001. – Vol. 48. – P. 1529-1566.
34. Nelson, D. M. Cycling of organic carbon and biogenic silica in the Southern Ocean: estimates of water-column and sedimentary fluxes on the Ross Sea continental shelf / D. M. Nelson, D. J. DeMaster, R. B. Dunbar, W. O. Jr. Smith // *J Geophys Res*, – 1996. – Vol. 101. – P. 18519-18532.
35. Olenina, I., Hajdu, S., Edler, L., Andersson, A., Wasmund, N., Busch, S., Göbel, J., Gromisz, S., Huseby, S., Huttunen, M., Jaanus, A., Kokkonen, P., Ledaine, I. and Niemkiewicz, E. // *Biovolumes and size-classes of phytoplankton in the Baltic Sea*. HELCOM Balt.Sea Environ, 2006. P. 106-144.
36. Persic, V., Horvatic, J., Has-Schon, E., Bogut. Changes in n and p limitation induced by water level fluctuations in nature park kopacki rit (croatia): nutrient enrichment bioassay // *Aquatic Ecology*, 2009. 43 (1). P. 27-36.
37. Raymond J. Bannister, Ingrid A. Johnsen, Pia K. Hansen, Tina Kutti, and Lars Asplin. Original Article Near- and far-field dispersal modelling of organic waste from Atlantic salmon aquaculture in fjord systems. *ICES Journal of Marine Science* , 2016. – P. 2408–2419.
38. Semeneh, M. Nitrogen uptake regime and phytoplankton community structure in the Southern Ocean / M. Semeneh, F. Dehairs, C. Lancelot, M.E.M. Baumann, E. Kopczynska, M. Elskens, L. Goeyens // *J. Mar. Syst.* – 1998. – Vol. 17. – P. 159-177.

39. Shannon C.E. The mathematical theory of communication / C.E.Shannon,
W.Weaver. - Urbana, 1963. – P. 117.

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Институт фундаментальной биологии и биотехнологии
Кафедра водных и наземных экосистем

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой



М.И. Гладышев

подпись инициалы, фамилия

«01» июля 2020 г.

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

06.03.01 Биология

код и наименование специальности

Фитопланктон Абаканской протоки реки Енисей

тема работы

Научный

руководитель:



подпись, дата

профессор, д.б.н.

должность, ученая степень

Иванова Е.А

инициалы, фамилия

Выпускник
Чичканова Л.А

подпись, дата



инициалы, фамилия

Красноярск, 2020