

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Институт экологии и географии
Кафедра географии

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
Г. Ю. Ямских
подпись инициалы, фамилия
« _____ » _____ 2020 г.

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

05.04.06 Экология и природопользование

05.04.06.03 Геоэкология

Гидроэкологическая характеристика Красноярского водохранилища

Научный
руководитель _____
подпись, дата доц., канд. биол. наук
должность, ученая степень О. А. Кузнецова
инициалы, фамилия

Выпускник _____
подпись, дата Д. М. Шлемберг
инициалы, фамилия

Нормоконтролер _____
подпись, дата В. О. Брунгардт
инициалы, фамилия

Рецензент _____
подпись, дата доц., канд. биол. наук
должность, ученая степень С. М. Трухницкая
инициалы, фамилия

Красноярск 2020

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа по теме: «Гидроэкологическая характеристика Красноярского водохранилища» содержит 96 страниц текстового документа, 51 использованный источник, 14 таблиц, 33 рисунка и 12 приложений.

КРАСНОЯРСКОЕ ВОДОХРАНИЛИЩЕ, МОНИТОРИНГ, МНОГОЛЕТНЯЯ ДИНАМИКА, ВОДНАЯ ЭКОСИСТЕМА, ЗАГРЯЗНЯЮЩИЕ ВЕЩЕСТВА, БИОТА, ДОННЫЕ ОТЛОЖЕНИЯ, КАЧЕСТВО ВОДЫ.

Объект исследования – глубоководное Красноярское водохранилище.

Предмет исследования – многолетние изменения основных параметров Красноярского водохранилища.

Цель работы – изучить экологическое состояние глубоководного Красноярского водохранилища.

Красноярское водохранилище – крупный народно-хозяйственный объект, создание которого привело к изменениям природных экосистем в пределах зоны затопления и на прилегающих территориях. При существующем режиме эксплуатации водных ресурсов водоема **важнейшим** является рассмотрение вопросов его оптимального использования для сохранения высокого качества воды как источника питьевого водоснабжения и в целях интересов рыбного хозяйства.

Оценка качества вод и донных отложений Красноярского водохранилища и сравнительный анализ данных по годам осуществлены на основании материалов полученных в результате экспедиционных исследований, при участии автора, проводимых Енисейским БВУ и ФГУ «Енисейрегионводхоз» в рамках Программы мониторинга водных объектов. Основные результаты исследования отражены в табличном и графическом виде.

Основными загрязняющими веществами воды Красноярского водохранилища по которым выявлено превышение ПДКрыбхоз, являются тяжелые металлы: железо, медь. В настоящее время они рассматриваются в качестве основных компонентов устойчивого загрязнения водохранилища. Качество воды по УКИЗВ оценивается в пределах от 1 класса – вода «условно чистая» до 3 класса, разряд «б» – вода «очень загрязненная».

Загрязнение донных отложений не является критичным. Наблюдается общая тенденция к увеличению концентрации загрязняющих веществ в донных

отложениях к Предплотинному участку. Основными загрязняющими веществами донных отложений являются металлы: свинец, цинк, никель, концентрация в донных отложениях, которых обусловлена, как их повышенным региональным фоном, так и антропогенным влиянием сточных вод очистных сооружений п. Краснотуренск и п. Новоселово.

Планктонные сообщества и бентофауна играют важную индикаторную роль в диагностике состояния водной экосистемы. Данные биологического анализа качества вод по показателям планктонных и бентосных сообществ характеризуют водохранилище преимущественно как α -, β -мезосапробное. Качество воды Красноярского водохранилища по комплексу структурно-функциональных показателей планктона и бентоса оценивается в пределах III - V класса (вода «умеренно загрязненная» – «грязная»), и в целом согласуется с данными гидрохимического анализа качества вод. Трофический статус водохранилища по показателям планктонных и бентосных сообществ соответствует мезотрофному типу с чертами эвтрофии.

На основании реакций сообществ на негативное воздействие проявляющееся преимущественно в упрощении видовой структуры, пространственно-временной гетерогенности можно дать характеристику состояния (здоровья) водной экосистемы. По структуре бентофауны экосистема в средней части и низовье водохранилища (особенно в его профундальной зоне) соответствует состоянию антропогенного экологического регресса.

REPORT

Masters work on the topic: "Hydroecological characteristics of the Krasnoyarsk reservoir" consist of 96 pages, of the text document, 51 sources, 14 tables, 33 pictures and 12 applications.

KRASNOYARSK RESERVOIR, MONITORING, LONG-TERM DYNAMICS, WATER ECOSYSTEM, POLLUTANTS, BIOTA, BOTTOM SEDIMENTS, WATER QUALITY.

The object of the research is the deep-water Krasnoyarsk reservoir.

The subject of the research is the long-term changes in the main parameters of the Krasnoyarsk reservoir.

The purpose of this work is to study the ecological state of the deep-water Krasnoyarsk reservoir.

The Krasnoyarsk reservoir is a large national economic object, the creation of which has led to the changes in the natural ecosystems within the flood zone and in adjacent territories. Under the current exploitation regime of the reservoir water resources, it is important to consider the issues of its optimal use to maintain high water quality as a source of drinking water supply and for the interests of fisheries.

The quality assessment of water and bottom deposits of the Krasnoyarsk reservoir and the data comparative analysis have been carried out on the basis of the materials obtained as a result of the expeditionary researches with the author's participation of conducted by the Yenisei basin water management and Federal government agency "Eniseiregionvodhoz" in the framework of the water bodies monitoring programs. The main results of the study are presented in tabular and graphical form.

The main water pollutants of the Krasnoyarsk reservoir according to the MCL are heavy metals: iron, copper. They are currently considered to be the main components of the sustainable reservoir pollution. The quality of water under the SCIWP (specific combinatorial index of water pollution) is estimated in the range from class 1 – water "almost clean" to class 3, category "b" – "very polluted" water.

The bottom sediment contamination is not critical. There is a General tendency to increase the concentration of pollutants in the bottom sediments to the pre-dike site. The main pollutants of the bottom sediments are metals: lead, zinc, nickel, the concentration in the bottom sediments, which is due to both their increased regional background and anthropogenic influence of the wastewater treatment facilities in

Krasnoturansk and Novoselovo.

The plankton communities and benthic fauna play an important indicator role in diagnosing the state of the aquatic ecosystem. The data from the biological analysis of water the quality in terms of planktonic and benthic communities characterize the reservoir mainly as α -, β -mesosaprobe. According to the complex of structural and functional indicators of plankton and benthos, the water quality of the Krasnoyarsk reservoir has been estimated within classes III - V (water “moderately polluted” – “dirty”) and generally corresponds with the data of the water quality hydrochemical analysis. The trophic status of the reservoir in terms of planktonic and benthic communities corresponds to the mesotrophic type with eutrophic features.

On the base of the communities reactions to the negative impact, which is mainly manifested in the simplification of the species structure, spatial and temporal heterogeneity, it is possible to characterize the state (health) of the aquatic ecosystem. According to the structure of the benthic fauna, the ecosystem in the middle and layer of the reservoir (especially in its profundal zone) corresponds to the state of the anthropogenic ecological regression.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	4
1 Характеристика крупнейших водохранилищ Сибири и последствий их создания и эксплуатации	7
2 Методика и материалы исследования в рамках программы мониторинга Красноярского водохранилища	15
2.1. Программа мониторинга	15
2.2. Основные методические приемы и материалы исследований	18
3 Характеристика Красноярского водохранилища.....	23
3.1 Географическое положение и основные параметры водоема.....	23
[Изъято] 3.2 Особенности гидрологического режима	27
[Изъято] 3.3 Гидротермический режим исследуемого водного объекта.....	27
[Изъято] 3.4 Гидрохимический режим водоема	27
[Изъято] 3.5 Химическое состояние донных отложений.....	27
[Изъято] 3.6 Гидробиологический режим Красноярского водохранилища.....	27
[Изъято] 4 Гидроэкологическая характеристика состояния водной экосистемы.....	66
Заключение	28
Список использованных источников.....	30
Приложение А Карта Новосибирского водохранилища.....	35
Приложение Б Общая карта-схема Красноярского водохранилища.....	36
Приложение В Схема расположения точек отбора по водным горизонтам на вертикалях поперечного створа на примере Новоселовского плеса Красноярского водохранилища (по Программе мониторинга).....	37
[Изъято] Приложение Г Динамика водности Красноярского водохранилища (1977-2005 гг.).....	Ошибка! Закладка не определена.
Приложение Д Предельно допустимые концентрации (ПДК _{рыбоз}) основных загрязнителей воды Красноярского водохранилища (мг/л)	39

Приложение Е Классификация загрязненности воды водных объектов по УКИЗВ.....	40
[Изъято] Приложение Ж Карта распределения загрязняющие вещества донных отложений по участкам наблюдений Красноярского водохранилища в 2013-2019 г.....	Ошибка! Закладка не определена.
[Изъято] Приложение З Схема оценки качества вод Красноярского водохранилища по биотическому индексу Вудивисса	Ошибка! Закладка не определена.
Приложение И Классификация качества воды водоёмов и водотоков по гидробиологическим показателям зообентоса.....	42
[Изъято] Приложение К Сравнительная характеристика гидрохимических показателей воды Красноярского водохранилища (1971-2019 гг.).....	Ошибка! Закладка не определена.
[Изъято] Приложение Л Гидрохимическая оценка качества вод Красноярского водохранилища (1971-2005 гг., 2013-2019 гг.).....	Ошибка! Закладка не определена.
[Изъято] Приложение М Сравнительная характеристика гидробиологических показателей воды Красноярского водохранилища (1971-2019 гг.).....	Ошибка! Закладка не определена.

ВВЕДЕНИЕ

Гидроэнергетика является важнейшим источником энергообеспечения, определяя деятельность и развитие основных отраслей народного хозяйства страны. Производство электроэнергии за счет использования одного из самых дешевых, экологически чистых и возобновляемых гидроэнергетических ресурсов относится к важным природоохранным и ресурсосберегающим технологиям. Введенная в эксплуатацию гидроэлектростанция, дает импульс хозяйственному развитию территории, становится постоянно действующим фактором для региональной экономики. При строительстве ГЭС одновременно создаются водохранилища гидроэлектростанций, которые аккумулируют огромные запасы пресной воды.

Водохранилища ГЭС – своеобразные искусственные водные объекты, комплексное использование которых дает возможность успешно решать широкий спектр социально-экономических и водохозяйственных задач. Основным назначением их является выравнивание и регулирование стока речных вод для обеспечения целесообразной работы гидроэлектростанций. Водохранилища широко используются для водоснабжения населенных пунктов и предприятий, предотвращения наводнений, осуществления орошения и обводнения земель, улучшения судоходства, рыбного хозяйства, рекреации и др.

В то же время водохранилища ГЭС представляют собой новые природно-техногенные компоненты ландшафта. Создание и эксплуатация их вносит в природу и хозяйство территорий, непосредственно примыкающих кенным водоемам, ряд нежелательных изменений, нередко перерастающих в экологические проблемы. Масштабы и направленность этих изменений зависят от параметров водных объектов и своеобразия природных условий района. В настоящее время необходимо всестороннее изучение преобразований природы в районах уже действующих водохранилищ, нужен комплексный подход к оценке природных особенностей затапливаемых территорий.

Водохранилища ГЭС в соответствии с Водным Кодексом РФ являются федеральной собственностью, государственным стратегическим запасом пресной воды страны. В связи с этим исследование экологического состояния данных водных объектов становится одной из приоритетных задач. Исследования водохранилищ в рамках мониторинга, направлено на получение необходимой объективной информации о нежелательных изменениях, происходящих в водохранилищах с

целью своевременного определения и прогнозирования процессов загрязнения и ухудшения качества воды, а в дальнейшем разработки и реализации мер по предотвращению поступления загрязнителей в водоемы для предотвращения полного истощения их вод.

Цель работы – изучить экологическое состояние глубоководного Красноярского водохранилища.

Задачи исследования:

- дать характеристику водохранилищ Сибири и последствий их создания и эксплуатации;
- рассмотреть особенности гидрологического и гидрохимического режимов глубоководного Красноярского водохранилища;
- проанализировать результаты исследований гидрохимического состояния поверхностных вод и донных отложений, особенностей элементов биоты водоема;
- дать оценку экологического состояния экосистемы Красноярского водохранилища.

Объект исследования: глубоководное Красноярское водохранилище.

Предмет исследования: многолетняя динамика гидрологического, гидротермического, гидрохимического и гидробиологического режимов Красноярского водохранилища.

Методы исследования: теоретический, статистический, аналитический.

Актуальность исследования: Красноярское водохранилище – крупный народно-хозяйственный объект, создание которого привело к изменениям природных экосистем в пределах зоны затопления и на прилегающих территориях. При существующем режиме эксплуатации водных ресурсов водоема важнейшим является рассмотрение вопросов его наиболее оптимального использования для сохранения высокого качества воды как необходимого источника питьевого водоснабжения, а также в целях рыбохозяйственных интересов. Опыт многолетних наблюдений за изменениями, происходящими в результате хозяйственной деятельности в водохранилище, влекущими за собой различные негативные последствия, показал, что долгосрочный прогнозирование и контроль за данными изменениями возможны лишь при условии комплексного изучения основных параметров водоема, структуры и функциональных характеристик абиотической и биотической составляющих экосистемы исследуемого водного объекта.

Научная новизна и теоретическая значимость данной исследовательской работы заключается в получении и обработке автором материалов, которые позволяют дать объективную оценку антропогенного влияния на важный водный объект Красноярского края, в том числе на его экологическое состояние. Результаты и выводы исследовательской работы расширяют знания о современном состоянии экосистемы Красноярского водохранилища.

Практическая значимость. Результаты исследований могут быть использованы для оценки и прогнозирования изменений качества водной среды и донных отложений, состояния биоты водохранилищ умеренной климатической зоны в условиях возрастающего антропогенного влияния и нарушения экологического равновесия в водоемах, а также в качестве рекомендаций водопользователям при проведении комплекса мероприятий, направленных на снижение нагрузки антропогенного характера на водные объекты края.

Апробация работы. По теме диссертации опубликовано 4 работы, материалы которых представлены на XIX Международной научной школе-конференции студентов и молодых ученых «Экология Южной Сибири и сопредельных территорий» (г. Абакан, 2018 г.), XI Международной научно-практической конференции молодых учёных «Устойчивое развитие: региональные аспекты» (г. Брест, 2019 г.), Международной научно-практической конференции, посвященной 100-летию конструктора М.Т. Калашникова и 100-летию профессора С. И. Широбокова «Проблемы региональной экологии и географии» (г. Ижевск, 2019 г.), Международной научно-практической конференции молодых ученых «Инновационные тенденции развития Российской науки» (г. Красноярск, 2019 г.).

Исходные материалы и личный вклад автора. Работа выполнена на кафедре географии ИЭиГ СФУ. Проведены сбор, математическая и графическая обработка и анализ материалов по гидрологическому, гидротермическому, гидрохимическому и гидробиологическому режимам Красноярского водохранилища за периоды 1978-2005 гг. и 2013-2019 гг. Автор принимал непосредственное участие в отборе проб воды и донных отложений в ходе экспедиционных съемок на водохранилище в рамках Программы мониторинга Енисейского БВУ и ФГУ «Енисейрегионводхоз» (система Росводресурсов) в 2019 г., самостоятельно осуществил обработку и анализ большого объема первичных материалов, формирование базы данных по гидрохимическим показателям водного объекта с использованием современных методов и приемов.

1 Характеристика крупнейших водохранилищ Сибири и последствий их создания и эксплуатации

Современный этап развития российской гидроэнергетики характеризуется масштабным строительством крупных ГЭС с водохранилищами комплексного назначения, необходимыми для повышения эффективности использования гидроэнергетических ресурсов страны с целью удовлетворения потребностей в электроэнергии и водоснабжении населенных пунктов, промышленности и сельского хозяйства и др.

Создание водохранилищ в Сибири в рамках реализации масштабного проекта использования значительного гидроэнергетического потенциала рек нашей страны началось еще в 1930-х гг., когда на реке Березовка (Алтайский край) было образовано водохранилище Зыряновской ГЭС. Наибольшее развитие проектирование и сооружение сибирских водохранилищ приобрело во второй половине XX в., когда были основаны крупные искусственные водные объекты на таких реках как Енисей, Ангара, Иртыш и Обь (таблица 1) [34].

Водохранилища Сибири относятся преимущественно к водоемам долинного типа. Глубокие, узкие, менее плотно населенные и менее освоенные по сравнению с Европейской частью нашей страны долины сибирских рек создают необходимые предпосылки для строительства высоких плотин и образования достаточно емких водохранилищ, позволяющих осуществлять сезонное и многолетнее регулирование стока рек с целью обеспечения эффективного энергоснабжения потребителей. Предгорный и горный характер рельефа большей части территории Сибири определяет создание водохранилищ со сравнительно низкими показателями затопления земель на единицу мощности и напора ГЭС. Например, Красноярское, Усть-Илимское, Братское, Хантайское водохранилища имеют напор у плотины в 2,5-5,9 раз больший, чем таковой у почти равных им по площади водохранилищ Европейской части нашей страны (таких как, Нижнекамского, Саратовского, Каховского, Кременчугского). В связи с большой величиной подпора длина сибирских водохранилищ, обычно значительна: до 565 км – у Братского, до 350-470 км – у Красноярского, Богучанского, до 200 км – у Хантайского и Новосибирского водохранилищ [1, 3, 19].

Таблица 1 – Основные характеристики существующих и наиболее перспективных крупных сибирских водохранилищ [29, 34]

№	Название водохранилища	Водный объект	Год создания	Площадь затопленной территории, км ²	Полный объем водохранилища, км ³	Площадь водного зеркала водохранилища, км ²	Протяженность водохранилища, км	Мощность ГЭС	Сложившийся ВХК
1	Новосибирское	р. Обь	1959	951	8,8	1070	200	485	Э,И,В, Т,Р,О
2	Красноярское	р. Енисей	1970	1757	73,3	2000	380	6000	Э,Т,И, В,О
3	Саяно-Шушенское	р. Енисей	1990	525	31,3	670	315	6400	Э,Т,И
4	Майнское	р. Енисей	1987	–	0,1	14	23	321	Э,П
5	Курейское	р. Курейка	1990	540	9,9	560	50	600	Э,Р,Л
6	Хантайское	р. Хантайка	1970	1820	23,5	2120	160	461	Э,Р,Л
7	*Эвенкийское	р. Нижняя Тунгуска	-	680	409,4	9400	1200	-	Э,Т,Р
8	*Катунское	р. Катунь	-	83,2	5,83	87	73	-	Э,О
9	*Алтайское	р. Катунь	-	7,5	0,21	12,1	25	-	Э,О
10	* Чемальское	р. Катунь	-	7,9	0,18	11,9	20	-	Э,П
11	*Крапивинское	р. Томь	-	658	11,7	670	133	-	Э,П
12	*Каменское	р. Обь	-	900	5,5	1000	190	-	И,П,Э, В,Р
13	Иркутское	р. Ангара, оз. Байкал	1959	1386	63/ 31,5	154/ 32 966	65	662	Т,Р,В,Э, О
14	Усть-Илимское	р. Ангара	1966	-	58,9	1922	2000	3840	Т,Р,В,Э, Л
15	Братское	р. Ангара	1979	-	169	5470	1020	4500	Т,Р,В,Э, Л
16	Богучанское	р. Ангара	2015	2,3	58,2	2,3	2430	2997	В,Т,Р,Э

* Предполагаемые к созданию водохранилища (по детальности проектных разработок); обозначения водохозяйственного комплекса (ВХК): Э – энергетика; Т – водный транспорт; И – ирригация; В – водоснабжение; Р – рыбное хозяйство; П – перераспределение стока; Л – лесосплав; О – рекреация.

Максимальная ширина некоторых сибирских водохранилищ превышает 30 км. Средняя по водоему ширина Саяно-Шушенского, Усть-Илимского, Красноярского водохранилищ составляет около 2,2-3,5 км, остальных – достигает 9-11 км. Ширина Иркутского водохранилища, достигающая 60 км, связана с включением в его акваторию крупного оз. Байкал [19, 21, 34].

Эксплуатация созданных водохранилищ и перспективы их дальнейшего строительства в Сибири связаны с рядом экономических, экологических, социальных, а в отдельных случаях и геополитических факторов. Регулирование и использование водных ресурсов большинства крупных сибирских водохранилищ направлено преимущественно на энергетические цели. Однако, опыт эксплуатации

водных объектов показал, что требования к характеру использования их водных запасов не одинаковы со стороны водопользователей [29, 34].

Крупнейшим искусственным водоемом Западной Сибири, является равнинное Новосибирское водохранилище (таблица 2, приложение А). Построенное с целью выработки электроэнергии, оно играет важную роль и в других направлениях экономики региона.

Таблица 2 – Основные характеристики Новосибирского водохранилища [29]

Площадь затопления, км ²	Напор, м	Площадь водного зеркала (при НПУ), км ³	Объем (общий), км ³	Наибольшая глубина, м	Средняя глубина, м	Среднегодовой расход реки в створе гидроузла (фактически), м ³ /с
951	19,7	1070	8,86	25	7	1590

Водохранилище стало главным аккумулятором запасов водных ресурсов р. Обь, обеспечивающим их многоцелевое и интенсивное использование. Полезный объем водохранилища в пределах глубины сработки (до 4-5 м) позволяет осуществлять сезонное регулирование. Новосибирская ГЭС с водохранилищем имеют комплексное значение, режимы ее работы определяются в зависимости от объема стока р. Обь с учетом требований всех основных водопользователей: городского, сельского, рыбного хозяйства, водного транспорта и энергетики. Данный водоем является единственным крупным равнинным водохранилищем Сибири, функционирование которого в значительной степени улучшило использование водных ресурсов р. Оби для водоснабжения, ирrigации и рекреации [3]. В водоеме аккумулируется в среднем 14 % притока, но даже такая незначительная зарегулированность стока в результате создания водохранилища существенно улучшила санитарные условия реки у г. Новосибирск, положительно сказалась на работе водозаборов города в меженные периоды. Навигационные расходы реки в период летне-осенней межени увеличились с 751 до 1300 м³/с. Важная роль в использовании водных ресурсов водоема принадлежит и системе оросительно-обводнительных мероприятий [2, 29].

С целью развития промышленности и оптимального освоения значительного водного потенциала Сибири в советский период началось возведение Ангаро-Енисейского каскада ГЭС (рисунок 1, 2). В настоящее время это крупнейший комплекс в России, включающий Енисейский и Ангарский каскады ГЭС с водохранилищами [9, 30]. При создании каскада ангарских водохранилищ, в первую

очередь преследовались энергетические цели, однако уже его первенцем, Иркутской ГЭС с водохранилищем, осуществлена уникальная зарегулированность стока Ангары, что в значительной мере обусловило экономические выгоды от равномерного распределения стока реки внутри года. Иркутское водохранилище (Иркутское море) образовано в 1956-1959 гг. плотиной Иркутской ГЭС в верхней части долины р. Ангара и включает в себя подпруженное озеро Байкал (рисунок 1).

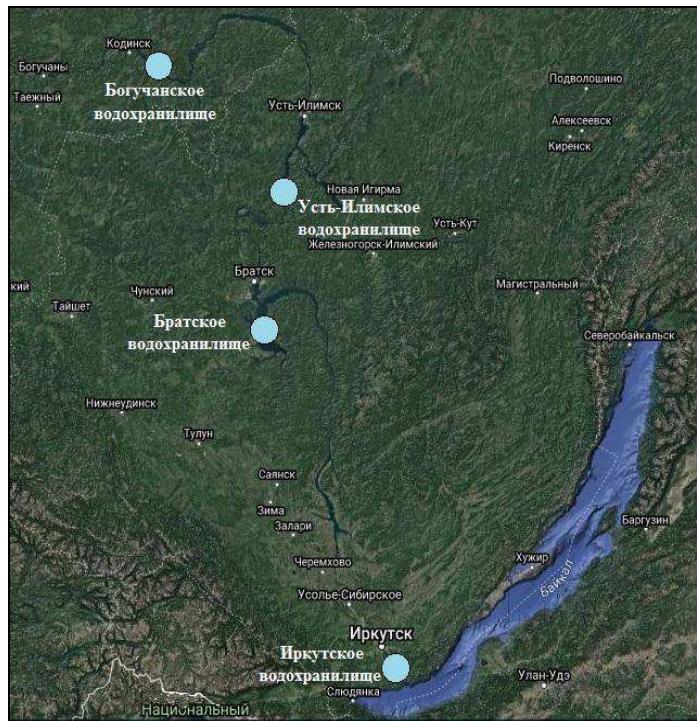


Рисунок 1 – Каскад водохранилищ на р. Ангара
(составлено автором по материалам [47])

Данный водный объект осуществляет многолетнее и сезонное регулирование стока, коэффициент водообмена (отношение полезного объема к стоку в створе плотины) равен 0,33. Водоем используется комплексно: в целях гидроэнергетики, для водоснабжения, рыбного хозяйства и рекреации. Создание водохранилища обеспечило хорошие условия для движения судов озера типа и быстроходных «ракет» от Иркутска до оз. Байкал [21, 30].

Братское водохранилище (одно из крупнейших речных водохранилищ мира), созданное в 1961-1967 гг. на р. Ангаре (Иркутская область), является глубоководным водоемом долинного типа (рисунок 1, таблица 3).

Водохранилище предназначено для многолетнего регулирования стока, коэффициент регулирования стока составляет 0,55. Оно используется комплексно:

в целях гидроэнергетики, водного транспорта, для хозяйствственно-питьевого и промышленного водоснабжения, лесосплава, рыбного хозяйства и рекреации [34].

Таблица 3 – Основные характеристики водохранилищ Ангарского каскада [30]

Название водохранилища	Напор, м	Площадь водного зеркала (при НПУ), км ²	Объем (общий) водоема, км ³	Наибольшая глубина водоема, м	Средняя глубина водоема, м	Среднегодовой расход реки в створе гидроузла (фактически), м ³ /с
Иркутское	31	154 (32966)	63	35	13,6	1985
Братское	104	5470	169,3	150	31	1042
Усть-Илимское	90,7	1922	58,9	97	32	225
Богучанское	65,5	2326	58,20	87	25	2830

Усть-Илимское водохранилище, созданное в 1974-1977 гг. на р. Ангаре (Иркутская область), относится к водоемам долинного типа, сложное по конфигурации, обусловленной затопленными участками долин нижних течений притоков, впадающих на этом участке. Водохранилище осуществляет сезонное регулирование стока, для него характерна небольшая годовая амплитуда колебаний уровня в пределах 1,5-2,0 м. Усть-Илимское водохранилище используется комплексно: для гидроэнергетики, судоходства, лесосплава, рыбного хозяйства, водоснабжения. Рекреационное использование водоема невелико [3, 21].

Богучанское водохранилище, образовано в 2012-2015 гг. на р. Ангара (Красноярском край и Иркутская область). Водохранилище осуществляет сезонное регулирование стока, величина колебаний уровня воды не более 1 м. Относится к водоемам руслового долинного типа. Используется в целях гидроэнергетики, водного транспорта, лесосплава. Рекреационное значение водоема невелико [3].

Глубоководное Красноярское водохранилище, созданное в 1967-1970 гг. плотиной Красноярской ГЭС на р. Енисей (Красноярский край), представляет собой предгорный водоем долинного типа, со сложной конфигурацией (рисунок 2). Является третьей ступенью Енисейского каскада (таблица 4).

Таблица 4 – Основные характеристики водохранилищ Енисейского каскада [3]

Название водохранилища	Напор, м	Площадь водного зеркала (при НПУ), км ²	Объем (общий), км ³	Наибольшая глубина, м	Средняя глубина, м	Среднегодовой расход реки в створе гидроузла (фактически), м ³ /с
Саяно-Шушенское	220	621	31,34	220	30	1538
Майнское	13	11,5	0,116	22	11	502
Красноярское	93	2000	63	105	5	1357

Для него характерно осуществление сезонного регулирования стока. Водные ресурсы водохранилища используются преимущественно для целей энергетики, чуть более 2 % полезной емкости ежегодно забирается на водоснабжение для промышленно-коммунальных нужд, на орошение сельскохозяйственных угодий, и для рыбохозяйственных целей.

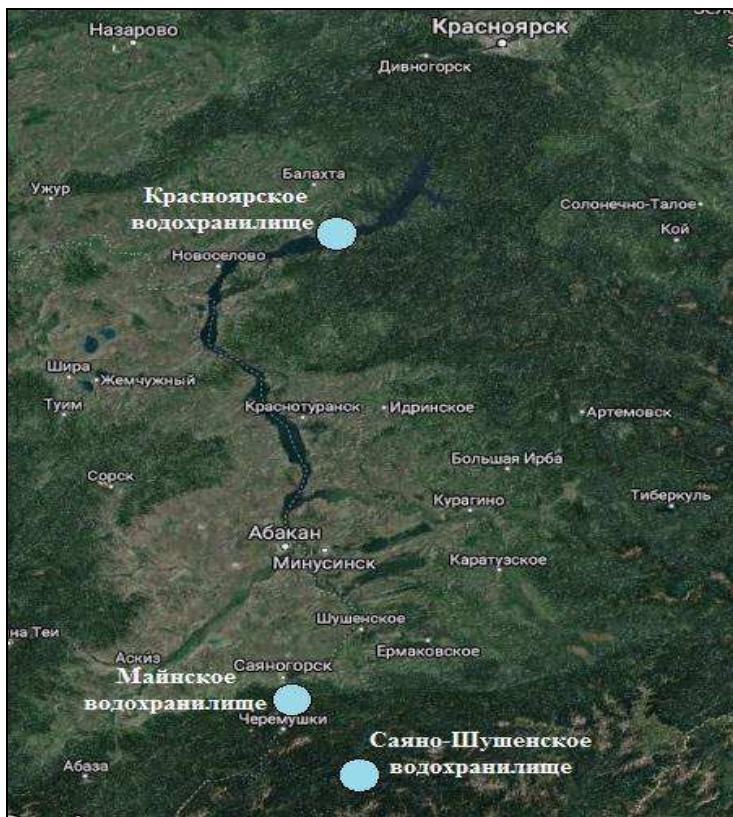


Рисунок 2 – Каскад водохранилищ на р. Енисей
(составлено автором по материалам [47])

Данный водный объект используется также для рекреации и судоходства. Плотину Красноярской ГЭС с помощью судоподъемника (универсального гидротехнического сооружения, не имеющего аналогов в России) преодолевают грузовые и пассажирские суда.

Саяно-Шушенское водохранилище, образованное в 1980-1987 гг. на р. Енисей (Красноярский край, Республика Хакасия), представляет собой горный водоем, долинного типа, со сложной конфигурацией. Осуществляет сезонное регулирование стока. Водохранилище создавалось для решения энергетических проблем Приенисейской Сибири, в настоящее время используется комплексно, не только в целях гидроэнергетики, но и для хозяйственного и питьевого водоснабжения,

предотвращения наводнений, с целью рекреации. Воднотранспортное значение водоема невелико. Возможна организация локального регулирования уровненного режима на мелководных участках с помощью оградительных плотин, что позволит осуществлять рыбоводство, восстановить плодородие земель и развить сельскохозяйственное производство [3, 18].

Майнское водохранилище создано в 1979-1987 гг. на р. Енисей (Красноярский край, Республика Хакасия), относится к водоемам руслового долинного типа. Майнская и Саяно-Шушенская ГЭС представляют собой единый гидроэнергетический комплекс. Наряду с выработкой электроэнергии, Майнский гидроузел является контроллером Саяно-Шушенской ГЭС. Полезный объем водохранилища Майнской ГЭС позволяет осуществлять суточное и частично недельное регулирование мощности для выравнивания неравномерности сбросов Саяно-Шушенской ГЭС, режимом которой и определяется гидрологический режим данного водоема. Водохранилище используются также для хозяйственного и питьевого водоснабжения, для ведения товарного рыбоводства (промышленный вылов, а также организованное и спортивное рыболовство на водоеме отсутствуют) [18, 21].

Создание и эксплуатация водохранилищ в Сибири оказывают значительное и многообразное влияние на водный режим рек и природную среду прилегающих территорий. Оно может проявляться прямо или косвенно, быть положительным или отрицательным, постоянным или времененным. Направленность и масштаб изменений природной среды в первую очередь обусловлены морфометрическими характеристиками водохранилищ и особенностями природных условий региона, которые могут ослаблять или усиливать влияние созданных водоемов [3, 7, 34].

Водохранилища рассматриваются как средство преобразования природы в интересах человека и его хозяйственной деятельности [48]. К основным позитивным изменениям, связанным с созданием водохранилищ относятся: уменьшение или полная ликвидация негативных природных явлений (наводнений, маловодья и др.); улучшение условий для водоснабжения; аккумулирование гидроэнергоресурсов; перераспределение стока между сезонами и годами различной водности; создание водных акваторий, улучшение условий для судоходства; преобразование гидрологического режима для регулярного орошения земель, улучшение использования пойменных угодий ниже плотины ГЭС; вовлечение в хозяйственное использование непродуктивных земель в результате аккумуляции на них водных

ресурсов, создание продуктивной водной среды (рыболовство, рыбоводство); улучшение природных условий прилегающих территорий (смягчение климата, водное благоустройство) [1, 3, 23]. Комплексное использование водохранилищ позволяет эффективно решать многие перечисленные проблемы.

Создание и эксплуатация водохранилищ может вызывать и целый ряд нежелательных и нередко неизбежных нарушений природной среды [7, 29, 48, 51]. Особенно ощутимыми и заметными отрицательными последствиями являются такие как затопление продуктивных пойменных земель, оstepнение пойменных угодий нижнего бьефа; переформирование берегов, размыты русла и берегов нижнего бьефа; повышение уровня грунтовых вод, заболачивание и подтопление земель; изменение почвенного и растительного покрова в результате подтопления; изменение микроклимата (изменение температурного режима, повышение влажности, усиление ветров); перестройка фауны водоемов, изменение условий размножения и обитания гидробионтов, в первую очередь ихтиофауны; замедление водообмена и накопление в донных отложениях загрязнителей; избыточное развитие синезеленых водорослей, снижение самоочищающей способности водоема; влияние высоконапорных водохранилищ на современные тектонические процессы [10].

2 Методика и материалы исследования в рамках программы мониторинга Красноярского водохранилища

2.1. Программа мониторинга

Всевозрастающие антропогенные нагрузки на окружающую природную среду влекут за собой ее изменения, что обуславливает необходимость проведения исследований в рамках мониторинга. Мониторинг в широком смысле рассматривается как система наблюдений, оценки и прогноза антропогенных изменений в окружающей природной среде [37]. Один из основных принципов мониторинга «преемственность» – использование сложившихся систем наблюдения за состоянием природной среды и всех знаний по анализируемому определенному природному водному объекту (в данном случае – Красноярскому водохранилищу).

В 1975 г. для уникального глубоководного Красноярского водохранилища была разработана программа организуемого экологического мониторинга (ЭМ). Целью ЭМ являлось получение достоверной информации по оценке состояния экосистемы в пространственно-временном аспекте и прогноз ее изменений в условиях антропогенного влияния. В число основных задач входили: организация и проведение синхронных наблюдений за пространственно-временной динамикой биотических и абиотических составляющих экосистемы; оценка пространственно-временных изменений качества вод и трофического статуса экосистемы водоема; разработка региональной схемы оценки и прогноза изменений состояния экосистемы водохранилища под воздействием природных и антропогенных факторов; разработка схемы экологического контроля водохранилища. Фундаментальным принципом экологического мониторинга данного водного объекта была определена его комплексность [16, 17].

Красноярское водохранилище представляет собой природно-техногенный объект, в функционировании которого антропогенный фактор по сравнению с природными факторами является определяющим. С 1977-1978 гг. на водохранилище были начаты целевые мониторинговые исследования, позволившие уточнить его классификационные параметры (по объекту исследований – региональный мониторинг, осуществляемый на одном водном объекте). По системному принципу это был полнопрограммный экологический мониторинг водохранилища, включающий исследование биотических и абиотических элементов водной

экосистемы. Режимные наблюдения в рамках государственного экологического мониторинга водохранилища по регистрации гидрологических и гидрохимических параметров проводились Дивногорской гидрометеорологической обсерваторией, и в целом по экологическому мониторингу с приоритетом гидробиологических показателей – КГУ (в настоящее время – СФУ). В результате долгосрочных регулярных наблюдений в период 1978-2005 гг. была разработана схема универсальной гидробиологической базы данных «Биота» (БД), построена оптимальная информационная модель экосистемы Красноярского водохранилища с целью оценки и прогноза состояния водного объекта. Пункты контроля по программе экологического мониторинга на Красноярском водохранилище представлены в приложении Б.

Значимость работ, проводимых по экологическому мониторингу Красноярского водохранилища, подтверждена фактом включения водохранилища (Постановлением Правительства Российской Федерации от 29.10.2002 г.) в перечень объектов, подлежащих федеральному государственному экологическому контролю. В соответствии с распоряжением Правительства Российской Федерации от 31.12.2008 г. № 2054-р Красноярское водохранилище в комплексе с Майнским и Саяно-Шушенским водохранилищами, созданными на р. Енисей (территория Енисейского бассейнового округа), включены в перечень водохранилищ, реализация мероприятий по охране которых относится к полномочиям органов государственной власти РФ [13].

С 2008 г. и по настоящее время Енисейское бассейновое водное управление и Федеральное государственное бюджетное учреждение «Енисейрегионводхоз», отвечающие за ведение государственного мониторинга водных объектов по качественным и количественным показателям состояния водных ресурсов, осуществляют организацию комплексных наблюдений за состоянием крупнейших водохранилищ Енисейского каскада ГЭС, в том числе Красноярского водохранилища. Ведение государственного мониторинга водных объектов по количественным и качественным показателям состояния водных ресурсов осуществляется для своевременного выявления и прогнозирования негативных процессов, влияющих на качество воды в водных объектах и их состояние, для разработки и реализации мер по предотвращению отрицательных последствий этих процессов, для оценки эффективности осуществляемых мероприятий по охране водных объектов и информационного обеспечения управления в области

использования и охраны водных объектов, в том числе в целях государственного надзора [17].

В программе мониторинга поверхностных водных объектов, состояния дна, берегов водных объектов, ведения наблюдений за водохозяйственными системами, в том числе за гидротехническими сооружениями, находящимися в федеральной собственности» заложена конечная задача – оперативное получение информации, оценка и прогнозирование изменений состояния водных объектов, количественных и качественных показателей состояния водных ресурсов с целью использования этих результатов планирующими, хозяйственными и контролирующими органами [16, 17].

Разработанная Программа мониторинга представляет собой в экологическом, экономическом и информационном аспектах оптимальный вариант организации наблюдений за состоянием крупного водохранилища Енисейского каскада ГЭС – Красноярского водохранилища. Полная программа мониторинга включает в себя круглогодичные и стационарные наблюдения, максимально разветвленную сеть станций, наблюдения по наибольшему числу показателей гидрохимического режима, анализ источников загрязнения экосистемы; в сокращенной форме – минимальное число реперных станций наблюдений, выбранных по результатам полной программы, основные (наиболее характерные) показатели экологического состояния водохранилища [16, 17].

Красноярское водохранилище получает неодинаковую антропогенную нагрузку: верховье принимает основную массу загрязненных промышленных хозяйствственно-бытовых сточных вод; средняя часть загрязняется стоками от населенных пунктов, с сельскохозяйственных угодий; низовые загрязняются преимущественно водным транспортом. Согласно Программе мониторинга сеть пунктов наблюдений, т. е. станций, разработана и апробирована на Красноярском водохранилище с учетом степени антропогенного воздействия [16]. Пункты наблюдений организованы в первую очередь на участках, имеющих хозяйственное значение, а также подверженных значительному загрязнению промышленными, хозяйственно-бытовыми и сельскохозяйственными сточными водами. На незагрязненных сточными водами участках созданы пункты для фоновых наблюдений.

2.2. Основные методические приемы и материалы исследований

Для наблюдения и анализа состояния поверхностных вод и донных отложений Красноярского водохранилища под руководством сотрудников Федерального государственного бюджетного учреждения «Енисейрегионводхоз» (Росводресурсы) были определены пункты наблюдений на участках: в зоне влияния сточных и дренажных вод предприятий-водопользователей; в зоне подпора крупных боковых притоков рек; на предплотинном участке водохранилища, которые являются наиболее важными для рыбного хозяйства.

Организация и ведение мониторинга водохранилища, выбор участков водного объекта, на которых ведутся наблюдения, определение местоположения контрольных створов, вертикалей и горизонтов, осуществлялись согласно нормативным документам [17, 35, 36]. В соответствии с Программой мониторинга выполнялся комплекс работ: визуальные наблюдения за состоянием водного объекта; отбор проб воды для гидрохимического анализа в стационарной лаборатории; выполнение определений неустойчивых компонентов химического состава воды непосредственно у водного объекта; отбор проб донных отложений для определения концентрации загрязняющих веществ; измерение расходов воды и температуры и др.

Отбор и анализ проб воды производили в соответствии с требованиями [35, 36]. Состав контролируемых параметров определялся с учетом показателей, отражающих характер и специфику воздействия при использовании водных объектов для различных целей, и водохозяйственной обстановки в местах отбора проб.

Материалом для исследования гидрохимического состояния воды и донных отложений водохранилища в рамках Программы мониторинга послужили пробы, отобранные под руководством специалистов Енисейского БВУ и ФГУ «Енисейрегионводхоз» при личном участии автора в 2019 г. с целью определения показателей загрязненности поверхностных вод и донных грунтов, и в целом состояния водного объекта.

В процессе выполнения работ использовали методический прием – комплексные экспедиционные съемки, которые отвечают главным условиям:

оперативность (проведение наблюдений в предельно сжатые сроки для обеспечения временной сопоставимости результатов всех пунктов наблюдений на водоеме); комплексность (одновременная регистрация гидрологических и гидрохимических показателей в каждом пункте наблюдений); включение автоматизированных приемов, приборного обеспечения отбора проб и регистрацию ряда параметров непосредственно на водоеме.

Наблюдения за качеством поверхностных вод и донных отложений на Красноярском водохранилище проводили в 5 пунктах наблюдений (7 створах), местоположение которых определено в соответствии с согласованной Енисейским БВУ «Программой наблюдений за состоянием поверхностных вод и донных отложений Красноярского водохранилища» (рисунок 3).

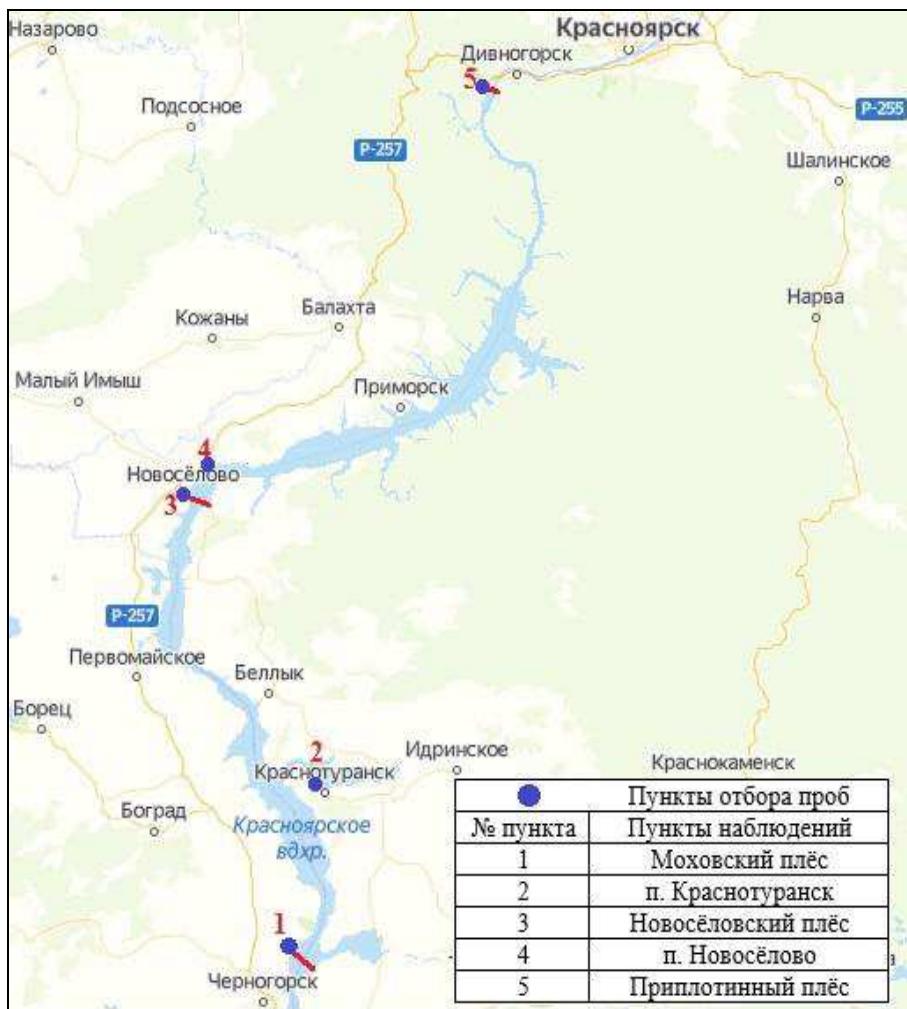


Рисунок 3 – Карта-схема сети пунктов наблюдений на водохранилище в рамках Программы мониторинга
(составлено автором по материалам [45])

При отборе проб для гидрохимического анализа воды и донных грунтов применялась техническая и приборная база. Техническое обеспечение включало: транспортное обеспечение отбора и доставки проб воды и донных отложений в ГХЛ ФГУ «Енисейрегионводхоз»; приборное и инструментальное обеспечение наблюдений, включая топографические и гидрометрические приборы. В процессе исследовательских работ на водном объекте был использован водный транспорт (катер Quintrex Coast Runner 455) ФГУ «Енисейрегионводхоз» [17].

Пробы отбирали в соответствии со стандартными методиками (указанными выше) с использованием специальных батометров, каждый из которых предназначен для конкретной задачи:

- отбор проб воды поверхностных горизонтов осуществлялся универсальным батометром (состоит из штанги длиной 1 м, специальной площадки для установки стерильной емкости с целью отбора проб, подвижного устройства для крепежа емкостей разных размеров);
- глубинные пробы отбирали батометром Молчанова ГР-18 (состоит из платформы с грузом и присоединенной к ней стерильной емкости с пробкой, открываемой с помощью прикрепленной к ней веревки при достижении нужной глубины).

Донные отложения отбирали с судна с помощью бентосного утяжеленного дночерпателя (площадь захвата грунта $0,025\text{ м}^2$), состоящего из двух скребков, вращающихся на оси и крюка-сбрасывателя, обойма которого соединяется со скребками при помощи троса (рисунок 4).

Всего по Красноярскому водохранилищу в 2019 г. было отобрано 110 проб воды и 9 проб донных отложений, в том числе автором 12 проб воды и 6 проб донных отложений. Данные, полученные за 2013-2018 гг., предоставлены специалистами Енисейского БВУ.

Створы наблюдений за содержанием загрязняющих веществ в донных отложениях совмещали со створами наблюдений в поверхностных водах. В низовье водохранилища пробы отбирали на предплотинном участке (1 створ, 1 вертикаль – 0,1В). Отбор проб донных отложений производили одновременно с отбором проб воды в период максимального наполнения водохранилищ. Пробы донных отложений отбирали в месте, где слой отложений достигает максимальной толщины.

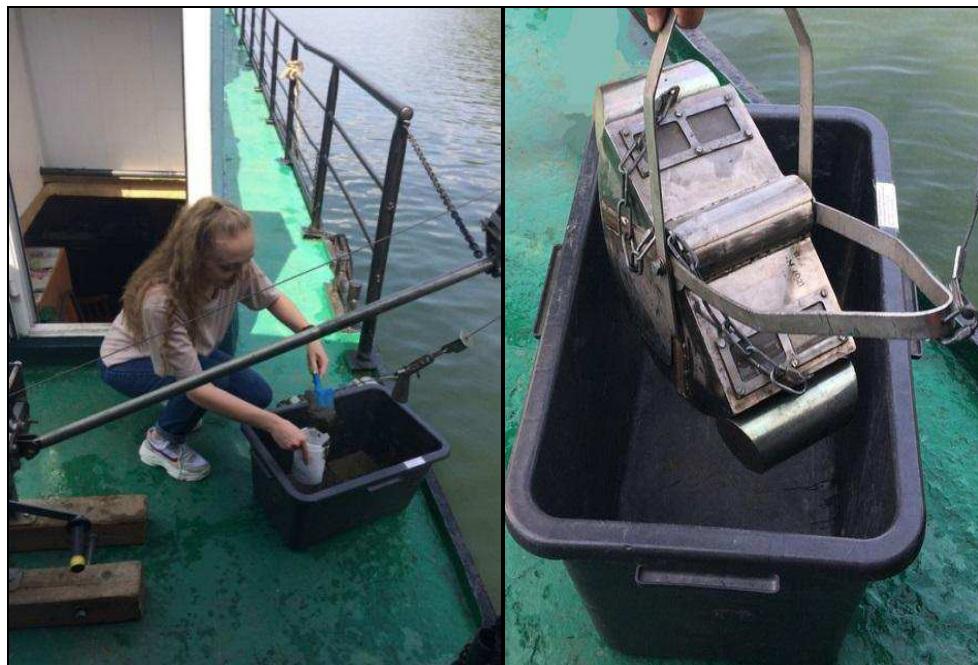


Рисунок 4 – Отбор проб на Красноярском водохранилище (2019 г.)

В пункте наблюдения исследовалось от одного до двух поперечных створов с одной или тремя вертикалями по ширине водоема ($0,1B$; $0,5$; $0,9B$), от левого берега на расстоянии $0,1$ общей ширины водоема в пункте наблюдений находится первая вертикаль ($0,1B$), на расстоянии $0,5$ общей ширины водоема – вторая вертикаль ($0,5B$), от правого берега на расстоянии $0,1$ общей ширины водоема – третья вертикаль ($0,9B$). Отбор проб воды осуществляли в поверхностном горизонте (до $0,5$ м), в створах с большими глубинами. Отбор проб воды выполняли с нескольких горизонтов (у поверхности, $0,5h$, у дна) (приложение В).

В верховье водохранилища отбор проб воды производили на Моховском плесе (1 створ, 1 вертикаль – $0,1B$); у п. Краснотуренск в двух створах: 500 м выше выпуска сточных вод с ОС (1 створ, 1 вертикаль – $0,1B$) и 500 м ниже ОС (1 створ, 1 вертикаль – $0,1B$); в средней части – на Новоселовском плесе (1 створ, 3 вертикали – $0,1$; $0,5$; $0,9B$), у п. Новоселово в двух створах: 500 м выше выпуска сточных вод с ОС (1 створ, 1 вертикаль – $0,1B$) и 500 м ниже ОС (1 створ, 1 вертикаль – $0,1B$). В нижней части водохранилища на предплотинном участке пробы отбирали в одном створе на трех вертикалях ($0,1$; $0,5$; $0,9B$).

Аналитические работы по определению содержания загрязняющих веществ в пробах воды (22 ингредиентов) выполняли согласно методикам, включенными в государственный реестр методик количественного химического анализа, в

специализированной аккредитованной Росаккредитацией лаборатории ГХЛ ФГУ «Енисейрегионводхоз». Камеральную обработку проводили по общепринятым методикам [26, 44].

Сведения, полученные в процессе исследований, использованы для формирования банка данных автоматизированной информационной системы государственного мониторинга водных объектов РФ (АИС ГМВО) с целью пополнения общей электронной базы данных по бассейновым округам, речным бассейнам, водохозяйственным участкам, территориям субъектов и в целом по России. Таблицы банка данных, сформированные при непосредственном участии автора, содержат 12 переменных (характеристик) и более 110 наблюдений. Постоянно пополняемая электронная база используется для изучения, оценки и прогнозирования изменения состояния водных объектов, и в дальнейшем при планировании и реализации мероприятий по охране и использованию водных объектов.

Материалы исследований по гидрологическому, гидрохимическому и гидробиологическому режимам в рамках экологического мониторинга за период с 1978-2005 гг. для ретроспективного анализа предоставлены научным руководителем.

Порядок ранжирования видов и выделение доминантов определен по индексу, предложенному Л. В. Арнольди в модификации Г. Х. Щербины [25]. Для оценки влияния основных загрязняющих веществ на качество воды в водохранилище рассчитывали коэффициент корреляции [31]. Значения биотического индекса (БИ) рассчитывались по адаптированному методу Вудивисса и представлены в соответствии с ГОСТом [11]. Оценка трофического статуса водохранилища проведена по классификации С. П. Китаева [20]. Определение класса загрязненности воды осуществлялось в соответствии классификацией по УКИЗВ [17]. При оценке загрязненности донных отложений применялся «Региональный норматив» (проект PSO 95/RF/3/1). Математическая обработка и графическое оформление данных проводилось с использованием программ Microsoft Office Excel, Google Earth, MapChart, Яндекс.Карты.

3 Характеристика Красноярского водохранилища

3.1 Географическое положение и основные параметры водоема

Красноярское водохранилище представляет собой крупный искусственный водный объект, созданный при строительстве Красноярской ГЭС (введенной в эксплуатацию в 1967 г.), в верхней части среднего течения р. Енисей ($55^{\circ}06'35''$ с. ш., $91^{\circ}34'38''$ в. д.) на юге Красноярского края [3, 44].

Красноярское водохранилище вытянуто в меридиональном направлении с севера на юг вдоль русла Енисея почти на 396 км от места впадения в Енисей реки Абакан в районе г. Абакан до плотины Красноярской ГЭС вблизи г. Дивногорска (таблица 5, рисунок 5). Начиная от плотины, участок водохранилища на протяжении 68 км расположен в узком каньоне – месте, где р. Енисей пересекает Красноярский кряж Восточного Саяна, по левобережью которого расположено Курбатово-Сырское белогорье, а по правобережью – Манско белогорье.

Таблица 5 – Основная характеристика водохранилища [23]

Наименование	Река	Местонахождение (км от устья, населенный пункт)	Наименование субъектов Российской Федерации	Год заполнения	Назначение
Красноярское водохранилище	Енисей	2502, г. Дивногорск	Красноярский край, Республика Хакасия	1970	Гидроэнергетика, судоходство

Заполнение водохранилища осуществлялось в течение четырех лет с 1967 г. до 1970 г., когда уровень воды достиг НПУ (243 м). Анализ всех характеристик экосистемы, отсчет времени функционирования водохранилища осуществлен с 1970 г. (1970 г. - первый год, 2019 г. – сорок девятый год функционирования). Водохранилище является одним из крупнейших по объему искусственных водоемов в мире, полный и полезный объем водных масс которого составляет $73,3$ и $30,4 \text{ км}^3$ соответственно, площадь водного зеркала при НПУ достигает 2000 км^2 . Средняя ширина водоема – 5,3 км, наибольшая ширина (15 км) отмечена в районе Краснотуранского пlesa, минимальная (2,5 км) - в приплотинном районе [3, 6, 7].



Рисунок 5 – Карта-схема Красноярского водохранилища
(составлено автором по материалам [47])

Максимальная глубина у плотины ($H=124$ м) достигает 110 м, средняя глубина по водохранилищу – 36 м (таблица 6). Высота уреза воды в среднем составляет 243 м над уровнем моря, уровень воды при УМО (уровень мертвого объема) – 225 м, сработка уровня варьирует в пределах 6-20 м. Коэффициент водообмена равен 1,4 (каждые 10 месяцев). На глубины до 10 м приходится 16 % от всей площади водоема, 10-30 м – 28 %, 30-40 м – 12%, более 40 м – 44 %. Протяженность береговой линии при НПУ составляет 2560 м. Наибольшая изрезанность берегов характерна для правобережья [42]. Водохранилище относится к категории предгорных водоемов долинного типа, расположено в двух ландшафтных зонах: южной – лесостепной и северной – горно-таежной. Его форма определяется сложностью рельефа затопленной суши [40].

Таблица 6 – Основные параметры водного объекта [21, 22]

Наименование параметров	Единицы измерения	Значение параметра
Нормальный подпорный уровень, НПУ	м	243,0
Максимальный допустимый уровень (форсированный подпорный), ФПУ	м	243,5
Минимальный навигационный уровень (по условию подхода к судоподъемнику), УМО рекомендованный	м	230,0
Минимальный допустимый уровень (мертвого объема), УМО проектный	м	225,0
Объем при НПУ	км ³	73,3
Объем при УМО 230 м	км ³	50,4
Объем при УМО 225 м	км ³	42,9
Полезный объем при УМО 230 м	км ³	22,9
Полезный объем при УМО 225 м	км ³	30,4
Площадь зеркала при НПУ	км ²	2000,0
Площадь зеркала при УМО 230 м	км ²	1555,0
Площадь зеркала при УМО 225 м	км ²	1382,0
Длина водохранилища при НПУ	км	396,0
Длина водохранилища при УМО 230 м	км	302,0
Протяженность береговой линии при НПУ	км	2560,0
Максимальная глубина при НПУ	м	110,0
Средняя глубина при НПУ	м	36,0
Максимальная ширина при НПУ	км	15,0
Средняя ширина при НПУ	км	5,3

При создании Красноярского водохранилища были затоплены земли Емельяновского, Балахтинского, Даурского, Новоселовского, Краснотуранского и Минусинского районов Красноярского края, Боградского и Усть-Абаканского районов Республики Хакасия. В зону затопления попало 132 населенных пункта, было переселено 60 тыс. человек, перебазировано несколько десятков предприятий, перенесено почти 14 тыс. строений.

Работы по подготовке ложа Красноярского водохранилища начались в 1957 г. Главной проблемой создания водного объекта на р. Енисей являлась недостаточная подготовка ложа водного объекта к затоплению, отсутствие лесосводки и лесоочистки, что характерно для многих водохранилищ Сибири [3, 7]. Более 80 % всей площади водоема пришлось на затопленную сушу, из которой 21 % был занят лесами. В процессе наполнения водохранилища под воду ушло 38 тыс. га леса и кустарников, 120 тыс. га сельскохозяйственных земель, данные показатели в 2,3-7,6 раза меньше по сравнению с таковыми Новосибирского водохранилища (289 тыс. га леса и кустарников, 281 тыс. га сельскохозяйственных земель) [29]. При создании

Красноярского водохранилища были затоплены различные типы почв, особенно широко были представлены дерново-подзолистые, луговые, серые лесные почвы и черноземы. Процесс заиливания грунтов водохранилища происходит медленно и продолжается по настоящее время.

Лесоочистные работы были выполнены на площади не более 13 тыс. га. Фактически вырублено 470 тыс. м³ товарного леса (таблица 7). По данным Гидролестранса объем плавающей древесины на 1984 г. составил 300 тыс. м³, ежегодно в водохранилище вследствие переработки берегов дополнительно поступает 5-6 тыс. м³ древесины. Переработка берегов носит нарастающий характер [1, 40, 42].

Таблица 7 – Важные показатели затопления земель при создании Красноярского водохранилища [13, 34]

Показатель затопления	Величина показателя
Площадь затопления, тыс. га всего	175
В том числе:	
– сельскохозяйственные угодья	120
– лес и кустарники	38
Запас товарных насаждений, тыс. м ³	470
Площадь лесосводки и лесоочистки, тыс. га	13
Объем лесосводки, тыс. м ³	440
Объем затопления, тыс. м ³	470

В водохранилище впадают несколько достаточно крупных рек, наиболее известные из которых: по правому берегу – реки Туба, Сисим, Сыда, по левому – Бирюса. В результате создания данного водоема география района очень сильно изменилась: многие реки, впадающие в Енисей, оказались подтопленными, их устья создали множественные заливы.

С учетом сложности рельефа ложа водного объекта, наличия стоковых течений и других его гидрологических характеристик условно выделены верхняя, средняя и нижняя его части водохранилища. Верхняя часть водохранилища простирается от г. Абакана до п. Батени. Левый берег водоема в этой части преимущественно пологий, для правого характерны выходы коренных пород. При анализе водной экосистемы в рамках верхней части выделяются плесовые расширения – Усть-Абаканский, Моховский и Краснотуранский плесы, крупные

заливы – Туба, Сыда, Советская Хакасия, Тесь, Ерба, Кокса. Максимальная ширина открытых плесов достигает 15 км, наибольшие глубины плесовых участков составляют 6-36 м [3]. Средняя часть водного объекта тянется от п. Батени до залива Огур, располагаясь в пределах Енисейско-Чулымской котловины и отрогов Минусинской впадины и Восточных Саян. В рассматриваемой части водохранилища отмечается значительное разрушение берегов, сложенных легко разрушамыми породами [42]. Выделяют Новоселовский и Приморский плесы (максимальная ширина до 14 км, глубины – 34-70 м). В месте впадения рек расположены заливы Сисим, Кокса, Черный, Кома [6, 23]. Нижняя часть простирается от зал. Огур до плотины, располагается в пределах Восточных Саян. Выделяются Щетинкинский и Приплотинный плесы, заливы – Огур, Дербино, Езагаш, Бюзинский и Бирюсинский. Участок в 60 км перед плотиной ГЭС имеет ширину не более 2,5 км, глубины варьируют от 85 до 110 м.

[Изъята подглава 3.2 Особенности гидрологического режима]

[Изъята подглава 3.3 Гидротермический режим исследуемого водного объекта]

[Изъята подглава 3.4 Гидрохимический режим водоема]

[Изъята подглава 3.5 Химическое состояние донных отложений]

[Изъята подглава 3.6 Гидробиологический режим Красноярского водохранилища]

[Изъята глава 4 Гидроэкологическая характеристика состояния водной экосистемы]

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Красноярское водохранилище – крупный народно-хозяйственный объект, создание которого привело к изменениям природных экосистем в пределах зоны затопления и на прилегающих территориях. При существующем режиме эксплуатации водных ресурсов водоема важнейшим является рассмотрение вопросов его оптимального использования для сохранения высокого качества воды как источника питьевого водоснабжения и в целях интересов рыбного хозяйства.

Основными загрязняющими веществами воды Красноярского водохранилища по которым выявлено максимальное превышение ПДК_{рыбхоз.}, являются тяжелые металлы: железо, медь, концентрации которых обусловлены, как их повышенным региональным фоном, так и антропогенным влиянием сточных вод ОС п. Краснотуренск и п. Новоселово. В настоящее время они рассматриваются в качестве основных компонентов устойчивого загрязнения водохранилища. Качество воды по УКИЗВ оценивается в пределах от 1 класса – вода «условно чистая» до 3 класса, разряд «б» – вода «очень загрязненная».

Загрязнение донных отложений не является критичным. Наблюдается общая тенденция к увеличению концентрации загрязняющих веществ в донных отложениях к предплотинному участку. Основными загрязняющими веществами донных отложений являются металлы: свинец, цинк, никель, что связано в первую очередь негативным воздействием недостаточно очищенных сточных вод ОС п. Краснотуренск и п. Новоселово.

Планктонные сообщества и бентофауна играют важную индикаторную роль в диагностике состояния водной экосистемы. Качество воды Красноярского водохранилища оцененное по комплексу структурно-функциональных показателей планктона и бентоса характеризуется в основном в пределах III – V классов (вода «умеренно загрязненная» – «грязная»), и в целом согласуется с данными гидрохимического анализа качества вод. Трофический статус водохранилища по показателям планктонных и бентосных сообществ соответствует мезотрофному типу с чертами эвтрофии.

На основании реакций сообществ на негативное воздействие проявляющееся преимущественно в упрощении видовой структуры, пространственно-временной

гетерогенности можно дать характеристику состояния (здравья) водной экосистемы. Так, по структуре планктонных и бентосных сообществ экосистема в верхней части водохранилища в зоне влияния сточных вод с ОС Краснотуранского ЖКХ, в средней части на участке ниже спуска ОС МУП «Водоканал плюс», и в низовье водохранилища (в первую очередь в его профундальной зоне), соответствует состоянию антропогенного экологического регресса.

Важным направлениями в области дальнейших научных исследований, совершенствования системы мониторинга водохранилища должны стать: объединение результатов наблюдений, выполняемых различными научными организациями и управлениями постоянно или эпизодически, в единую информационную систему; интегральная оценка пространственно-временной изменчивости гидрохимических характеристик воды и донных отложений водоема в совокупности с гидрологическими и гидробиологическими характеристиками.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Барабанова, Е. А. Сравнительная геоэкологическая оценка водохранилищ гидроэлектростанций : автореф. дис. ... канд. географ. наук : 25.00.27 / Барабанова Елена Алексеевна. – Москва, 2001. – 289 с.
2. Васильев, О. Ф. Экологическое состояние Новосибирского водохранилища / О. Ф. Васильев, В. М. Савкин, С. Я. Двуреченская, С. Я. Тарасенко, П. А. Попов, А. Ш. Хабидов // Сибирский экологический журнал. – 2000. – № 2. – С. 149-163.
3. Водные ресурсы [Электронный ресурс] : Вода России. – Москва, 2009. – Режим доступа: http://water-rf.ru/Вода_России.
4. Водный кодекс Российской Федерации (с изм. на 4.12.2006г.) от 3.06.2006 г. №74-ФЗ. – 2006. – 150 с.
5. Волкова, Н. И. Гидрохимическая характеристика Красноярского водохранилища после наполнения // Биологические исследования Красноярского водохранилища. – Новосибирск : Наука, 1975. – С. 36-42.
6. Вышегородцев, А. А. Красноярское водохранилище : монография / А. А. Вышегородцев, И. В. Ануфриева, О. А. Кузнецова. – Новосибирск : Наука, 2005. – 212 с.
7. Геоэкологические аспекты функционирования Красноярского водохранилища / Д. М. Шлемберг, О. А. Кузнецова // Проблемы региональной экологии и географии / Удмурт. гос. ун-т. – Ижевск, 2019. – С. 235-238.
8. Гидрохимические показатели окружающей среды: справочные материалы / ред. Гусева, Т. В. – Москва : ФОРУМ: ИНФРА-М, 2007. – 192 с.
9. Гидроэнергетика как фактор экономического развития Красноярского края / Д. М. Шлемберг // Экология Южной Сибири и сопредельных территорий // Хакасский государственный университет им. Н. Ф. Катанова. – Абакан, 2018. – С. 50-51.
10. Горбачев, В. Н. Негативное влияние крупных водохранилищ на окружающую среду / В. Н. Горбачев, Р. М. Бабинцева, Л. В. Карпенко, В. Д. Карпенко // Ульяновский медико-биологический журнал. – 2012. – №2. – С. 7-16.

11. ГОСТ 17.1.3.07-82 Охрана природы (ССОП). Гидросфера. Правила контроля качества воды водоемов и водотоков // Государственный контроль качества воды: сб. ГОСТов. – Москва : Изд-во стандартов, 2010. – 13 с.
12. ГОСТ 27065-86. Качество вод. Термины и определения // Государственный контроль качества воды: сб. ГОСТов. – Москва : Изд-во стандартов, 2001. – 21 с.
13. Государственный доклад Министерства природных ресурсов Красноярского края «О состоянии и охране окружающей среды в Красноярском крае за 2017 год». – Красноярск, 2018. – 217 с.
14. Диапазон температур воды в Красноярском водохранилище [Электронный ресурс] : Температура воды. – Красноярск, 2020. – Режим доступа: <https://seatemperature.ru>.
15. Донные отложения водохранилищ и их влияние на качество воды / А. И. Денисова [и др.] – Киев : Наукова думка, 1987. – 16 с.
16. Ежегодник качества поверхностных вод ФГБУ «Среднесибирского УГМС» за 2018 год. – Красноярск, 2019. – 115 с.
17. Ежегодный информационный бюллетень Енисейского бассейнового водного управления о состоянии водных объектов бассейна р. Енисей за 2018 год. – Красноярск, 2019. – 159 с.
18. Кальная, О. И. Некоторые экологические аспекты функционирования озеровидной части Саяно-Шушенского водохранилища / О. И. Кальная, О. Д. Аюнова // Экосистемы Центральной Азии: исследования, проблемы охраны и природопользования. – Кызыл, 2008. – С. 323-325.
19. Карнаухова, Г. А. Гидрохимия Ангары и водохранилищ Ангарского каскада / Г. А. Карнаухова // Водные ресурсы. – Иркутск, 2008. – Т. 35. – № 1. – С. 72-80.
20. Китаев, С. П. Экологические основы биопродуктивности озер разных природных зон : монография / С. П. Китаев ; Академия наук [АН] СССР. Зоологический институт, Академия наук [АН] СССР. Всесоюзное гидробиологическое общество. – Москва : Наука, 1984. – 207 с.

21. Корпачев, В. П. Влияние водохранилищ ГЭС Ангаро - Енисейского региона на окружающую природную среду / В. П. Корпачев // Вестник КрасГАУ. – 2005. – № 8. – С. 90-96.
22. Космаков, И. В. Термический режим Красноярского водохранилища. – Новосибирск : Наука, 1982. – 164 с.
23. Красноярское водохранилище: мониторинг, биота, качество вод : монография / Сиб. федер. ун-т ; под ред.: А. Ф. Алимов, М. Б. Иванова ; отв. за вып. З. Г. Гольд. - Красноярск : ИПК СФУ, 2008. - 537 с.
24. Кузнецова, О. А. Распределение биоценозов донных сообществ по грунтам глубоководного Красноярского водохранилища (по многолетним рядам, 1978-1997 гг.) / О. А. Кузнецова, З. Г. Гольд // Сибирский экологический журнал. – 2002. – № 2. – С. 165-172.
25. Кузнецова, О. А. Структурно-функциональная организация зообентоса Красноярского водохранилища (1978-1997 гг.) : дисс. ... канд. биолог. наук : 03. 00. 18 / Кузнецова Ольга Анатольевна. – Красноярск, 2000. – 167 с.
26. Кузнецова, О. А. Сукцессионные изменения донных сообществ глубоководного Красноярского водохранилища / О. А. Кузнецова // Вестник КрасГАУ. – 2011. – № 9. – С. 99-103.
27. Кузнецова, О. А. Хорология донных сообществ глубоководного водохранилища / О. А. Кузнецова // Вестник КрасГАУ. – 2012. – № 2. – С. 5-54.
28. Кузнецова, О. А. Эколо-биологическая характеристика структурообразующих видов донных биоценозов Красноярского водохранилища / О. А. Кузнецова // Сборник статей IX международной научно-практической конференции «EurasiaScience». – Москва : «НИЦ «Актуальность.РФ», 2017. – Ч.1. – С. 27-30.
29. Многолетняя динамика водно-экологического режима Новосибирского водохранилища / В. М. Савкин [и др.] ; Институт водных и экологических проблем СО РАН. – Новосибирск : Издательство Сибирского отделения РАН, 2014. – 393 с.

30. Никитин, Л. И. Ангаро-Енисейский каскад ГЭС в условиях изменяющегося климата / В. М. Никитин, Н. В. Абасов, Т. В. Бережных, Е. Н. Осипчук // Энергетика и климат. – 2017. – №4. – С. 62-71.
31. Пехович А. И. Основы гидроледотермики : научное издание / А. И. Пехович. – Москва : Энергоатомиздат, 1983. – 200 с.
32. Плохинский Н. А. Биометрия / Н. А. Плохинский. – Москва: Изд-во МГУ, 1970. – 336 с.
33. Региональный норматив: Нормы и критерии оценки загрязнённости донных отложений в водных объектах Санкт-Петербурга. – Санкт-Петербург : ОАО "Ленморнипроект", 1996. – 147 с.
34. Савкин, В. М. Водохранилища Сибири, водно-экологические и водохозяйственные последствия их создания / В. М. Савкин // Сибирский экологический журнал. – 2000. – № 2. – С. 109-121.
35. СанПиН 2.1.5.980-00 Гигиенические требования к охране поверхностных вод. – Минздрав РФ, 2000. – 190 с.
36. СанПиН 4630-88 «Санитарные правила и нормы охраны поверхностных вод от загрязнения». – Минздрав РФ, 2000. – 189 с.
37. Сапожников, В. А. Экосистема Красноярского водохранилища : учебное пособие / В. А. Сапожников, З. Г. Гольд. – Красноярск, 2005. – 165 с.
38. Селезнева, М. В. Оценка современного экологического состояния Новосибирского водохранилища по структурно-функциональным показателям сообщества макрозообентоса : дисс. ... канд. биолог. наук : 03.00.16, 03.00.18 / Селезнева Мария Васильевна. – Новосибирск, 2005. – 160 с.
39. Субетто, Д. А. Донные отложения разнотипных водоёмов, методы изучения, Карельский научный центр РАН / Д. А. Субетто, М. Я. Прыйкова. – Петрозаводск : Карельский научный центр РАН, 2016. – 89 с.
40. Формирование берегов водохранилищ Енисейского каскада ГЭС / В. С. Кусковский [и др.] // Формирование берегов Ангаро-Енисейских водохранилищ. – Новосибирск : Наука, 1988. – С. 22-44.

41. Формирование гидробиологического режима и качества вод водохранилищ реки Енисей : Отчет о НИР. – Иркутск: Лимнологический институт, 1986. – 205 с.
42. Формирование берегов Красноярского водохранилища / В. С. Кусковский [и др.] – Новосибирск : Наука, Сиб. Отд-ние, 1974. – 148 с.
43. Шварева, И. С. Тяжёлые металлы в наземных и водных экосистемах: автореф. дис. ... канд. хим. наук : 03.00.16 / Ирина Станиславовна Шварёва. – Иваново, 2006. – 15 с.
44. Шлемберг, Д. М. Анализ состояния воды глубоководного Красноярского водохранилища / Д. М. Шлемберг, И. И. Пякшина, Г. Д. Екимов // Устойчивое развитие / Брест. гос. ун-т. им. А. С. Пушкина. – Брест : БрГУ, 2019. – С. 286-288.
45. Яндекс карты [Электронный ресурс] // Яндекс. – Москва, 2020. – Режим доступа: <https://yandex.ru/maps/>.
46. Bogutskaya, N. G., Naseka A. M., Shedko S.V., Vasil'eva E. D., Chereshnev I. A. The fishes of the Amur river: updated check-list and zoogeography // Ichthyol. Explor. Freshwaters, 2008.- Vol. 19.- № 4. – P. 301-366.
47. Google maps [Электронный ресурс] // Google. – Москва, 2020. – Режим доступа: <https://www.google.ru/maps/>.
48. Hydroelectric power plants' reservoirs and their impact on the environment / Balzannikov M.I., Vyshkin E.G. // Environment. Technology. Resources Proceedings of the 8th International Scientific and Practical Conference. – 2011. – P. 171-174.
49. Sladecek V., System of water quality from the biological point of view // Arch. Hydrobiol. Ergeb. Limnol. – 1973. – №3. – 218 p.
50. Studying the condition of the benthic community of the Krasnoyarsk reservoir / D. M. Shlemburg, I. I. Pyakshina // Innovative trends in the development of Russian science / Krasnoyarsk State Agrarian University. – Krasnoyarsk, 2019. – P. 308-309.
51. Vladut T. Reservoirs and environment / T. Valadut // Int. Water Power and Dam Construction, 2007. – № 3. – P. 38-40.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

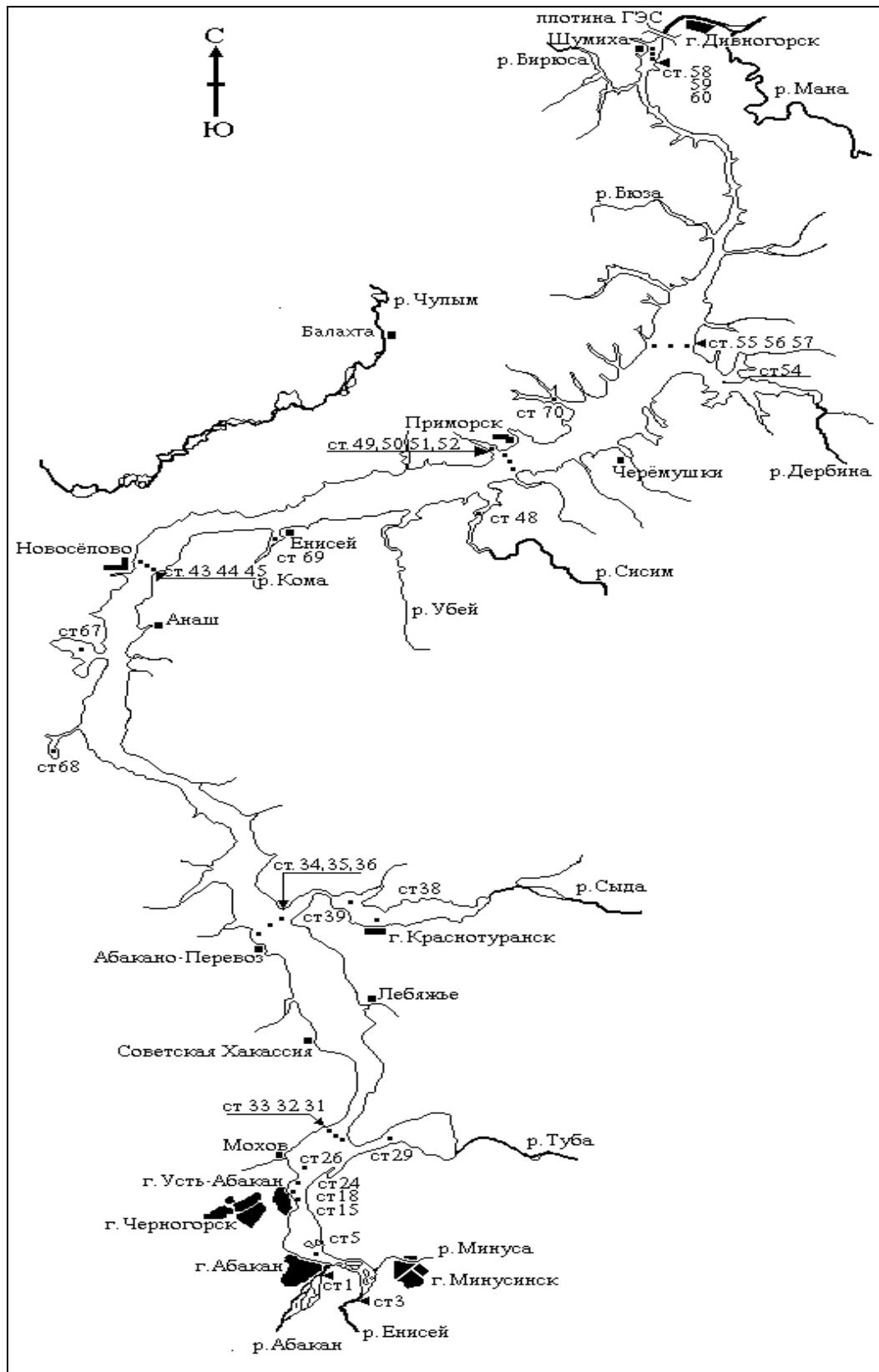
Карта Новосибирского водохранилища (составлено автором по материалам [47])



ПРИЛОЖЕНИЕ Б

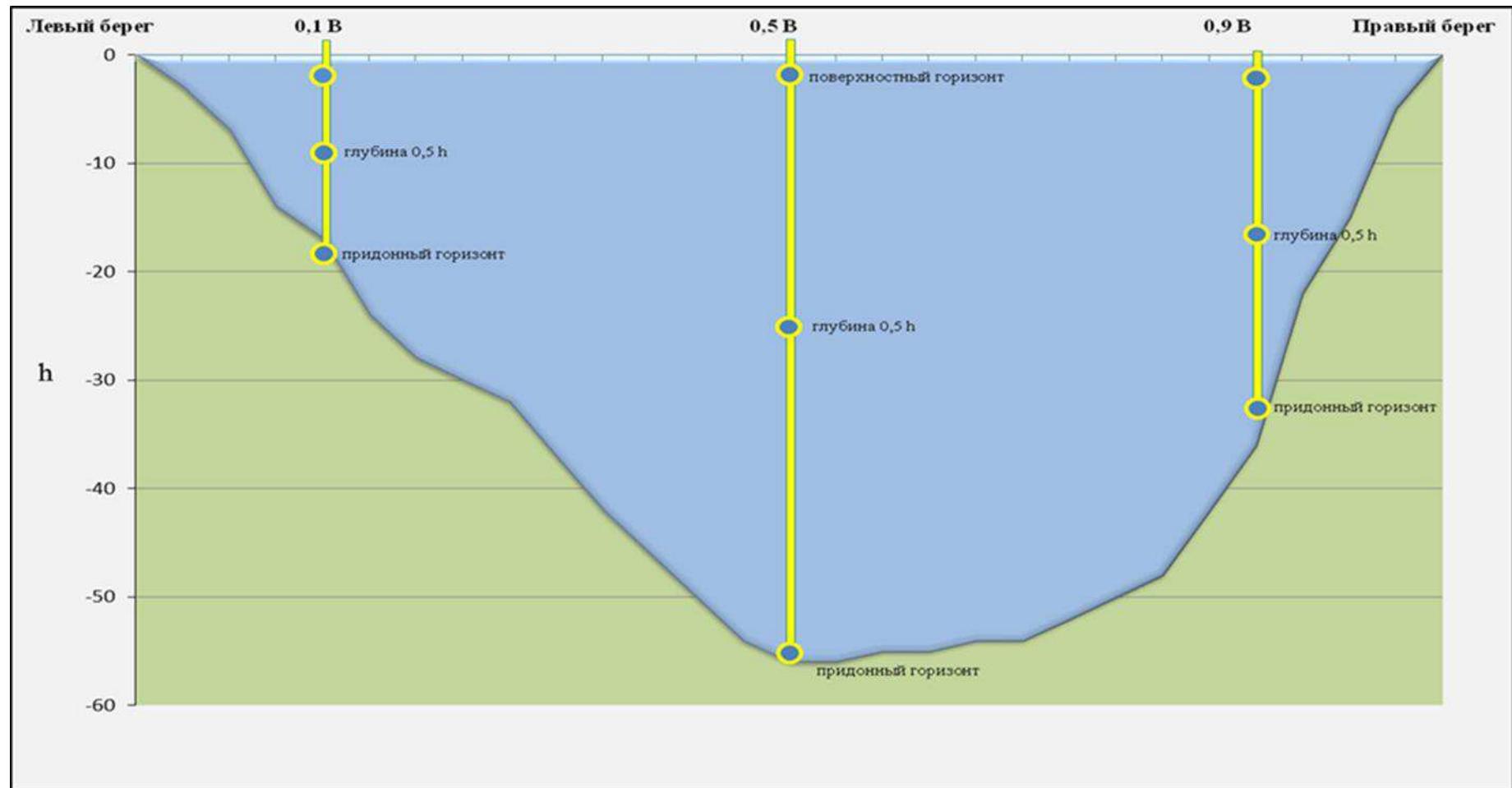
Общая карта-схема Красноярского водохранилища

Примечание: (1-60) пункты наблюдений и плесы



ПРИЛОЖЕНИЕ В

Схема расположения точек отбора по водным горизонтам на вертикалях поперечного створа на примере Новоселовского плеса Красноярского водохранилища (по Программе мониторинга)



**[Изъято приложение Г Динамика водности Красноярского водохранилища
(1977-2005 гг.)]**

ПРИЛОЖЕНИЕ Д

Предельно допустимые концентрации (ПДК_{рыбоз}) основных загрязнителей воды Красноярского водохранилища (мг/л)

Ингредиент	Азот аммон.	БПК _{полн}	ХПК	Фосфаты	Сульфаты	Хлориды	Фенолы	НФПР	Железо	Марганец	Медь	Цинк	Никель	Свинец	Ртуть
ПДК	0,4	3,0	15	0,2	100	300	0,001	0,05	0,1	0,01	0,001	0,01	0,01	0,006	0,00001

ПРИЛОЖЕНИЕ Е

Классификация загрязненности воды водных объектов по УКИЗВ

Класс и разряд	Характеристика состояния загрязненности воды	УКИЗВ
1-й	условно чистая	1
2-й	слабозагрязненная	1-2
3-й	загрязненная	2-4
разряд «а»	загрязненная	2-3
разряд «б»	очень загрязненная	3-4
4-й	грязная	4-11
разряд «а»	грязная	4-6
разряд «б»	грязная	6-8
разряд «в»	очень грязная	8-10
разряд «г»	очень грязная	10-11
5-й	экстремально грязная	11 и более

[Изъято приложение Ж Карта распределения загрязняющие вещества донных отложений по участкам наблюдений Красноярского водохранилища в 2013-2019 г.]

[Изъято приложение З Схема оценки качества вод Красноярского водохранилища по биотическому индексу Вудивисса]

ПРИЛОЖЕНИЕ И

Классификация качества воды водоёмов и водотоков по гидробиологическим показателям зообентоса

Класс качества воды	Степень загрязнённости воды	Гидробиологические показатели	
		Отношение общей численности олигохет к общей численности донных организмов, %	Биотический индекс по Вудивиссу, баллы
I	Очень чистые	1-20	10
II	Чистые	21-35	7-9
III	Умеренно загрязнённые	36-50	5-6
IV	Загрязнённые	51-65	4
V	Грязные	66-85	2-3
VI	Очень грязные	86-100 или макробентос отсутствует	0-1

Примечание: допускается оценивать класс качества воды и как промежуточный между вторым и третьим (II- III), третьим и четвёртым (III и IV), четвертым и пятым (IV- V).

[Изъято приложение К Сравнительная характеристика гидрохимических показателей воды Красноярского водохранилища (1971-2019 гг.)]

[Изъято приложение Л Гидрохимическая оценка качества вод Красноярского водохранилища (1971-2005 гг., 2013-2019 гг.)]

[Изъято приложение М Сравнительная характеристика гидробиологических показателей воды Красноярского водохранилища (1971-2019 гг.)]

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Институт экологии и географии
Кафедра географии

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
Г.Ю. Ямских
подпись инициалы, фамилия
« 1 » марта 2020 г.

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

05.04.06 Экология и природопользование

05.04.06.03 Геоэкология

Гидроэкологическая характеристика Красноярского водохранилища

О. А. Кузнецова
инициалы, фамилия

Выпускник 1.04.2020
подпись, дата

Д. М. Шлемберг
инициалы, фамилия

Нормоконтролер

В. О. Брунгардт

Рецензент Сергей Иванов докт., канд. биол. наук
подпись, дата должность, ученая степень

С. М. Трухницкая
инициалы, фамилия

Красноярск 2020