МИНИСТЕРСТВО ПРОСВЕЩЕНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«ЮЖНО-УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ГУМАНИТАРНО-ПЕДАГОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ФГБОУ ВО «ЮУрГГПУ»)

ФАКУЛЬТЕТ ЕСТЕСТВЕННОГО И МАТЕМАТИЧЕСКОГО ОБРАЗОВАНИЯ
КАФЕДРА ГЕОГРАФИИ, БИОЛОГИИ И ХИМИИ

Геоэкологическая оценка озера Большие Касагалы

Выпускная квалификационная работа по направлению
05.03.06 Экология и природопользование
Направленность программы бакалавриата
«Природопользование»
Форма обучения очная

Проверка на объем заимствований:
84,03 % авторского текста

Работа рекомендована к защите
рекомендована/не рекомендована
« 15 » 05 2026 г.
Зав. кафедрой географии,
биологии и химии
_____ Малаев А.В.

Выполнила:
Студентка группы ОФ-423/058-4-1
Малышева Анастасия Антоновна
_____

Научный руководитель:
кандидат биологических наук, доцент
_____ Лиходумова Ирина Николаевна

Челябинск

2026

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ 5

ГЛАВА 1. ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА, ХОЗЯЙСТВЕННОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ И АНТРОПОГЕННАЯ НАГРУЗКА НА ОЗЕРО БОЛЬШИЕ КАСАГАЛЫ 8

1.1 Общая характеристика экосистемы озера Большие Касагалы как основа структуры выпускной квалификационной работы 8

1.2 Физико-географическая характеристика 10

1.2.1 Географическое положение 10

1.2.2 Геологическое строение и рельеф 12

1.2.3 Климат 15

1.2.4 Животный мир 16

1.3 Хозяйственное использование и рекреация 17

1.3.1 База отдыха «Казгалы» 17

1.3.2 База отдыха «Зелёный лес» 18

1.3.3 Санаторно-лесная школа имени Ю. А. Гагарина 18

1.3.4 Аквакультура (рыбоводство) и рыболовство 20

1.4 Антропогенная нагрузка 21

Вывод по первой главе 23

ГЛАВА 2. МОРФОМЕТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ, ОСОБЕННОСТИ МОРФОЛОГИИ ОЗЕРНОЙ КОТЛОВИНЫ И ГИДРОЛОГИЧЕСКИЙ РЕЖИМ ОЗЕРА БОЛЬШИЕ КАСАГАЛЫ 25

2.1 Полевые работы и батиметрическая съёмка рельефа дна 25

2.2 Основные и производные морфометрические характеристики и морфологические коэффициенты 27

2.3 Гидрологический режим озера 34

Вывод по второй главе 36
ГЛАВА 3. ГИДРОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА И ГЕОЭКОЛОГОЧЕСКАЯ ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ВОД ОЗЕРА БОЛЬШИЕ КАСАГАЛЫ 38
3.1 Отбор проб и методы анализа 38
3.2 Гидрохимические показатели 39
3.2.1 Общие физико-химические показатели 39
3.2.2 Основные ионы и минерализация 41
3.2.3 Биогенное вещество 43
3.2.4 Микроэлементы (тяжёлые металлы) 45
3.3. Гидроэкологическая оценка 49
3.3.1 Оценка качества воды по критериям соответствия нормативам ПДК 49
3.3.2 Индекс загрязнения воды (ИЗВ) 52
3.3.3 Трофический тип вод (TSI) 53
Вывод по третьей главе 54
ГЛАВА 4. ГЕОЭКОЛОГИЧЕЧКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА И РАСТИТЕЛЬНОГО МИРА ОКРЕСТНОСТЕЙ ОЗЕРА БОЛЬШИЕ КАСАГАЛЫ 58
4.1 Геоэкологическая оценка почвенного покрова 58
4.1.1 Методы исследования 59
4.1.2 Морфологическое описание почвенных разрезов 60
4.1.3 Физико-химические свойства почв 68
4.2 Флористический состав окрестностей озера 78
Вывод по четвертой главе 83
ЗАКЛЮЧЕНИЕ 85

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ 88
ПРИЛОЖЕНИЯ 95

ВВЕДЕНИЕ

Челябинская область, насчитывающая более трех тысяч озер, по праву считается озёрным краем, где малые водоемы формируют основу региональной гидрологической сети. В системе геоэкологического мониторинга пресноводные озера выполняют роль интегральных индикаторов, чутко реагирующих на природные и антропогенные изменения в пределах водосборных бассейнов.

Озеро Большие Касагалы входит в цепь озер восточных предгорий Южного Урала (вместе с такими озёрами как Увильды, Еловое и др.), которые за свою красоту именуются «голубым ожерельем Урала». Находясь в 8 километрах от города Кыштыма, водоем активно используется местным населением в рекреационных целях. В отличие от соседних водоемов (таких как оз. Иртяш), его история напрямую не связана с интенсивными техногенными нагрузками, характерными для горнодобывающей и металлургической промышленности г. Кыштыма. В перспективе это позволяет рассматривать озеро Большие Касагалы в качестве эталонного объекта при изучении других аналогичных озер региона, или судить о его потенциальном фоновом загрязнении или транзитном переносе загрязняющих веществ в его экосистему.

Ключевым фактором, обусловливающим актуальность настоящего исследования, выступает практически полное отсутствие в доступных литературных источниках современных научных данных о геоэкологическом состоянии озера Большие Касагалы.

Особую значимость работе придает возможность использования результатов исследований для планируемого восстановления на берегу водоёма санаторно-лесной школы им. Ю.А. Гагарина по распоряжению губернатора Челябинской области, что актуализирует оценку качества воды в контексте экологической безопасности и охраны здоровья населения.

Работа позволит восполнить существующий пробел в гидрологическом кадастре озер региона. Собранные материалы послужат основой для

сравнительного анализа с другими водоемами и могут быть интегрированы в учебный процесс.

Цель работы – дать оценку геоэкологического состояния природных компонентов озера Большие Касагалы и его окрестностей.

Для реализации поставленной цели решались следующие **задачи:**

1) Изучить физико-географические особенности территории расположения озера Большие Касагалы и его хозяйственное использование;

2) Определить морфометрические и гидрологические характеристики озера Большие Касагалы;

3) Оценить геоэкологическое состояние вод, почвенного покрова и растительного мира исследуемой территории;

4) Выявить характер антропогенного воздействия на озеро и предложить мероприятия по его охране и рациональному использованию.

Объект исследования: озеро Большие Касагалы.

Предмет исследования: геоэкологическая оценка состояния природных компонентов озера Большие Касагалы.

Научная новизна: заключается в актуализации данных о природных компонентах озера Большие Касагалы и его окрестностей, его геоэкологического состояния.

Практическая значимость: заключается в возможности использования результатов исследования в мониторинге состояния озера Большие Касагалы, проведении хозяйственных, исследовательских и прочих мероприятий. Полученные данные пополнят базу регионального экологического мониторинга и могут быть использованы для обоснования природоохранных мероприятий, планирования рекреационных зон и оценки экологических рисков, способствуя принятию обоснованных управленческих решений в сфере использования водных ресурсов.

Методы исследования: описательный, сравнительно-географический, картографический анализ, полевые исследования, расчётно-статистические методы, лабораторные химические анализы.

Структура работы: была определена целью и задачами исследования. Выпускная квалификационная работа состоит из введения, четырёх глав, заключения, списка используемой литературы и приложения. Работа изложена на 115 страницах, содержит 39 рисунков, 12 таблиц и 9 приложений. Список использованных источников включает в себя 54 наименования.

ГЛАВА 1. ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА, ХОЗЯЙСТВЕННОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ И АНТРОПОГЕННАЯ НАГРУЗКА НА ОЗЕРО БОЛЬШИЕ КАСАГАЛЫ

1.1 Общая характеристика экосистемы озера Большие Касагалы как основа структуры выпускной квалификационной работы

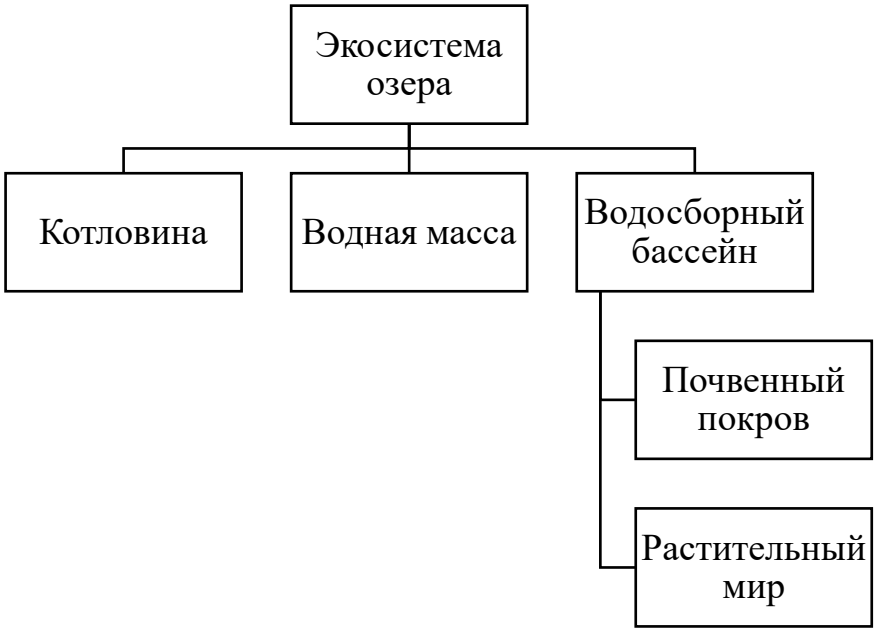


Рисунок 1 - Исследованные в научной работе природные компоненты системы «озеро-водосборный бассейн» озера Большие Касагалы

При проведении комплексного геоэкологического исследования природных компонентов следует рассматривать озеро не изолированно, а как целостную систему «озеро — водосборный бассейн». На рисунке 1 представлены элементы экосистемы озера Большие Касагалы, которые были обследованы в 2023-25 гг. Данная схема иерархически объединяет три основных структурных блока: котловину, водную массу и водосбор, где каждый блок, в свою очередь, определяет состояние последующего.

Котловина является первичной морфологической основой — «чашей», форма и размеры которой диктуют распределение глубин и термическую стратификацию и др. показатели и явления. Водная масса заполняет эту чашу и представляет собой динамическую среду, в которой протекают гидрохимические и гидрофизические процессы, формирующие качество воды.

Водосбор, частью которого являются почвенный покров и растительный мир, служит внешним источником вещества и энергии, где почвы регулируют сток и миграцию элементов, а растительность (как лесная, так и прибрежно-водная) стабилизирует склоны, участвует в биогенном цикле и выступает индикатором антропогенной нагрузки.

В соответствии с этой логикой в данной выпускной квалификационной работе объект был изучен по единому плану. В первой главе представлена частичная физико-географическая характеристика территории (географическое положение, геологическое строение, климат, животный мир; почвенный покров и растительный мир изложены в 4 главе) и проанализировано хозяйственное использование озера с оценкой возможных источников антропогенного воздействия. Во второй главе детально охарактеризована котловина — через морфометрические показатели и построение батиметрической карты. В третьей главе проведён анализ водной массы — по гидрохимическим показателям, с оценкой соответствия измеренных концентраций ПДК, с расчётом индекса загрязнения воды (ИЗВ) и трофического индекса Карлсона (TSI); наконец, в четвёртой главе исследован водосборный бассейн — дана геоэкологическая оценка почвенного покрова (через описание почвенных разрезов - морфологическое описание и химический анализ почвенных образцов) и растительного мира (флористический состав с выделением экологических групп).

1.2 Физико-географическая характеристика

1.2.1 Географическое положение

Озеро Касагалы – это пресное озеро предгорий Южного Урала. Административно оно расположено в южной части Кыштымского городского округа Челябинской области в непосредственной близости (8 км расстояние по прямой, 15 км по автодорогам) к юго-юго-западу от города Кыштыма (рисунок 2). Ближайший населённый пункт - посёлок Тайгинка (3 км к востоку от озера, 5 км по дороге) с численностью населения ~1600 человек [46].

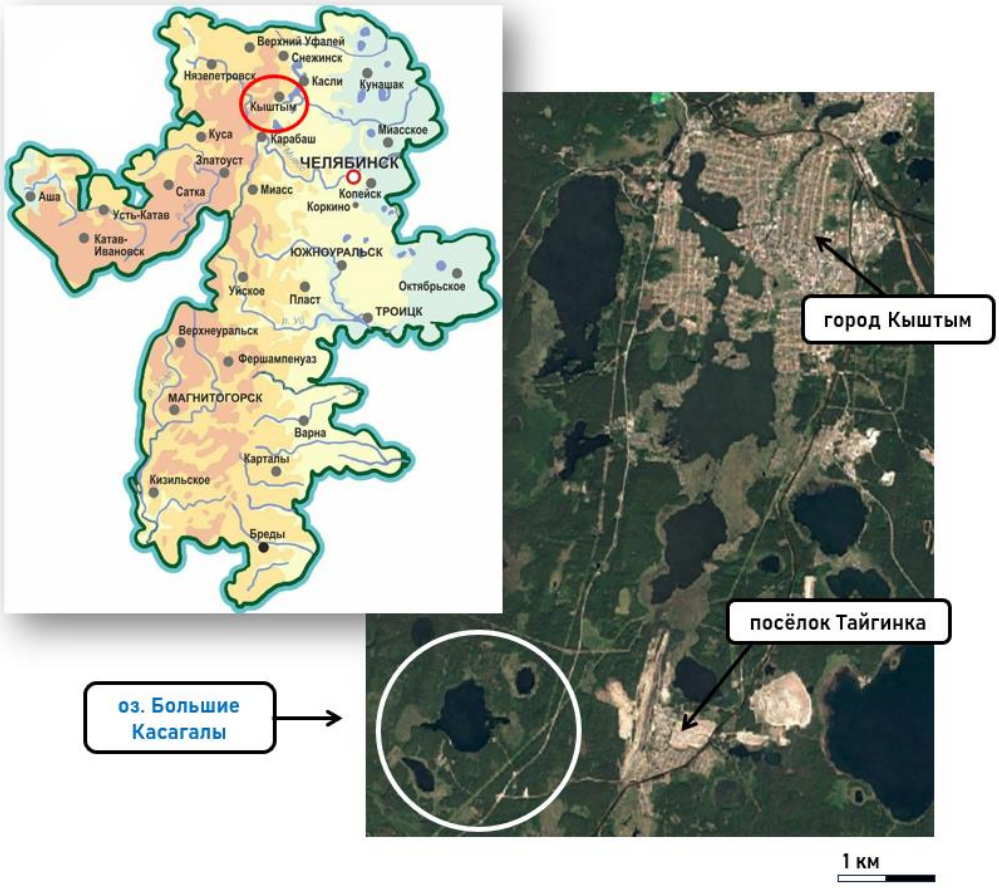


Рисунок 2 – Расположение оз. Большие Касагалы на карте Челябинской области относительно ближайших населенных пунктов (спутниковый снимок «Google Earth» [34])

Расстояния до озера от ключевых центров Уральского региона:

От Челябинска: ~80 км по прямой, ~110 км по автомобильным трассам;

От Екатеринбурга: ~130 км по прямой, ~170 км по автомобильным трассам.

Географические координаты: *55°37'54" северной широты и 60°26'54" восточной долготы*. Крайняя северная точка - 55°38'19.62"N 60°27'3.64"E, южная - 55°37'34.88"N 60°27'3.73"E, западная - 55°37'53.00"N 60°26'8.66"E, восточная - 55°37'51.96"N 60°27'42.36"E (рисунок 3).

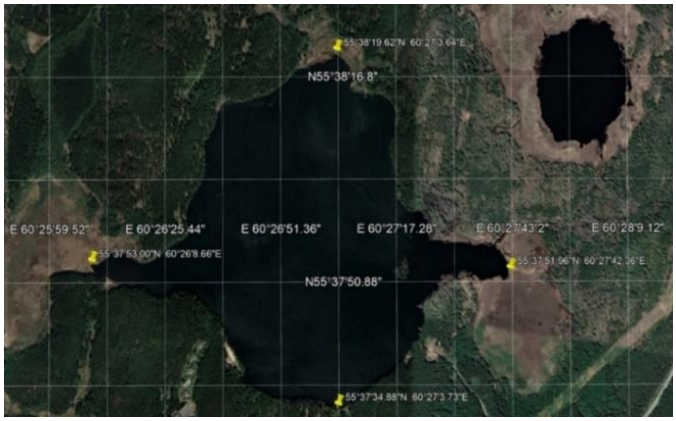


Рисунок 3 – Географические координаты оз. Большие Касагалы (спутниковый снимок «Google Earth» [34])

Большие Касагалы образует компактную озёрную группу со своими озерами-«спутниками» меньшего размера, с которыми оно связано естественными водными протоками – это Верхние и Малые Касагалы, расположенные соответственно юго-западнее и северо-восточнее от него.

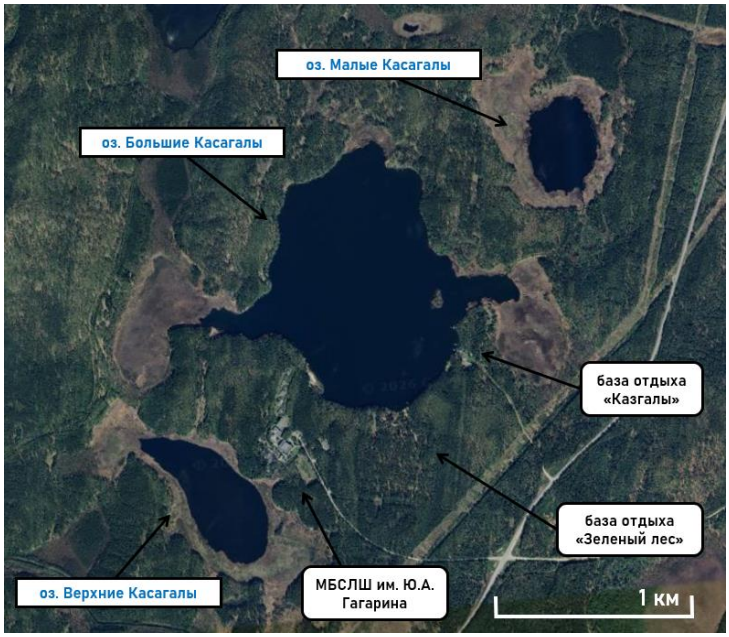


Рисунок 4 – «Озера-спутники» и субъекты водопользования оз. Большие Касагалы (спутниковый снимок «Google Earth» [34])

Основная часть берега оз. Большие Касагалы – дикие берега, но на юго-западном берегу находится детская санаторно-лесная школа им. Ю.А.

Гагарина, а на юго-восточном - базы отдыха «Казгалы» и «Зелёный лес» (рисунок 4).

Озеро Большие Касагалы расположено в лесостепной зоне Челябинской области, на границе с горно-лесной зоной Южного Урала с западной стороны, что формирует уникальный переходный ландшафт и биоразнообразие.

Озеро Большие Касагалы принадлежит бассейну реки Кыштымка. Исток данной реки располагается в небольшом болоте приблизительно в 4 км к северо-западу от посёлка Слюдорудник. В верхнем течении река протекает через озёра Большая Нанога и Иртяш, затем впадает в реку Течу – правый приток Исети. Посредством гидрографической цепочки Теча → Исеть → Тобол озеро числится в бассейне реки Обь.

1.2.2 Геологическое строение и рельеф

Большие Касагалы относятся к Восточно-Предгорному лимнологическому району Среднего и Южного Урала (согласно М. А. Андреевой [18]). Этому району присуща высокая озёрность, достигающая 10-14%, что связано с наличием многочисленных котловин, приуроченных к тектоническим разломам. Помимо оз. Большие Касагалы в районе восточных предгорий находятся такие крупные озера, как Увильды, Тургояк, Иртяш, Чебаркуль и озера поменьше - оз. Еловое, Банное и другие. Для озер данной территории характерны большие глубины.

Котловина озера Большие Касагалы тектонического происхождения.

С точки зрения тектоники – оз. Большие Касагалы находится в зоне Восточно-Уральского поднятия (антиклинорий гранитных интрузий), восточнее Главного Уральского разлома, а точнее в зоне тектонической структуры – Ильменогорско-Вишнёвогорский антиклинорий.

Фундамент территории сложен породами кыштымской толщи, которые на представленной государственной геологической карте Российской Федерации (Зона N-41-I (Кыштым)) (рисунок 5) [13] относятся к амфиболит-

гнейсо-сланцевой метавулканогенно-метаосадочной формации нижнепротерозойского возраста.

Формирование этих пород происходило в интервале от 2500 до 1650 миллионов лет назад. Первоначально это были мощные толщи вулканических пород (базальтов) и осадочных отложений (песчаников и глин), которые впоследствии под воздействием метаморфизма преобразовались в современные кристаллические сланцы, гнейсы и амфиболиты, которые содержат повышенные концентрации граната, биотита и роговой обманки, что типично для глубокометаморфизованных комплексов древнего фундамента [13].



Рисунок 5 – Геологическая карта дочетвертичных отложений окрестностей оз. Большие Касагалы (N-41-I Кыштым) [13]

Котловина озера сформирована в тектонически ослабленной зоне, связанной с Кыштымским разломом и общей структурой антиклинория**.**

Дальнейшую обработку рельефа в четвертичный период (плейстоцен-голоцен, последние 2,5 млн лет) произвели экзогенные процессы – морозное выветривание и водная эрозия. Как показано на карте четвертичных отложений (рисунок 6) [14], понижения рельефа и долины были заполнены делювиальными и озерными отложениями.

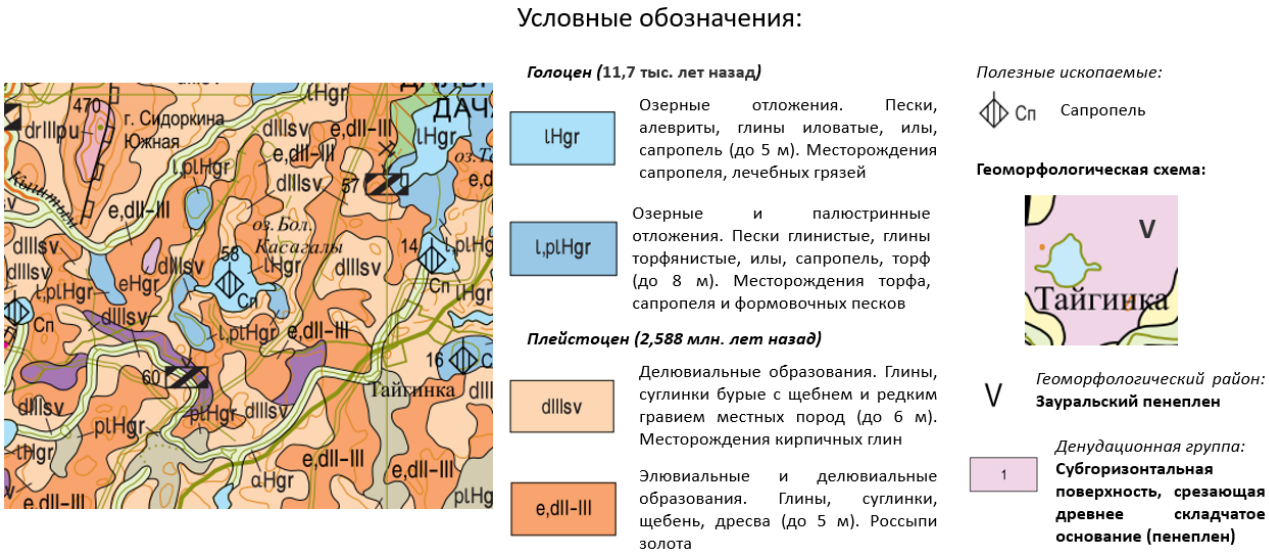


Рисунок 6 – Геологическая карта четвертичных отложений окрестностей оз. Большие Касагалы (N-41-I Кыштым) [14]

Большие Касагалы – это предгорное озеро с прозрачной пресной водой. Озеро имеет округлую форму, но с запада и востока имеет вытянутые заросшие, мелководные участки.

Ландшафт территории, на которой находится оз. Большие Касагалы – предгорная равнина лесостепной природной зоны. Холмисто-увалистое предгорье с абсолютными отметками 300-400 м расчленено долинами рек. Вершины холмов округлые, склоны пологие. Высота над уровнем моря озера Большие Касагалы – 287 м. Топографическая карта местности расположения озера представлена на рисунке 7.



Рисунок 7 – Топографическая карта оз. Большие Касагалы [15]

Вдоль побережья озера Большие Касагалы на некоторых участках развита серия береговых валов, достигающих высотой 1,5 метра, представляющих собой песчано-гравийные гряды, заросшие древесно-кустарниковой растительностью (рисунок 8).



Рисунок 8 – Береговые валы северо-восточного берега озера (фото автора)

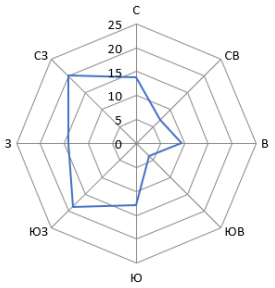
1.2.3 Климат

Климат на территории озера Большие Касагалы – умеренно-континентальный. На его формирование в этом районе оказывает большое влияние нахождение вблизи Уральского хребта, со стороны восточных предгорий (осадков здесь выпадает почти на четверть меньше, чем в западных предгорьях). Среднегодовое количество осадков – 500 мм, большая часть которых приходится на тёплый период года (июль–август).

Зимой под влиянием Сибирского антициклона массы холодного воздуха, поступающие с территории Западной Сибири и Казахстана, приносят морозную и сухую погоду. Осенью и в первую половину зимы отмечается активность атлантических циклонов. В течение года средняя температура воздуха составляет 2°С. Самым холодным месяцем является январь со средней температурой -14,6°С, а самым теплым июль - 16,4°С. Зима длится – 172 дня, весна – 72 дня, лето – 49 дней, осень – 72 дня [41].

Преобладающими ветрами в районе озера Большие Касагалы, согласно розе ветров для города Кыштыма (рисунок 9) [33], являются северо-западные, западные и юго-западные ветра, что обусловлено западным переносом

воздушных масс в умеренных широтах, а также орографическим влиянием Уральского хребта.



С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ
13.9%	7%	9.4%	3.8%	12,8%	18,8%	14,2%	20,1%

Рисунок 9 – Роза ветров в Кыштыме в 2014-23 гг. [33]

1.2.4 Животный мир

Животный мир окрестностей озера Большие Касагалы характеризуется типичным для Кыштымских лесов видовым составом – водятся привычные для лесостепной природной зоны животные: в лесных массивах обычны копытные (лось, косуля, кабан) и пушные звери (белка обыкновенная, заяц-беляк, куница лесная, лисица обыкновенная). Из крупных хищников малочисленно отмечаются бурый медведь, рысь и волк [39]. Орнитофауна представлена типичными лесными видами (глухарь, рябчик, дятел, многочисленные воробьинообразные и др.). Обитатели водоёмов и их побережий – лебеди, бобры, ужи (следы найденных представителей представлены на рисунке 10). Ихтиофауна выражена в основном щукой, окунем, лещом и чебаком.



Рисунок 10 – Представители животного мира окрестностей оз. Большие Касагалы: следы зайца, бобра, уж и стая лебедей (фото автора)

1.3 Хозяйственное использование и рекреация

Озеро Большие Касагалы располагается в наиболее благоприятной для туристско-рекреационной деятельности территории. Оно относится к цепи озер восточных предгорий (вместе с оз. Увильды, Еловое, Большой Кисегач и другие), которые за свою красоту именуются голубым ожерельем Урала. Хорошая транспортная доступность (можно доехать по трассе регионального значения 75К-015 от Кыштыма за 15 минут по асфальтовой дороге и лишь последние 1,5 км подъездных путей – по дороге с грунтовым покрытием) и расположение в экологически чистой зоне, делают озеро Большие Касагалы привлекательным для туристов, особенно из города Кыштыма в летнее время года. В жаркий июльский месяц занято большинство диких стоянок.

На берегах озера расположены две базы отдыха («Казгалы» и «Зелёный лес») и ныне не функционирующая санаторно-лесная школа имени Ю.А. Гагарина. На базе отдыха «Казгалы» организовано рыбоводческое хозяйство, осуществляющее товарную аквакультуру. Кроме того, водоём используется для любительского рыболовства в круглогодичном режиме.

1.3.1 База отдыха «Казгалы»

База отдыха «Казгалы» находится на юго-восточном берегу озера.

Ведомственная принадлежность базы отдыха «Казгалы»: ЧОБУ «Кыштымское лесничество», она работает для работников ООО «Кыштымский лес» и ЧОБУ «Кыштымское лесничество» по выписанной путевке, но доступна для свободного посещения и другим людям [38].

На территории базы есть инфраструктура для различного вида отдыха: имеется пляж с горкой, понтоны, спортивная площадка, беседки из срубов, теннис, вольеры с птицами разных видов (рисунок 11, 12).

База предоставляет возможность арендовать домик, место для кемпинга или просто посетить её территорию. Фотографические материалы, иллюстрирующие состояние территории базы вынесены в приложение 1.



Рисунок 11 – Зона отдыха и спортивная площадка (фото автора)



Рисунок 12 – Въезд на базу «Казгалы» и гостевые домики (фото автора)

1.3.2 База отдыха «Зелёный лес»

База отдыха "Зелёный лес" расположена на южном берегу озера Большие Касагалы. По информации с официального сайта, услугам гостей владельцы предлагают места для кемпинга, домики в аренду вместимостью от 4 до 15 человек, баню, беседки, мангальные зоны (рисунок 13). Турбаза подходит для семейного отдыха на природе, для проведения корпоративов, семейных праздников и дружеских встреч [37].



Рисунок 13 – Гостевые домики (фото: База отдыха «Зелёный лес», ВКонтакте) и баня (фото автора)

1.3.3 Санаторно-лесная школа имени Ю. А. Гагарина

Санаторно-лесная школа имени Ю. А. Гагарина расположена на юго-западном берегу озера Большие Касагалы. Её история началась в 1969 году - первоначально это был пионерский лагерь «Строитель». В июле 1973 года пионерскому лагерю установили статус школы санаторного типа (им. Ю. Гагарина), после чего произошло объединение с домом отдыха «Дальняя дача» в «Челябинское объединение оздоровительных учреждений».

Работа санатория была направлена на оздоровление детей со всех уголков страны. Сюда приезжали дети из городов Урала, Сибири, Средней Азии и Казахстана. Санаторный лагерь приобрел Всесоюзный статус. Всего на территории санатория было пять двухэтажных корпусов, с палатами и медицинскими кабинетами. Но с 1992 года санаторная школа им. Ю. Гагарина была передана в ведение органов местного самоуправления г. Челябинска-65 (Озерск), после чего практически полностью стала ориентирована на оздоровление детей Озерского округа. Постепенно санаторий начал выполнять больше социальные задачи, чем медицинские. Сюда все чаще направляли на отдых детей из малообеспеченных семей. Наполняемость школы снижалась с 400 детей в 1980-е годы, до чуть больше 100 в 2000-е [44].

В 2016 году случилась авария с водоснабжением, из-за лопнувшей трубы проводимая в лагере смена была досрочно завершена, а работа школы приостановлена. После устранения аварии была взята проба питьевой воды, которая оказалась неудовлетворительного качества. С тех пор работа лагеря не была возобновлена.

Сейчас санаторно-лесная школа имени Ю. А. Гагарина не работает. Но в конце июня 2024 года губернатор Челябинской области Алексей Текслер во время рабочей поездки посетил детскую санаторно-лесную школу и поручил формирование планов по его полной реконструкции (рисунок 14) [35]. На момент исследования ведутся работы по передаче лагеря в собственность Челябинской области, прошлый учредитель – администрация г. Озёрска. Фотографии санаторно-лесной школы в приложении 1.



Рисунок 14 – Заброшенный корпус в МБСЛШ им. Гагарина (фото: Ирины Габрадхмановой, ВКонакте) и губернатор Алексей Текслер во время рабочей поездки в МБСЛШ им. Гагарина (фото: ИА «Первое областное», 19.06.2024)

1.3.4 Аквакультура (рыбоводство) и рыболовство

Озеро Большие Касагалы относится к Нижнеобскому территориальному управлению Федерального агентства по рыболовству (Росрыболовство). С недавнего времени (7 апреля 2022 г. состоялся аукцион на право заключения договора пользования рыбоводным участком на оз. Большие Касагалы [47]), на водоёме осуществляется пастбищный вид товарной аквакультуры, то есть рыбоводство (рисунок 15). В садках выращиваются такие виды рыб, как: пелядь, щука, лещ, чебак и другие.



Рисунок 15 – Садки для выращивания рыбы в зимнее время (фото автора) и в летнее время на спутниковом снимке «Google Earth» [34]

Любительская рыбалка на озере осуществляется круглый год. В зимний сезон по первому льду на озеро Большие Касагалы съезжаются любители лещевой рыбалки. Самый эффективный лов лещей наблюдается ночью. На озере повсеместно обитают щуки [42].

1.4 Антропогенная нагрузка

Озеро Большие Касагалы испытывает антропогенную нагрузку преимущественно в летний период, что обусловлено его доступностью и привлекательностью для отдыха жителей близлежащих населённых пунктов, в первую очередь города Кыштыма.

Основной вклад вносят организованный (на базах отдыха) и неорганизованный (дикий) туризм. Вдоль береговой линии стихийно формируются многочисленные стоянки, большинство из которых занято в пик сезона. Это может приводить к ряду негативных последствий [40]:

- Загрязнение твёрдыми бытовыми отходами – оставленный отдыхающими мусор становится источником вторичного загрязнения почв и вод;
- Локальное химическое загрязнение – использование моторных лодок и парковка автомобилей у кромки воды создают риск поступления в акваторию нефтепродуктов (топливо, масла).
- Загрязнение поверхностно-активными веществами (ПАВ) и химическими реагентами – использование моющих средств в банях, стирка, применение хлорсодержащих дезинфекторов приводят к поступлению в акваторию токсичных компонентов и пенообразователей;
- Угроза редким видам – существует риск повреждения мест произрастания редких растений и грибов в результате вытаптывания и сбора.

Отдельным фактором антропогенной нагрузки выступает аквакультура. На озере осуществляется пастбищное рыбоводство в садках. Отходы жизнедеятельности рыб (экскременты, непотреблённые остатки кормов, продукты метаболизма) могут поступать непосредственно в водную толщу, обогащая её органическим веществом и биогенными элементами.

Потенциальную угрозу представляет и планируемая реконструкция детского оздоровительного лагеря имени Ю. А. Гагарина, расположенного на юго-западном берегу. Восстановление работы объекта (после аварии 2016 года и последующего простоя) неизбежно повлечёт за собой увеличение

антропогенной нагрузки. В период строительства возможно поступление в озеро взвешенных частиц, строительного мусора, горюче-смазочных материалов от строительной техники, а также нарушение почвенного покрова в прибрежной полосе. При последующей эксплуатации лагеря возникнет необходимость организации централизованного водоотведения и очистки хозяйственно-бытовых стоков; при неисправности или отсутствии очистных сооружений возрастёт риск бактериального и биогенного загрязнения акватории. Кроме того, рост транспортного потока (автобусы, легковые автомобили персонала и родителей) приведёт к дополнительному загрязнению атмосферы выхлопными газами, уплотнению почв и вероятности разлива топлива у береговой линии. Для минимизации этих рисков при реконструкции лагеря необходимо предусмотреть современные очистные сооружения, организованную парковку и экологическое просвещение персонала и отдыхающих.

В пределах водосборного бассейна озера Большие Касагалы отсутствуют пахотные земли, животноводческие фермы и иные объекты агропромышленного комплекса. Это означает, что поступление пестицидов, гербицидов, минеральных удобрений и навозных стоков в озеро маловероятно, что исключает одну из основных причин антропогенной эвтрофикации, характерную для многих водоёмов в агроландшафтах.

Ближайший крупный промышленный центр – город Кыштым – расположен в 8 км к северо-востоку от озера. Согласно розе ветров для данной территории, преобладающими являются ветры северо-западного, западного и юго-западного направлений. Таким образом, город Кыштым находится с подветренной стороны по отношению к озеру, что уменьшает прямое аэротехногенное воздействие со стороны городских промышленных объектов.

В то же время следует учитывать возможность дальнего атмосферного переноса загрязняющих веществ с территории г. Карабаш, расположенного примерно в 25–30 км к юго-западу от озера. Карабаш является одним из наиболее неблагополучных в экологическом отношении городов Российской

Федерации вследствие исторического функционирования медеплавильного производства. Несмотря на значительное расстояние, господствующие юго-западные ветры теоретически способствуют транзиту аэрозолей, содержащих соединения тяжёлых металлов (меди, цинка, свинца, кадмия) и диоксида серы, в направлении восточных предгорий, где расположено озеро Большие Касагалы. Однако вклад данного источника в общее загрязнение озера, учитывая расстояние и процессы рассеивания, по всей видимости, является незначительным по сравнению с локальными рекреационными и аквакультурными нагрузками [22]. Тем не менее, вопрос фонового атмосферного переноса требует изучения.

Отдельного рассмотрения заслуживает Тайгинский графитовый карьер, расположенный всего в 3 км к востоку от озера Большие Касагалы. Его деятельность сопровождается образованием значительных объёмов пыли, содержащей частицы графита и сопутствующих минералов, а также формированием фильтрационных вод с территории хвостохранилища «Уральская Сахара». Однако прямое воздействие карьера на экосистему озера оценивается как минимальное. Это обусловлено тем, что поверхностный и подземный сток с техногенно нарушенных территорий направлен преимущественно в противоположную от озера сторону и относится к водосборному бассейну озера Тайги и Большая Акуля [43].

Таким образом, современная нагрузка на водоём носит преимущественно локальный рекреационно-аквакультурный характер при отсутствии прямой промышленной и сельскохозяйственной эмиссии в водосборном бассейне.

Вывод по первой главе

В ходе анализа физико-географической характеристики, хозяйственного использования и антропогенной нагрузки на озеро Большие Касагалы установлено, что водоём расположен в южной части Кыштымского городского округа Челябинской области, в лесостепной зоне на границе с

горно-лесной зоной Южного Урала. Озеро входит в цепь восточных предгорий Южного Урала, характеризуется тектоническим происхождением котловины, сложено метаморфическими породами амфиболит-гнейс-сланцевой формации, а климат территории — умеренно-континентальный с преобладанием северо-западных, юго-западных и западных ветров.

Хозяйственное использование озера носит рекреационно-аквакультурный характер: на берегах функционируют базы отдыха «Казгалы» и «Зелёный лес», осуществляется пастбищное рыбоводство, а также ведётся любительское рыболовство. На юго-западном берегу расположена ныне не работающая санаторно-лесная школа имени Ю. А. Гагарина, восстановление которой планируется по поручению губернатора Челябинской области, что актуализирует оценку качества воды в аспекте экологической безопасности.

Современная антропогенная нагрузка на водоём имеет преимущественно локальный рекреационно-аквакультурный характер при отсутствии в водосборном бассейне пахотных земель, животноводческих ферм, крупных промышленных предприятий и поселений. Основными факторами воздействия выступают: неорганизованный туризм (замусоривание берегов, загрязнение нефтепродуктами и ПАВ), садковое рыбоводство (поступление органики и биогенов), а также потенциальные риски при будущей реконструкции лагеря. Прямого аэротехногенного влияния со стороны г. Кыштыма благодаря подветренному положению не ожидается, однако полностью исключать дальний атмосферный перенос с территории г. Карабаш не следует. Воздействие ближайшего Тайгинского графитового карьера на озеро оценивается как минимальное в связи с направлением стока в бассейн озера Тайги и Большая Акуля.

Таким образом, первая глава закладывает основу для последующей геоэкологической оценки, фиксируя отсутствие интенсивной промышленной и сельскохозяйственной эмиссии при доминировании рекреационных и аквакультурных источников воздействия, что позволяет рассматривать озеро Большие Касагалы как потенциально фоновый объект для региона.

ГЛАВА 2. МОРФОМЕТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ, ОСОБЕННОСТИ МОРФОЛОГИИ ОЗЕРНОЙ КОТЛОВИНЫ И ГИДРОЛОГИЧЕСКИЙ РЕЖИМ ОЗЕРА БОЛЬШИЕ КАСАГАЛЫ

2.1 Полевые работы и батиметрическая съёмка рельефа дна

Первый этап построения батиметрической карты – это проведение полевых работ на самом объекте, а именно - получение данных о глубине озера Большие Касагалы в точках промеров. С этой целью 29 апреля 2024 года на резиновой надувной весельной лодке мы спустились на воду.

Для определения географических координат точек использовался GPS Навигатор на мобильном устройстве под названием «GPS Compass». Для удобства использования был выбран формат отображения координат в виде градусов, минут и секунд, а не десятичных долей градуса, так как в этом случае можно проверить правильность определения приложением координат (предполагалось, что точность GPS навигатора в виде приложения в телефоне ниже, чем в виде отдельного устройства). Кроме того, благодаря этому можно было определить примерный интервал проведения промеров – это почти всегда 1” долготы или широты.

Для определения глубин точек использовался эхолот модели Lowrance Mark-5x (точность определения глубины 0,1 м) (рисунок 16). Принцип его действия основан на измерении времени прохождения ультразвукового импульса от излучателя до дна и обратно, после чего устройство автоматически вычисляет расстояние до дна по известной скорости звука в воде. Это достаточно точное устройство, помогающее отслеживать изменение глубины на протяжении всего движения.

Координаты и глубины фиксировались вручную в блокнот. На проведение данной работы ушло 4 часа. Количество промеров составило – 221. Журнал проведенной батиметрической съёмки представлен в Приложении 2. Построенная по результатам исследований карта глубин озера находится в Приложении 3.



Рисунок 16 – Полевая работа на оз. Большие Касагалы с использованием эхолота, 29.04.2024 и расположение точек промеров на карте

Второй этап - построение цифровой модели рельефа дна и визуализация полученной поверхности. Для этого использовалась настольная геоинформационная система (ГИС) для создания, редактирования, визуализации, анализа и публикации геопространственной информации – «QGIS Desktop» [51]. Для плодотворной работы с ней было изучено много интернет-источников, главным образом, видео-уроков на платформе «YouTube» [52, 53, 54].

В первую очередь, были занесены результаты промеров из блокнота в таблицу Excel. Программа QGIS перенесла координаты точек на карту (расположение точек промеров представлено на рисунке 16), а затем, с помощью нескольких произведенных нами алгоритмов, методом интерполирования нанесла изобаты. В конце была нанесена шкала глубин, масштаб, направление на север и проведены другие корректировочные действия, результатом которых стала батиметрическая карта озера Большие Касагалы.

Третий этап – построение профиля озера. Для этого в QGIS были проведены две линии поперек площади озера, совпадающие с большой (А-Б) и малой (В-Г) осью водоёма (рисунок 17), по которым программа построила профиль дна (рисунки 18 и 19). Исходные графики были отредактированы в

программе «Inkscape 1.3.2» [50] – редакторе векторной графики, способном импортировать и отображать растровые изображения.



Рисунок 17 – Большая (А-Б) и малая (В-Г) оси оз. Большие Касагалы

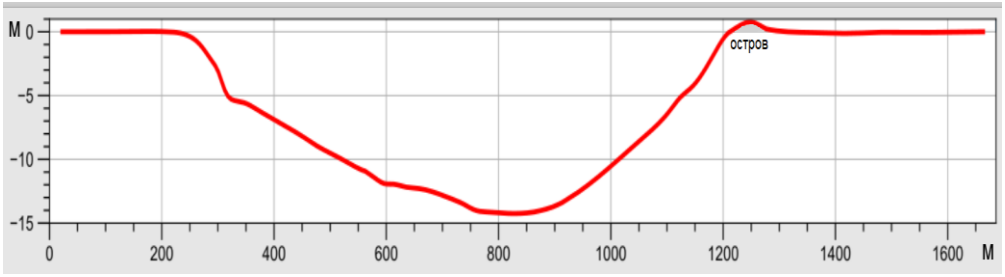


Рисунок 18 – Профиль дна по большой оси оз. Большие Касагалы (А-Б)

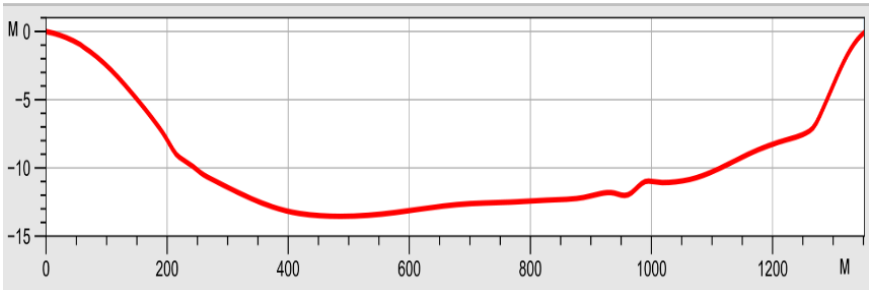


Рисунок 19 – Профиль дна по малой оси оз. Большие Касагалы (В-Г)

2.2 Основные и производные морфометрические характеристики и морфологические коэффициенты

Площадь озера, $S_{оз}$, км²

Существует много способов измерения площади озера. Один из них – определение площади планиметром или палеткой – прозрачной пленкой с нанесенными квадратами со стороной 0,5 или 1 см. Подсчитывается число целых квадратов и их частей (число неполных квадратов делится на 2 и

суммируется с числом целых квадратов), а результат умножается на масштаб батиметрической карты.

Однако нами был выбран более современный и удобный вариант, а именно – определение площади озера и зеркала озера с помощью многофункциональной компьютерной программы «Google Earth» [34]. Метод работы прост – с помощью инструмента «линейка», а конкретно «многоугольник», который можно выбрать в левом верхнем углу интерфейса, можно очертить береговую линию озера, а программа самостоятельно подсчитает площадь и периметр объекта (рисунок 20).

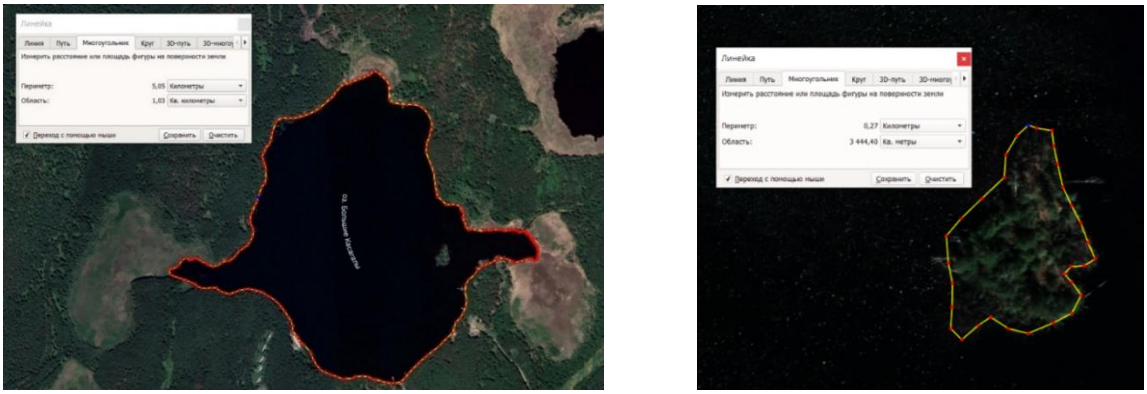


Рисунок 20 – Определение площади оз. Большие Касагалы и его острова

Таким образом, нами была определена:

Площадь озера Большие Касагалы, $S_{оз}$= 1,03км²

Площадь острова, $S_{ост}$= 0,003444км²

Площадь мелководных заросших участков: из площади озера с заросшими участками (1,42 км²) вычли площадь озера без них, $S_{зарос.уч}$= 0,39км²

Если сравнить получившиеся данные с информацией о площади водоема из интернет-источников (по ним $S_{оз}$= 1,05км²), то окажется, что они почти совпадают.

Площадь водного зеркала, Sз, км²

В случае отсутствия островов, площадь зеркала совпадает с площадью озера. В ином случае, для её определения из общей площади озера вычитается суммарная площадь его островов.

Таким образом, площадь водного зеркала озера Большие Касагалы:

$$S_з = 1{,}03 - 0{,}003444 = 1{,}026556 \text{ км}^2$$

По данному показателю водоём относится к категории малых озёр ($S_з$<1 км^2) в соответствии с классификацией, представленной в таблице Приложения 3.

Длина береговой линии, l, км

Длина береговой линии может определяться по топографической или батиметрической карте с помощью курвиметра или циркуля-измерителя (раствор ножек циркуля - 1- 2 мм).

Либо же, как было описано выше, длину береговой линии можно определить с помощью программы «Google Earth Pro». Она будет совпадать с периметром озера.

Длина береговой линии озера Большие Касагалы, $l_{оз}$=5,05 км

Длина береговой линии острова, $l_{ост}$= 0,27 км

Общая длина береговой линии, $l_{общ}$= $5{,}05 + 0{,}27 = 5{,}32$ км

Длина и ширина озера, км

Определение длины и ширины озёр - не имеет большого научного смысла, однако в целях отражения наиболее полной информации о выбранном водном объекте, они были определены.

Понятия длина и ширина озера схожи с дополнительными морфометрическими параметрами, описанными С. Л. Смирненко в 1976 году – большой и малой осью озера. По С. Л. Смирненко:

Большая ось — прямая линия, соединяющая наиболее удаленные точки берегов. При её определении допускается пересечение береговой линии.

Малая ось – проводится в месте наибольшей ширины озера перпендикулярно к большой оси.

Эти показатели были определены с помощью инструмента «линейка – путь» в «Google Earth» [34], оказалось, что:

Большая ось или длина озера Большие Касагалы, А = 1,64 км (С западного по восточный берег).

Малая ось или ширина озера Большие Касагалы, В = 1,35 км (С северного по южный берег).

Такое соотношение величин математически доказывает округлую форму водоёма.

Глубина максимальная, Нмакс, м

Максимальная глубина определяется по результатам промеров глубин. Самая глубокая точка на озере Большие Касагалы оказалась под номером 182, с географическими координатами 55°37'59"с.ш. и 60°26'53"в.д..

$Н_{макс}$ =14,7 м

Таким образом, по показателю максимальной глубины озеро Большие Касагалы соответствует категории глубоких озер ($Н_{макс}$ =10-20 м), в соответствии с классификацией, представленной в таблице Приложения 3.

Глубина средняя Нср, м

Средняя глубина рассчитывается по формуле (1):

$$Н_{ср} = V/S_з$$

Таким образом, средняя глубина озера Большие Касагалы:

$$Н_{ср} = \frac{6,952}{1,0265} = 6,773 \approx 7м$$

Площадь водосбора, F, км^2

Для определения площади водосбора озера, в программе «QGIS» на карте близлежащих к водоёму территорий цветами были выделены формы рельефа. Водораздельные линии проходят по наивысшим точкам водосбора и замыкаются в многоугольник, площадь которого была подсчитана инструментом «Измерение» (рисунок 21). Из полученной площади необходимо вычесть площадь акватории:

F= 4,370 – 1,03 = 3,34 км^2

Таким образом, сравнивая площадь водного зеркала и площадь водосбора озера Большие Касагалы, можно сделать вывод о том, что водосборная площадь озера очень мала, а следовательно, поверхностный приток водоёма будет незначительным.

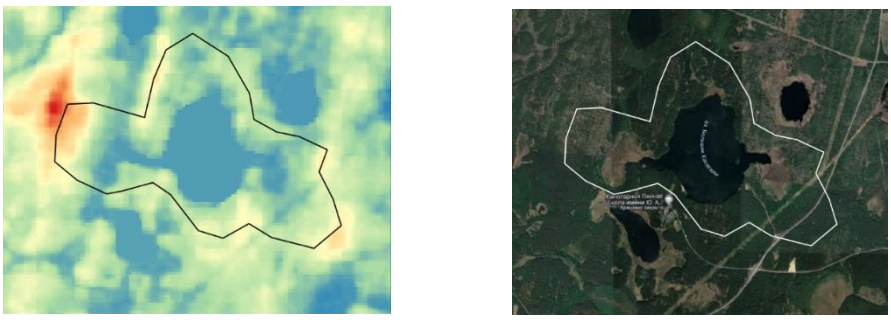


Рисунок 21 – Граница водосбора на карте рельефа «QGIS» и на спутниковом снимке «Google Earth»

Объём водной массы, V, млн. м^3

Наиболее широкое распространение в определении объема воды в озере получила формула расчета объема усеченного конуса [23]. По батиметрической карте измеряются площади, ограниченные изобатами - S1, S2, S3. Объем водной массы озера определяется как сумма объемов воды, находящихся между плоскостями изобат. Вычисляется по следующей формуле (2):

$$V_{0-1} = h/3(S0 + S1 + \sqrt{S0 \times S1}$$

$$V_{1-2} = h/3(S1 + S2 + \sqrt{S1 \times S2}$$

$$V_{оз} = V_{0-1} + V_{1-2} + \cdots + V_n$$

h-сечение изобат, м;

S - площадь зеркала, ограниченная конкретной изобатой, км^2;

V, V_n, - объем между плоскостями изобат, между плоскостью придонной изобаты и дном. Определение объёма воды между плоскостями изобат представлено в таблице 1.

Таблица 1 – Определение объёма воды между плоскостями изобат.

Изобаты	S0, 0-1	S1, 1-2	S2, 2-3	S3, 3-4	S4, 4-5	S5, 5-6	S6, 6-7
Площади, ограниченные изобатами, S, км^2	1,039	0,843	0,778	0,729	0,682	0,637	0,587
Объем между плоскостями изобат, V, млн. м^3	0,939	0,810	0,753	0,705	0,659	0,612	0,560

Продолжение таблицы 1

S7, 7-8	S8, 8-9	S9, 9-10	S10, 10-11	S11, 11-12	S12, 12-13	S13, 13-14
0,533	0,476	0,413	0,348	0,272	0,117	0,041
0,504	0,444	0,380	0,309	0,189	0,075	0,013

Таким образом объём водной массы озера Большие Касагалы:

$$V_{оз} = 0{,}939 + 0{,}810 + 0{,}753 + 0{,}705 + 0{,}659 + 0{,}612 + 0{,}560 + 0{,}504 + 0{,}444 + 0{,}380 + 0{,}309 + 0{,}189 + 0{,}075 + 0{,}013 = 6{,}952 \text{ млн. м}^3$$

Основная масса воды (более 50% объёма) о сосредоточена в слое от поверхности до глубины 7–8 м.

График кривых зависимости объёмов и площадей от глубины

Кривая площадей показывает, какая площадь поверхности озера соответствует данной глубине. Кривая объемов показывает, какой объем воды находится ниже данного уровня зеркала. По графику легко установить изменение объема и площади зеркала при изменении уровня воды в озере (рисунок 22) [23].

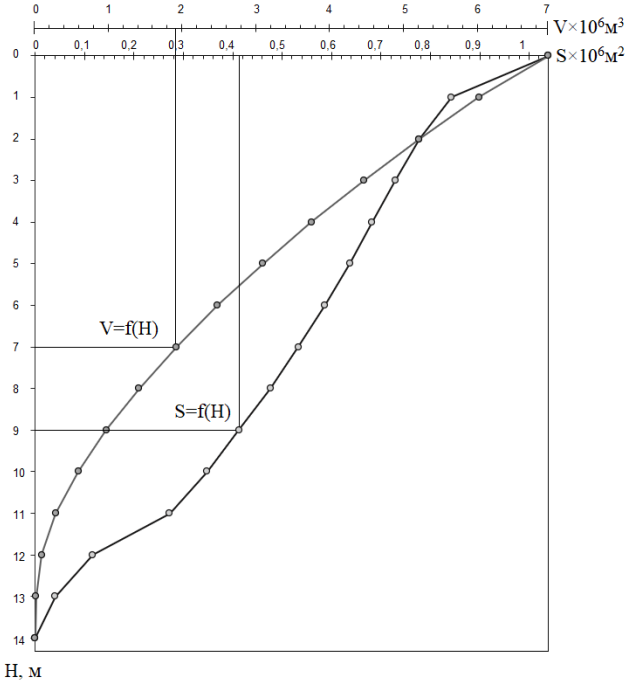


Рисунок 22 – График зависимости объёмов и площадей от глубины озера Большие Касагалы

Удельный водосбор, f, км²

Определение площади водосбора позволяет более точно изучить некоторые элементы водного баланса, величину стока с территории озерного бассейна. Влияние водосбора на озеро как морфометрическая характеристика чаще всего записывается в виде удельного водосбора [23], который вычисляется по формуле (3):

$$f = F/S_{оз}$$

Таким образом, удельный водосбор озера Большие Касагалы:

$f = \frac{3,340}{1,03} = 3,24$ км²

Коэффициент развития (изрезанности) береговой линии

$$К_p = l\ /\ (2\sqrt{S_{оз} \cdot \pi})$$ (по С.Д. Муравейскому, 1960) (4)

l - длина береговой линии, км;

$S_{оз}$ - площадь озера, км²;

π= 3,14.

Коэффициент показывает, во сколько раз длина береговой линии озера больше длины окружности равновеликого по площади круга. Чем больше Кр. тем выше вероятность тектонического или ледникового происхождения котловины.

$k_P = 5,32/2\sqrt{1,03 \times 3,14} = 1,479$

Таким образом, у озера Большие Касагалы слабоизрезанная береговая линия.

Коэффициент ёмкости, Кём

Коэффициент показывает форму котловины озера.

$$К_{ём} = Н_{ср}/Н_{макс}$$ (по Г.Ю. Верещагину 1930) (5)

Таким образом, коэффициент ёмкости озера Большие Касагалы:

$К_{ём} = \frac{6,773}{14,7} = 0,46$

В соответствии с классификацией, представленной в таблице Приложения 3 это значение соответствует котловине параболического типа ($К_{ём}$=0,4-0,6), чаще всего встречающейся у тектонических озёр.

Коэффициент глубинности, Кгл

Коэффициент косвенно указывает на условия перемешивания в озере водных масс. Чем больше значение $К_{гл}$, тем большие физико-химические различия будут иметь поверхностные и придонные водные массы.

$$К_{гл} = Н_{ср}/\sqrt[3]{S_{оз}} \text{ (по П.В. Иванову, 1948) (6)}$$

$$К_{гл} = \frac{6{,}773}{\sqrt[3]{1{,}03}} = 6{,}706$$

Таким образом, коэффициент глубинности озера Большие Касагалы соответствует значениям тектонических озер ($К_{гл}$=5-10).

Коэффициент открытости, Кот

Коэффициент открытости указывает на степень ветрового перемешивания водных масс. Чем выше $К_{от}$, тем сильнее перемешивание.

$$К_{от} = S_{оз}/Н_{ср} \text{ (по И.Н. Сорокину, 1968) (7)}$$

$$К_{от} = \frac{1{,}03}{6{,}773} = 0{,}152$$

Таким образом, для озера Большие Касагалы не характерно сильное перемешивание водных масс.

Коэффициент островности или удельная площадь островов озера, I

$$I = \sum S_{ост}/S_{оз}, \text{ (по Б.Б. Богословскому, С.Д. Муравейскому, 1955) (8)}$$

$$I = \frac{0{,}003444}{1{,}03} = 0{,}00334$$

Таким образом, удельная площадь островов в озере Большие Касагалы очень низка.

2.3 Гидрологический режим озера

Уровень воды

За период наблюдений с 29 апреля 2024 по 24 августа 2025 года в озере Большие Касагалы отмечен подъём уровня воды приблизительно на 0,4 метра. Основной причиной данной положительной динамики является специфика гидрологического цикла, характерная для наступивших с 2024 года многоводных годов, для которых типично большое количество осадков и соответственно притока воды в озеро.

Водный баланс и источники питания

Озеро Большие Касагалы относится к водоёмам со смешанным типом питания с преобладанием атмосферной составляющей.

Низкий удельный водосбор указывает на то, что поверхностный сток с собственной водосборной площади не может полностью сформировать водную массу озера. Следовательно, значительная доля приходной части баланса приходится на атмосферные осадки, выпадающие непосредственно на зеркало озера, и скорее всего на подземный приток, существование которого обусловлено тектонической трещиноватостью коренных пород. Основной приход воды происходит в период снеготаяния (весеннее половодье). Дождевое питание играет второстепенную роль.

Расход воды осуществляется преимущественно за счёт испарения и, в меньшей степени, поверхностного оттока через протоку в озера-спутники Верхние и Малые Касагалы.

Ледовый режим

Озеро Большие Касагалы, как и большинство озер региона, покрывается льдом в конце октября — начале ноября, а вскрывается в конце апреля — начале мая. Продолжительность ледостава составляет около 160–170 дней.

Термический режим и стратификация

В летний период в озере Большие Касагалы формируется устойчивая прямая термическая стратификация с чётко выраженными эпилимнионом, металимнионом (слоем температурного скачка) и холодным гиполимнионом, что обусловлено значительной глубиной котловины и слабым ветровым перемешиванием.

Вывод по второй главе

По результатам проведённых морфометрических исследований (полевых работ с использованием эхолота, батиметрической съёмки 221 точки и последующих математических вычислений в ГИС «QGIS») была построена батиметрическая карта озера Большие Касагалы (с которой можно ознакомиться в Приложении 3), а также профили дна по большой и малой осям озера и график зависимости объёмов и площадей от глубины. Основные и производные морфометрические параметры озера и морфологии его котловины систематизированы в сводной таблице в Приложении 4.

Установлено, что котловина озера Большие Касагалы по большинству параметров относится к тектоническому типу. Это подтверждается приуроченностью озера к Восточно-Предгорному лимнологическому району Среднего и Южного Урала (согласно М. А. Андреевой), а также высокими значениями коэффициента глубинности ($К_{гл}$=6,706) и параболической формой котловины ($К_{ём}$=0,46).

Для озера характерны значительные глубины: средняя глубина составляет 6,8 м (около 7 м), максимальная зафиксирована на отметке 14,7 м. Отчётливо выражено резкое увеличение глубин сразу от береговой линии, что типично для тектонических озёр с крутыми склонами.

Низкий коэффициент открытости ($К_{от}$=0,152) свидетельствует о том, что сильного перемешивания водных масс на озере наблюдаться не будет, что в совокупности с глубиной котловины создаёт предпосылки для устойчивой летней стратификации.

Озеро имеет округлую форму (длина 1,64 км, ширина 1,35 км) со слабоизрезанной береговой линией ($К_р$=1,479). С запада и востока присутствуют вытянутые мелководные заросшие участки, которые необходимо учитывать при промерах и интерпретации данных. По площади водного зеркала (1,0266 км²) Большие Касагалы относится к категории малых озёр. Площадь собственного водосбора невелика (F=3,34), удельный водосбор

(f=3,24) — низкий, что указывает на незначительную роль поверхностного стока и преобладание атмосферного и подземного питания.

Уровень воды в озере за период наблюдений 2024–2025 гг. повысился примерно на 0,4 м в связи с многоводной фазой гидрологического цикла, однако в целом для данного типа котловин характерна слабая межгодовая изменчивость уровня.

Таким образом, морфометрические параметры озера Большие Касагалы не только описывают его форму и размеры, но и непосредственно обусловливают гидрологический режим (тип питания, стратификацию, интенсивность перемешивания), что является основой для последующей геоэкологической оценки качества вод и состояния экосистемы в целом

ГЛАВА 3. ГИДРОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА И ГЕОЭКОЛОГОЧЕСКАЯ ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ВОД ОЗЕРА БОЛЬШИЕ КАСАГАЛЫ

3.1 Отбор проб и методы анализа

Отбор пробы воды для оценки основных гидрохимических показателей качества воды в летний период был проведён 24 августа 2025 года в 13:00 (местное время) в центральной части озера Большие Касагалы (координаты 55°37'53.12" с.ш., 60°27'1.16" в.д. – рисунок 23).



Рисунок 23 – Точка отбора проб воды, 24.08.2025

Для этого использовалась чистая пластиковая бутылка объёмом 1,5 литра из-под питьевой воды без предварительной химической обработки, которая трижды ополоснута водой из озера непосредственно перед забором пробы с борта лодки с поверхностного горизонта (0–20 см) путём погружения горлышком вниз и последующего наполнения. После отбора проба была плотно закрыта, помещена в тёмный пакет для исключения воздействия света и хранилась в бытовом холодильнике при температуре +4…+6°С, а в лабораторию доставлена на следующий день, в связи с чем, учитывая отсутствие консервации, анализ был ориентирован на показатели, наименее подверженные изменениям при кратковременном хранении [10].

Количественный химический анализ выполнен в аккредитованной испытательной лаборатории с использованием аттестованных методик и поверенного оборудования.

В работе использовались следующие методы: фотометрический, титриметрический, потенциометрический, гравиметрический, метод капиллярного электрофореза или ионной хроматографии, метод атомно-абсорбционной спектрометрии.

Гидрохимические показатели представляют собой комплекс характеристик, отражающих химический состав природных вод и определяющих их качество, происхождение и возможность использования.

Вода озера была рассмотрена по 4 основным группам веществ: общие физико-химические показатели, основные ионы (макрокомпоненты) и минерализация, биогенные элементы, микроэлементы (тяжелые металлы).

3.2 Гидрохимические показатели

3.2.1 Общие физико-химические показатели

Общие физико-химические показатели формируют «паспорт» водной массы, характеризуя её фундаментальные свойства: реакцию среды, цветность, содержание взвесей и органического вещества. Эти параметры определяют пригодность воды для гидробионтов, влияют на миграционную способность металлов и служат индикаторами как природных процессов (выветривание, гумификация), так и антропогенного воздействия [27]. Результаты анализа общих физико-химических показателей воды озера Большие Касагалы представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Общие физико-химические показатели

Определяемое вещество	ПДК для рыбохозяйственных водоемов	Измеренная массовая концентрация вещества
pH	6,5-8,5 pH	8,40 pH
Цветность	20º	12º
Взвешенные вещества	10 мг/дм3	3,8 мг/дм3
Перманганатная окисляемость	7,0 мгО/дм³	6,0 мгО/дм³
ХПК	15-30 мгО/дм³	24,2 мгО/дм³

Кислотность (pH): Измеренное значение pH воды в озере Большие Касагалы составило 8,40. Это соответствует слабощелочной реакции, что находится в пределах норматива для рыбохозяйственных водоёмов (6,5–8,5). Слабощелочная среда является благоприятной для большинства гидробионтов, включая рыб и беспозвоночных, и характерна для озер восточных предгорий Южного Урала, питание которых осуществляется за счёт атмосферных осадков и подземных вод, обогащённых гидрокарбонатами. Отклонений в сторону закисления, которые могли бы свидетельствовать о техногенном воздействии (например, кислотных дождях или окислении сульфидов), не зафиксировано.

Цветность: величина цветности составила 12°, что ниже предельно допустимой концентрации (ПДК) для рыбохозяйственных водоёмов (20°). Это указывает на умеренное содержание гуминовых веществ и сравнительно низкий уровень органического загрязнения природного происхождения. Низкая цветность косвенно подтверждает отсутствие значительного заболачивания водосбора и поступления болотных вод, которые обычно имеют высокую цветность (50–100° и более).

Взвешенные вещества: концентрация взвешенных веществ равна 3,8 мг/дм³ при ПДК 10 мг/дм³. Низкое содержание взвесей характеризует воду как достаточно прозрачную, с незначительным влиянием эрозионного сноса. Это согласуется с отсутствием крупных водотоков, впадающих в озеро, и хорошей задернованностью берегов, препятствующей смыву почвенных частиц.

Перманганатная окисляемость: перманганатная окисляемость составила 6,0 мгО/дм³, что ниже рыбохозяйственного норматива (7,0 мгО/дм³). Этот показатель характеризует содержание легкоокисляемых органических веществ, в первую очередь гумусовой природы. Полученное значение свидетельствует об умеренном содержании таких веществ и отсутствии свежего бытового или сельскохозяйственного загрязнения, которое обычно проявляется в росте ПО.

Химическое потребление кислорода (ХПК): ХПК, характеризующее общее количество органических веществ (как легко-, так и трудноокисляемых), находится на уровне 24,2 мгО/дм³. Данное значение попадает в установленный для рыбохозяйственных водоёмов интервал (15–30 мгО/дм³), указывая на средний уровень общего органического загрязнения. Для сравнения: в олиготрофных озёрах ХПК обычно не превышает 20 мгО/дм³, а в эвтрофных может достигать 50–100 мгО/дм³.

3.2.2 Основные ионы и минерализация

Содержание и соотношение основных ионов в природных водах являются важными интегральными показателями, отражающими как естественные географические и геохимические условия формирования водосборного бассейна (включая климатическую зональность, состав почв и подстилающих пород), так и возможное антропогенное влияние

Ключевыми ионами, определяющими химический тип воды, выступают анионы (гидрокарбонатный HCO_3^-, карбонатный CO_3^{2-}, сульфатный SO_4^{2-}, хлоридный Cl^-) и катионы (кальций Ca^{2+}, магний Mg^{2+}, натрий Na^+, калий K^+) [23].

Для озера Большие Касагалы, на основе данных количественного химического анализа, выполненного 24 августа 2025 года, был проведен расчет ионного состава (таблица 3), графическое изображение которого представлено на рисунке 24.

Таблица 3 - Показатели основных ионов

	Анионы				Катионы			Общая минерализация
Соединение	HCO_3^-	CO_3^{2-}	SO_4^{2-}	Cl^-	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^++K^+	
Концентрация в мг/дм^3	123,8	0,04	44	6,4	26,1	10,9	24,2	235,44
Концентрация в мг-экв/л	2,03	0,0013	0,92	0,18	1,3	0,9	0,39	5,72

Продолжение таблицы 3

Содержание в %	35,5	0,1	16,1	3,1	22,7	15,7	6,8	100

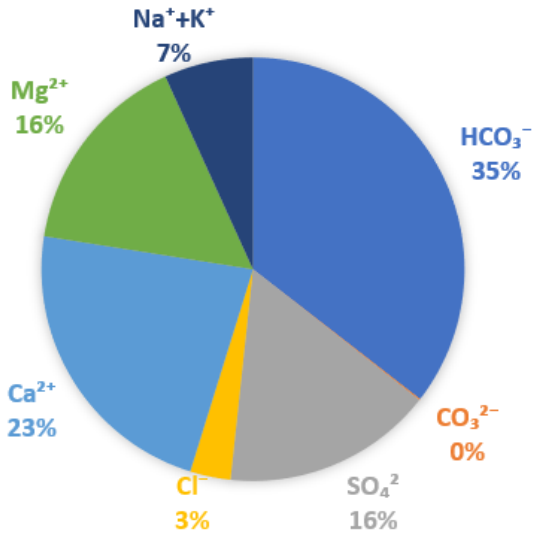


Рисунок 24 – Соотношение основных ионов оз. Большие Касагалы, (мг-экв/л)

Классификация природных вод (по О.А. Алекину 1970, приложение 9) [17] основана на соотношении главных ионов и включает три последовательных уровня деления: класс (по преобладающему аниону), группа (по преобладающему катиону) и тип (по соотношению ионов).

Определение класса: преобладающим анионом является гидрокарбонатный ион (HCO_3^-), содержание которого в пересчете на эквиваленты составляет 2,03 мг-экв/л (35,5% от суммы анионов), следовательно класс гидрокарбонатный (С).

Определение группы: среди катионов доминирует ион кальция (Ca^{2+}) – 1,3 мг-экв/л (22,7%), следовательно группа кальция (Са).

Определение типа: по соотношению основных ионов водоём относится ко - II типу – сульфатно-натриевому:

$$HCO3 + CO3 < Ca + Mg < HCO3 + CO3 + SO4$$

$$2.0313 < 2.20 < 2.9513$$

Таким образом, по классификации О. А. Алекина вода озера Большие Касагалы относится к гидрокарбонатному классу, группе кальция, II-го сульфатно-натриевого типа.

Суммарное содержание главных ионов, или общая минерализация, составила 235,44 мг/дм³ (0,235 г/дм³). Согласно наиболее распространенной классификации (приложение 9), воды с минерализацией в диапазоне 0,2–0,5 г/дм³ относятся к категории нормально пресных [23]. Полученное значение свидетельствует о невысокой естественной минерализации, что характерно для водоемов лесной зоны с преимущественно атмосферным и грунтовым питанием, слабым поверхностным стоком и незначительным влиянием техногенных источников солей.

Сумма ионов кальция и магния, определяющая общую жесткость воды, равна 2,2 мг-экв/л, что соответствует мягкой воде (в градусах жесткости – 6,3°Ж) (приложение 9). Такая низкая жесткость согласуется с геологическим строением водосбора, сложенного преимущественно метаморфическими и магматическими породами бедными легкорастворимыми карбонатами.

Таким образом, ионно-солевой состав воды озера Большие Касагалы отражает его природные условия: расположение в лесной зоне на кристаллическом фундаменте, умеренно-континентальный климат и преимущественно атмосферное питание. Полученные значения минерализации и жесткости соответствуют фоновым показателям для слабоминерализованных пресных озер Уральского региона и не свидетельствуют о существенном техногенном засолении водной массы.

3.2.3 Биогенное вещество

Биогенные элементы, прежде всего соединения азота и фосфора, являются ключевыми факторами, лимитирующими продуктивность водных экосистем [23]. Их концентрации определяют уровень трофности водоёма. Мониторинг биогенных веществ имеет особое значение для оценки экологического состояния и антропогенной нагрузки, так как их источниками,

помимо естественного почвенного выноса, часто выступают хозяйственно-бытовые стоки, сельскохозяйственные стоки с полей, объекты аквакультуры и рекреационная деятельность.

В воде озера Большие Касагалы были определены основные формы биогенных элементов: аммонийный азот (NH_4^+), нитритный азот (NO_2^-), нитратный азот (NO_3^-) и общий фосфор (Робщ). Полученные результаты сопоставлены с нормативами для водоёмов рыбохозяйственного значения (таблица 4).

Таблица 4 - Показатели биогенного вещества

Определяемое вещество	ПДК для рыбохозяйственных водоемов, мг/дм3	Измеренная массовая концентрация вещества, мг/дм3
Азот аммония (NH_4^+)	0,4	*0,41*
Азот нитритов (NO_2^-)	0,02	*0,047*
Азот нитратов (NO_3^-)	9	0,315
Фосфор общий (Робщ)	0,15	0,039

Азот аммонийный (NH_4^+): концентрация аммонийного азота составила 0,41 мг/дм³, что незначительно (в 1,025 раза) превышает норматив (0,4 мг/дм³). Учитывая отсутствие в непосредственной близости от озера сельскохозяйственных угодий и постоянных населённых пунктов, поступление свежих хозяйственно-бытовых стоков маловероятно.

Азот нитритный (NO_2^-): зафиксировано наиболее существенное превышение норматива – концентрация нитритного азота (0,047 мг/дм³) выше ПДК (0,02 мг/дм³) в 2,35 раза. Нитриты являются промежуточным, неустойчивым и токсичным продуктом процессов нитрификации (окисления аммония до нитратов) и денитрификации (восстановления нитратов). В равновесной водной системе нитриты обычно не накапливаются, поскольку быстро окисляются до нитратов. Поэтому их присутствие в столь заметной концентрации свидетельствует о свежем поступлении в водоём органического вещества. Источником может быть как природная органика (сток с водосбора после дождя), так и антропогенные источники: садковое рыбоводство, рекреационные объекты (базы отдыха «Казгалы» и «Зелёный лес»), а также

возможные последствия проблем с канализацией на территории бывшей санаторно-лесной школы имени Ю. А. Гагарина, закрытой после аварии на канализационной сети. Для выявления конкретной причины требуется проведение дополнительных исследований.

Азот нитратный (NO_3^-) и фосфор общий (Робщ): Содержание нитратов (0.315 мг/дм³) и общего фосфора (0.039 мг/дм³) существенно ниже установленных рыбохозяйственных нормативов (9.0 и 0.15 мг/дм³ соответственно). Низкая концентрация фосфора, часто являющегося лимитирующим элементом для развития фитопланктона в пресных водах, является положительным фактором, сдерживающим процесс эвтрофикации. Относительно высокое соотношение минерального азота к фосфору также указывает на фосфорное лимитирование продуктивности экосистемы.

Гидрохимические показатели биогенных веществ озера Большие Касагалы отражают состояние мезотрофного водоема с признаками внутренней нагрузки органическим веществом. Выявленные превышения по аммонийному и нитритному азоту требуют внимания при планировании рыбохозяйственной деятельности.

3.2.4 Микроэлементы (тяжёлые металлы)

Микроэлементы – химические элементы, присутствующие в природных водах в следовых количествах (обычно менее 1 мг/л), к которым преимущественно относятся металлы и некоторые металлоиды. Они играют незаменимую биохимическую и физиологическую роль, являясь кофакторами ферментов, компонентами витаминов и гормонов. Однако их действие имеет двойственный характер: в дефиците или при избытке они становятся токсичными. Многие микроэлементы обладают высокой кумулятивной способностью, накапливаясь в тканях гидробионтов и передаваясь по пищевым цепям, что представляет долгосрочный экологический риск. Поэтому их постоянный мониторинг является одной из ключевых задач современного экологического контроля.

Для оценки уровня содержания и экологической безопасности вод озера Большие Касагалы был проведён анализ ряда приоритетных микроэлементов: железа (Fe), меди (Cu), цинка (Zn), марганца (Mn), свинца (Pb), кадмия (Cd) и никеля (Ni).

Таблица 5 - Показатели основных микроэлементов

Определяемое вещество	ПДК для рыбохозяйственных водоемов, мг/дм^3	Измеренная массовая концентрация вещества, мг/дм^3
Железо общее (Fe^{2+}, Fe^{3+})	0,1	0,019
Медь (Cu^{2+})	0,001	*0,0021*
Цинк (Zn^{2+})	0,01	*0,0155*
Марганец (Mn^{2+})	0,01	*0,013*
Свинец (Pb^{2+})	0,006	0,001
Кадмий (Cd^{2+})	0,005	0
Никель (Ni^{2+})	0,01	0,001

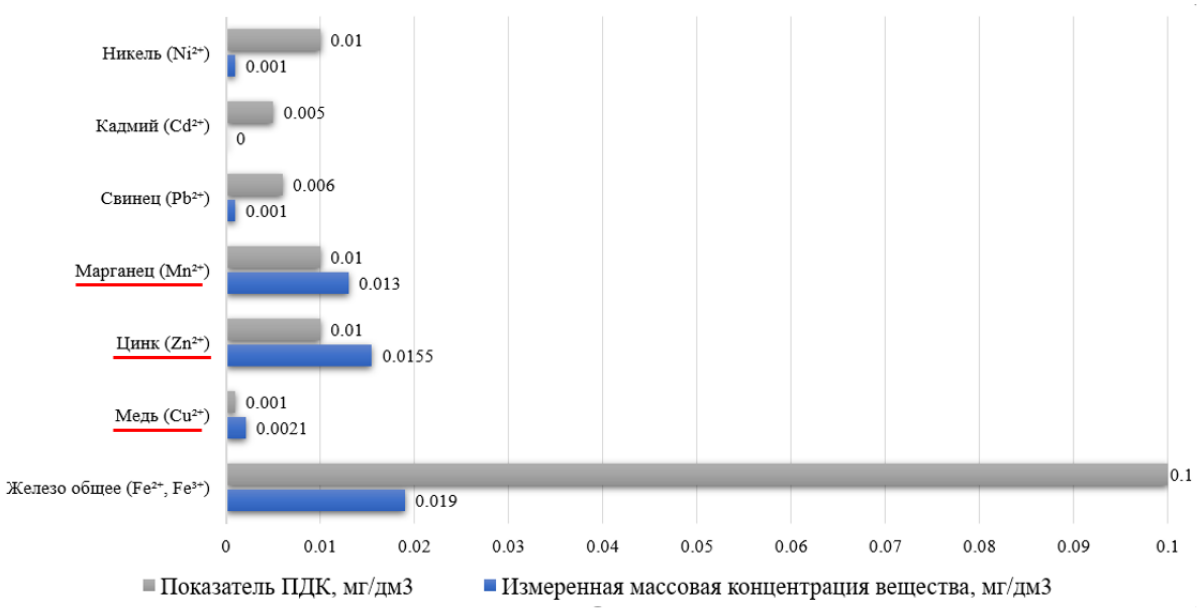


Рисунок 25 – Сравнение микроэлементов с ПДК (для рыбохозяйственных водоёмов)

Результаты анализа, представленные в таблице 5 и проиллюстрированные на рисунке 25 демонстрируют следующую картину:

Железо общее (0,019 мг/дм³) находится значительно ниже установленного норматива (0,1 мг/дм³). Такая низкая концентрация

характерна для хорошо аэрированных водоёмов и свидетельствует об отсутствии активных процессов восстановления и выноса железа из заболоченных участков водосбора или антропогенных источников.

Медь (0,0021 мг/дм³) превышает рыбохозяйственный ПДК (0,001 мг/дм³) в 2,1 раза. Это наиболее существенное выявленное превышение среди микроэлементов. Источниками меди в природных водах могут являться сульфидные минералы в составе коренных пород.

Цинк (0,0155 мг/дм³) и *марганец* (0,013 мг/дм³) также демонстрируют незначительное превышение нормативов (0,01 мг/дм³ для каждого элемента) в 1,55 и 1,3 раза соответственно. Подобные концентрации часто встречаются в водах, дренирующих кристаллические массивы, и могут быть связаны с естественным выщелачиванием из пород.

Концентрации *свинца* (0,001 мг/дм³) и *никеля* (0,001 мг/дм³) находятся в пределах рыбохозяйственных ПДК (0,006 мг/дм³ и 0,01 мг/дм³ соответственно). *Кадмий* в анализируемой пробе обнаружен не был (концентрация ниже предела обнаружения методики), что указывает на отсутствие значимого загрязнения этим высокотоксичным элементом.

Таким образом, гидрохимический анализ микроэлементного состава воды озера Большие Касагалы выявил фоновый характер большинства показателей. Незначительные превышения ПДК по меди, цинку и марганцу, наиболее вероятно, имеют природное (геохимическое) происхождение, обусловленное составом пород водосборного бассейна, и не свидетельствуют о текущем интенсивном антропогенном загрязнении. Отсутствие или крайне низкие концентрации таких типичных техногенных маркеров, как свинец, кадмий и никель, подтверждают данный вывод.

По содержанию микроэлементов вода озера соответствует критериям, предъявляемым к рыбохозяйственным водоёмам, за исключением фоново-повышенного содержания меди, цинка и марганца требующих учёта при оценке токсикологической нагрузки на гидробионтов.

В 2020 году студенткой ЮУрГГПУ Запиваловой Е. Э. под руководством Дерягина В. В. в рамках выпускной работы «Экологическое значение высшей водной растительности озер Челябинской области» [22] проводились исследования концентраций тяжелых металлов в некоторых озерах Карабашской группы, в число которых вошло и озеро Большие Касагалы. По итогам анализа проб концентрация тяжелых металлов (меди, цинка и свинца) в донных отложениях и в корневище тростника оз. Большие Касагалы оказалась наименьшей из всех исследуемых озер, что также подтверждает низкий уровень загрязнения водоёма микроэлементами (металлами). Данные исследования представлены в Таблице 6 и рисунке 26.

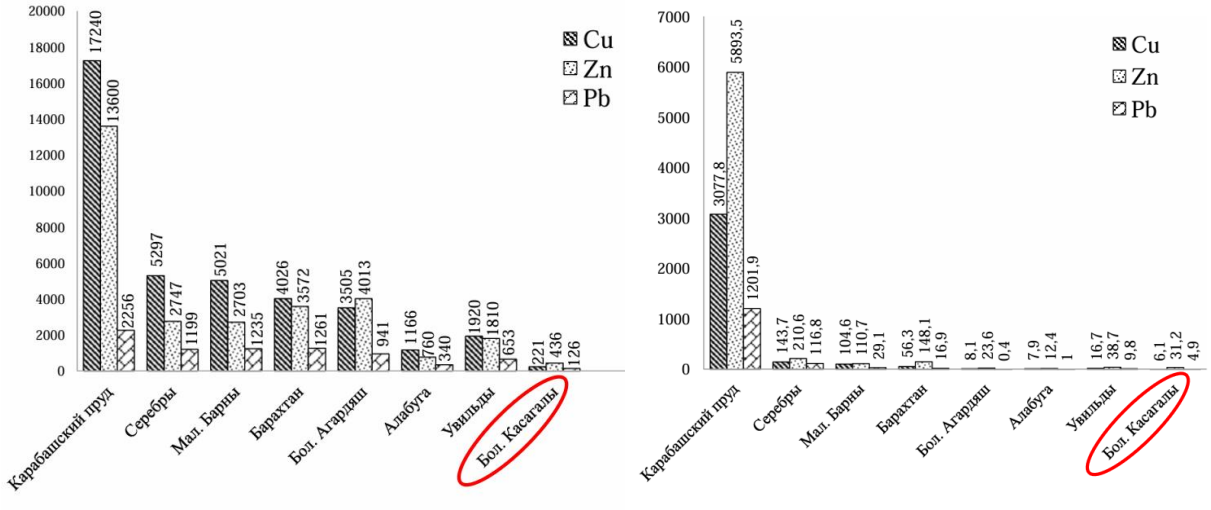


Рисунок 26 – Концентрация тяжелых металлов в некоторых озерах Карабашской группы в донных отложениях и корневищах тростника соответственно (мг/кг)

Таблица 6 – Концентрация тяжелых металлов в донных отложениях и корневищах тростника озера Большие Касагалы (мг/кг)

Определяемое вещество	Концентрация тяжелых металлов, мг/кг	
	в донных отложениях	В корневищах тростника
Медь (Cu^{2+})	221	6,1
Цинк (Zn^{2+})	436	31,2
Свинец (Pb^{2+})	126	4,9

3.3. Гидроэкологическая оценка

3.3.1 Оценка качества воды по критериям соответствия нормативам ПДК

Таблица 7 – Сравнение количественного химического анализа воды оз. Большие Касагалы от 24.08.2025 с нормами ПДК для водных объектов хозяйственно-бытового и рекреационного водопользования (СанПиН 1.2.3685-21 [12])

Определяемое вещество	ПДК водных объектов хозяйственно-бытового и рекреационного водопользования, мг/дм3 и д.р.	Измеренная массовая концентрация вещества, мг/дм^3 и д.р.	Превышение ПДК
Азот аммония (NH_4^+)	1,5	0,41	-
Азот нитритов (NO_2^-)	3	0,047	-
Азот нитратов (NO_3^-)	45	0,315	-
Фосфор общий ($P_{общ}$)	1,14	0,039	-
pH	6,5-8,5 pH	8,40 pH	-
Цветность	30°	12°	-
Взвешенные вещества	10	3,8	-
Железо общее (Fe^{2+}, Fe^{3+})	0,3	0,019	-
Гидрокарбонаты (HCO_3^-)	-	123,8	-
Карбонаты (CO_3^{2-})	-	0,04	-
Сульфаты (SO_4^{2-})	100	44	-
Хлориды (Cl^-)	300	6,4	-
Кальций (Ca^{2+})	-	26,1	-
Магний (Mg^{2+})	50	10,9	-
Медь (Cu^{2+})	1,0	0,0021	-
Цинк (Zn^{2+})	5	0,0155	-
Марганец (Mn^{2+})	0,1	0,013	-
Свинец (Pb^{2+})	0,003	0,001	-
Кадмий (Cd^{2+})	0,001	0	-
Никель (Ni^{2+})	0,02	0,001	-
Перманганатная окисляемость	7,0 мгО/дм³	6,0 мгО/дм³	-
ХПК	30 мгО/дм³	24,2 мгО/дм³	-
Жесткость	7	2,2	-

*- соответствие

Таблица 8 – Сравнение количественного химического анализа воды оз. Большие Касагалы от 24.08.2025 с нормами ПДК для рыбохозяйственных водоёмов (Приказ Федерального агентства по рыболовству от 26 мая 2025 г. N 296 [3])

Определяемое вещество	Измеренная массовая концентрация вещества, мг/дм^3 и д.р.	ПДК для рыбохозяйственных водоемов, мг/дм^3 и д.р.	Превышение ПДК
Азот аммония (NH_4^+)	0,41	0,4	в 1,025 раза
Азот нитритов (NO_2^-)	0,047	0,02	в 2,4 раза
Азот нитратов (NO_3^-)	0,315	9	-
Фосфор общий ($P_{общ}$)	0,039	0,15	-
pH	8,40 pH	6,5-8,5 pH	-
Цветность	12°	20°	-
Взвешенные вещества	3,8	10	-
Железо общее (Fe^{2+}, Fe^{3+})	0,019	0,1	-
Гидрокарбонаты (HCO_3^-)	123,8	-	-
Карбонаты (CO_3^{2-})	0,04	-	-
Сульфаты (SO_4^{2-})	44	100	-
Хлориды (Cl^-)	6,4	300	-
Кальций (Ca^{2+})	26,1	180,0	-
Магний (Mg^{2+})	10,9	40,0	-
Медь (Cu^{2+})	0,0021	0,001	в 2 раза
Цинк (Zn^{2+})	0,0155	0,01	в 1,5 раза
Марганец (Mn^{2+})	0,013	0,01	в 1,3 раза
Свинец (Pb^{2+})	0,001	0,006	-
Кадмий (Cd^{2+})	0	0,005	-
Никель (Ni^{2+})	0,001	0,01	-
Перманганатная окисляемость	6,0 мгО/дм^3	7,0 мгО/дм^3	-
ХПК	24,2 мгО/дм^3	15-30 мгО/дм^3	-
Жесткость	2,2	7	-

*- соответствие

Результаты химического анализа воды озера Большие Касагалы от 24.08.2025 года позволяет оценить её соответствие двум основным категориям нормативов: для водных объектов хозяйственно-бытового и рекреационного водопользования (СанПиН 1.2.3685-21) и для водных объектов рыбохозяйственного значения.

Сравнение с нормативами для рекреационного водопользования показывает полное соответствие всех измеренных показателей установленным предельно допустимым концентрациям (ПДК) (Таблица 7). Это позволяет сделать вывод о том, что вода озера Большие Касагалы является безопасной для человека в рамках хозяйственно-бытового и рекреационного использования и может быть охарактеризована как чистая по данным параметрам.

Однако, учитывая, что водоём используется для целей аквакультуры и рыболовства, в соответствии с экологическими принципами приоритетного применения наиболее жёстких нормативов для защиты водных экосистем, необходима оценка по критериям для рыбохозяйственных водоёмов (Таблица 8). В данном контексте выявлены отдельные превышения ПДК:

Азот нитритов (NO_2^-) - измеренная концентрация (0,047 мг/дм³) превышает установленный норматив (0,02 мг/дм³) в 2,4 раза; медь (Cu^{2+}) - содержание (0,0021 мг/дм³) превышает ПДК (0,001 мг/дм³) в 2 раза; цинк (Zn^{2+}) - концентрация (0,0155 мг/дм³) превышает норматив (0,01 мг/дм³) в 1,5 раза; марганец (Mn^{2+}) - измеренное значение (0,013 мг/дм³) выше ПДК (0,01 мг/дм³) в 1,3 раза; азот аммония (NH_4^+): отмечается незначительное превышение (0,41 мг/дм³) над нормативом (0,4 мг/дм³) в 1,025 раза.

Масштабы выявленных превышений (от 1,025 до 2,4 раза) являются умеренными. Подобная картина обусловлена сочетанием природных и антропогенных факторов. С одной стороны, геохимические особенности территории (Кыштымский район исторически связан с горнорудной деятельностью) способствуют повышенному фоновому содержанию некоторых тяжёлых металлов (меди, цинка, марганца) в природных водах. С другой стороны, превышения по азоту нитритов и аммония скорее всего имеют антропогенную природу и свидетельствуют о свежем поступлении органического вещества в водоём. Крупномасштабные источники загрязнения, такие как сельскохозяйственные угодья, промышленные предприятия и крупные населённые пункты, вблизи озера отсутствуют. В

связи с этим наиболее вероятными источниками поступления биогенных элементов являются локальные объекты: садковые хозяйства для выращивания рыбы (продукты метаболизма и остатки кормов), рекреационные объекты (базы отдыха «Казгалы» и «Зелёный лес»), а также возможные неисправности канализационной сети заброшенной санаторно-лесной школы имени Ю. А. Гагарина.

Для выявления конкретного источника загрязнения и оценки его вклада в общую биогенную нагрузку на водоём необходимы дополнительные исследования, включающие отбор проб в разные сезоны, в разных точках и на разных глубинах. При планировании и ведении рыбохозяйственной деятельности на озере необходимо учитывать данную специфику качества водной среды, предусматривая регулярный мониторинг указанных показателей и, при необходимости, меры по минимизации рисков для водных биоресурсов.

3.3.2 Индекс загрязнения воды (ИЗВ)

Качество воды оценивалось по индексу загрязнения воды В. В. Масленниковой (1993) [23]. ИЗВ относится к категории показателей, наиболее часто используемых для оценки качества водных объектов. Этот индекс является типичным аддитивным коэффициентом и представляет собой среднюю долю превышения ПДК по строго лимитированному числу индивидуальных ингредиентов. Индекс загрязнения воды рассчитывается как среднее из суммы 6 элементов: O_2, мг/л; $БПК_5$, мгО/л; и четырем загрязняющим элементам, близким или превышающим ПДК:

$$ИЗВ = \frac{1}{6}\sum_{1}^{6}\frac{C_i}{ПДК_i} \quad \text{(по В. В. Масленниковой, 1993) (9)}$$

Ci – концентрация одного из 6 ингридиентов;

ПДКi – предельно-допустимая концентрация данного элемента.

В нашем случае заменой O_2 и БПК послужили химическое потребление кислорода и перманганатная окисляемость. Таким образом, в расчёт включены

6 показателей, наиболее значимых для оценки (приведены в таблице 9): взвешенные вещества, азот нитритов, медь, цинк, ХПК и перманганатная окисляемость.

Таблица 9 – Показатели, включенные в расчёт ИЗВ

Определяемое вещество	Измеренная массовая концентрация вещества, мг/дм3 и д.р.	ПДК для рыбохозяйственных водоемов, мг/дм3 и д.р.
Азот нитритов (NO_2^-)	0,047	0,02
Медь (Cu^{2+})	0,0021	0,001
Цинк (Zn^{2+})	0,0155	0,01
Марганец (Mn^{2+})	0,013	0,01
ХПК	24,2 мгО/дм³	15-30 мгО/дм³
Перманганатная окисляемость	6,0 мгО/дм³	7,0 мгО/дм³

$$\text{ИЗВ} = \frac{\frac{0,047}{0,02} + \frac{0,0021}{0,001} + \frac{0,0155}{0,01} + \frac{0,013}{0,01} + \frac{24,2}{30} + \frac{6}{7}}{6} = \frac{8,96}{6} = 1,49$$

Полученное значение ИЗВ = 1,49 позволяет отнести воды озера Большие Касагалы к категории «умеренно загрязнённых вод» (1,0-2,5 величина ИЗВ) (в соответствии с классификацией в приложении 9). Загрязненность воды озера обусловлена главным образом азотом нитритов и медью.

3.3.3 Трофический тип вод (TSI)

Трофический статус (тип) вод является интегральной характеристикой степени биологической продуктивности водоема, определяемой, главным образом, обеспеченностью водной массы биогенными элементами, прежде всего фосфором и азотом. Классификация водоемов по трофическому уровню (олиготрофные, мезотрофные, эвтрофные и гипертрофные) отражает стадии естественного процесса эвтрофикации – обогащения вод питательными веществами, ведущего к возрастанию продукции органического вещества.

Для количественной оценки трофического состояния озер широко применяется Индекс трофического состояния Карлсона (TSI, 1977) [23].

Он основан на корреляционной связи между содержанием хлорофилла, прозрачностью воды и концентрацией общего фосфора. Одним из ключевых и наиболее оперативных показателей является прозрачность воды, измеряемая с помощью диска Секки. Ее снижение напрямую связано с увеличением количества фитопланктона и взвешенных веществ в воде, что характерно для эвтрофных водоемов.

Формула для расчета TSI по показателю прозрачности (10):

$$\mathrm{TSI} = 10(6 - \log_2 \mathrm{SD})$$

SD – прозрачность воды по диску Секки, м.

Прозрачность (или светопропускание) природных вод обусловлена их цветом и мутностью, т. е. содержанием в них различных окрашенных и взвешенных органических и минеральных веществ.

По данным натурных исследований, *средняя прозрачность воды в озере Большие Касагалы составляет 3,6 метра.*

$$\mathrm{TSI} = 10(6 - \log_2 3{,}6) = 41{,}9$$

Таким образом, озеро Большие Касагалы по интегральному индексу трофического состояния Карлсона (TSI ≈ 41,9) классифицируется как мезотрофный водоём (TSI ≈ 41,9; SD ≈ 4) (Приложение 9). Данный статус указывает на умеренный уровень биологической продуктивности и обеспеченности биогенными элементами, что является промежуточным звеном между бедными питательными веществами олиготрофными и перенасыщенными ими эвтрофными озёрами. Такой трофический тип свидетельствует о сохранении водоёмом относительно стабильной экологической структуры.

Вывод по третьей главе

В ходе гидрохимических исследований, выполненных на основе отбора проб 24 августа 2025 года в центральной части озера Большие Касагалы, и последующего анализа в аккредитованной лаборатории, дана комплексная оценка качества водной массы по четырём группам показателей: общим физико-химическим, основным ионам и минерализации, биогенным веществам и микроэлементам (тяжёлым металлам). С использованием методов сравнения с нормативами ПДК, расчёта индекса загрязнения воды (ИЗВ) и индекса трофического состояния Карлсона (TSI) установлено современное геоэкологическое состояние озера.

Установлено, что по общим физико-химическим показателям вода озера соответствует нормативам для рыбохозяйственных водоёмов: реакция среды слабощелочная (pH 8,40), цветность низкая (12°), содержание взвешенных веществ незначительное (3,8 мг/дм³), перманганатная окисляемость (6,0 мгО/дм³) и ХПК (24,2 мгО/дм³) указывают на умеренное содержание органических веществ природного происхождения без признаков свежего бытового или сельскохозяйственного загрязнения.

По ионному составу вода озера относится к гидрокарбонатному классу, группе кальция, II-му сульфатно-натриевому типу (по классификации О.А. Алекина). Общая минерализация составляет 235,44 мг/дм³, что соответствует категории нормально пресных вод (0,1–0,5 г/дм³). Жёсткость воды – мягкая (2,2 мг-экв/л; 6,3°Ж). Полученные значения отражают природные условия формирования водосбора и не свидетельствуют о техногенном засолении.

Анализ биогенных элементов выявил превышение рыбохозяйственных ПДК: по азоту аммонийному (0,41 мг/дм³ при ПДК 0,4 мг/дм³ – в 1,025 раза), по азоту нитритному (0,047 мг/дм³ при ПДК 0,02 мг/дм³ – в 2,4 раза). Концентрации нитратного азота (0,315 мг/дм³) и общего фосфора (0,039 мг/дм³) находятся в пределах нормативов. Выявленные превышения, особенно по нитритам, свидетельствуют о свежем поступлении органического вещества в водоём, вероятными источниками которого являются рекреационные объекты садковое рыбоводство, деятельность баз отдыха «Казгалы» и

«Зелёный лес», а также возможные последствия неисправности канализационной сети на территории бывшей санаторно-лесной школы имени Ю. А. Гагарина, так как в непосредственной близости от озера отсутствуют сельскохозяйственные угодья, промышленные предприятия и крупные населённые пункты, которые могли бы обеспечить постоянное и масштабное поступление биогенных элементов.

По содержанию микроэлементов установлено фоновое природно-обусловленное превышение ПДК для рыбохозяйственных водоёмов: по меди (0,0021 мг/дм³ при ПДК 0,001 мг/дм³ – в 2,1 раза), цинку (0,0155 мг/дм³ при ПДК 0,01 мг/дм³ – в 1,55 раза) и марганцу (0,013 мг/дм³ при ПДК 0,01 мг/дм³ – в 1,3 раза). Концентрации свинца, кадмия и никеля находятся в пределах нормативов или ниже предела обнаружения. Отсутствие характерных техногенных маркёров подтверждает естественное геохимическое происхождение повышенных концентраций указанных металлов, связанное с составом пород водосборного бассейна.

Данные ранее проведённых исследований (Запивалова Е.Э., 2020) по донным отложениям и корневищам тростника также свидетельствуют о наименьшем уровне загрязнения озера Большие Касагалы среди водоёмов Карабашской группы.

Однако при осуществлении рыбохозяйственной деятельности на озере необходимо учитывать выявленные превышения ПДК, поскольку даже умеренные концентрации загрязняющих веществ (нитритов, меди, цинка) могут оказывать хроническое токсическое действие на гидробионтов: нарушать ферментативные процессы, кислородный обмен и репродуктивную функцию рыб, вызывать кумуляцию металлов в органах и тканях. Для обеспечения экологической безопасности и устойчивого использования водных биоресурсов требуется ведение регулярного мониторинга указанных показателей.

При сопоставлении с нормативами для хозяйственно-бытового и рекреационного водопользования (СанПиН 1.2.3685-21) все измеренные

показатели находятся в пределах ПДК, что позволяет характеризовать воду озера как безопасную для человека и пригодную для рекреационного использования (включая планируемое восстановление детского оздоровительного лагеря).

Интегральная оценка качества воды по индексу загрязнения воды (ИЗВ = 1,49) позволяет отнести озеро Большие Касагалы к категории «умеренно загрязнённых вод» (класс качества 3). Загрязнённость обусловлена главным образом повышенными концентрациями нитритов и меди.

По индексу трофического состояния Карлсона (TSI = 41,9, при прозрачности воды 3,6 м) озеро классифицируется как мезотрофный водоём, что указывает на умеренный уровень биологической продуктивности и обеспеченности биогенными элементами, сохранение относительно стабильной экологической структуры и отсутствие активного антропогенного эвтрофирования.

ГЛАВА 4. ГЕОЭКОЛОГИЧЕЧКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА И РАСТИТЕЛЬНОГО МИРА ОКРЕСТНОСТЕЙ ОЗЕРА БОЛЬШИЕ КАСАГАЛЫ

4.1 Геоэкологическая оценка почвенного покрова

Геоэкологическая оценка территории невозможна без анализа её почвенного покрова, который выступает интегральным индикатором состояния природной среды, отражая совокупное воздействие климатических, геологических, гидрологических условий и антропогенной нагрузки.

Озеро Большие Касагалы находится в лесостепной (горно-лесной) природной зоне, в районе развития серых лесных почв в сочетании с серыми лесными неполноразвитыми почвами (рисунок 27).

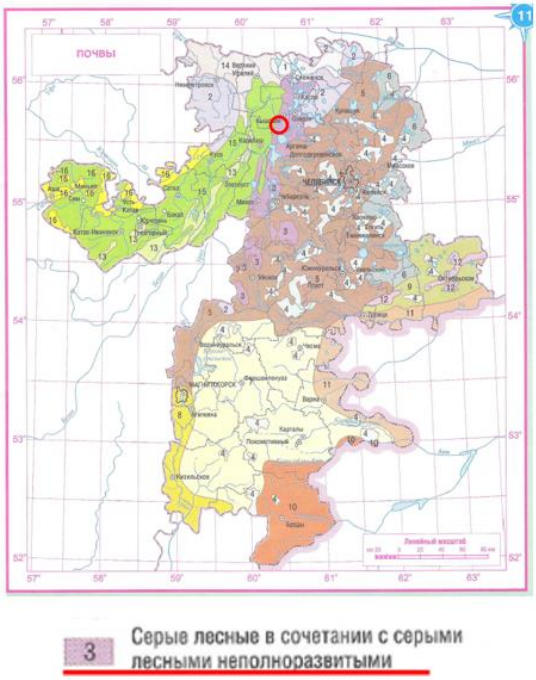


Рисунок 27 – Почвы Челябинской области [16]

Почвы окрестностей озера формируются в специфических условиях на элювии метаморфических пород, что определяет их морфологические и физико-химические особенности. Для получения достоверных данных о строении, свойствах и пространственной неоднородности почвенного покрова применяется комплекс полевых и лабораторных методов исследования.

Методологической основой данной работы послужили подходы, изложенные в учебном пособии В. К. Жучковой и Э. М. Раковской «Методы комплексных физико-географических исследований» [21], согласно которым изучение почв включает заложение ключевых участков, морфологическое описание разрезов и последующий аналитический контроль образцов.

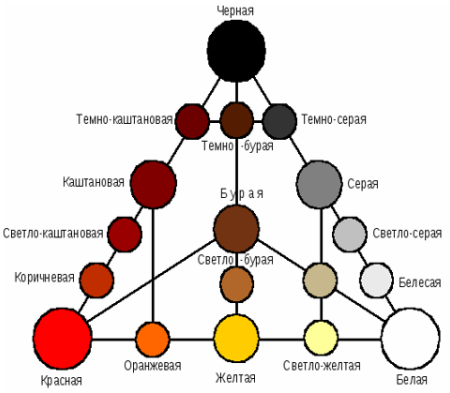
4.1.1 Методы исследования

Для описания почв, изучения их морфологических признаков и отбора образцов закладывают почвенные разрезы трех типов: полные, полуямы и прикопки. Разрез закладывают в наиболее характерном месте, вдали от дорог и канав, лицевой стенкой к солнцу. После зарисовки и описания отбирают образцы массой 0,5–1,0 кг из каждого генетического горизонта снизу вверх, снабжая этикеткой.

Наиболее распространены следующие обозначения горизонтов: A0 – лесная подстилка; A1 – гумусовый, темноокрашенный; A2 – элювиальный, обедненный, светлый; B – иллювиальный, бурый, уплотненный; D – подстилающая порода.

При описании на стенке разреза закрепляют сантиметр, ножом отмечают границы горизонтов по плотности, цвету, структуре и заносят данные в дневник.

- *Цвет* почвы зависит от состава: гумус дает темные тона, железо и марганец – бурые и красные, кремнезем и соли – белесые (рисунок 28).
- *Влажность* определяют визуально и на ощупь, выделяя пять степеней: от сухой (пылит) до мокрой (вода сочится между пальцами).
- *Механический состав* в поле оценивают мокрым способом: раскатывают шнур толщиной 3 мм и пробуют свернуть в кольцо, выделяя от песка до глины (рисунок 28).
- *Структуру* определяют по форме и прочности агрегатов (зернистая, комковатая, призматическая, плитчатая или бесструктурная).



Механический состав	Проба на скатывание шнура диаметром 3мм	Морфология образца
Песчаный	Не скатывается	
Супесчаный	Скатываются только зачатки шнура	
Легкий суглинок	Шнур скатывается, но дробится	
Средний суглинок	Шнур сплошной, при свертывании в кольцо распадается	
Тяжелый суглинок	Шнур сплошной, кольцо с трещинами	
Глина	Шнур сплошной, кольцо стойкое	

Рисунок 28 – Треугольник Захарова для определения окраски почвы и стандартные критерии полевого определения гранулометрического состава почв (по Н. А. Качинскому) [21]

- *Плотность* оценивают по сопротивлению ножу: от очень плотной (нож не входит) до рыхлой и пухлой.
- *Сложение* (порозность) характеризуют по диаметру и обилию пор.
- *Новообразования* (карбонаты, железистые, гипсовые) определяют по цвету, форме и реакции с 10% HCl.
- *Включения* – это генетически не связанные с почвой предметы (обломки, кости, угли, артефакты).
- *Характер перехода между горизонтами* может быть резким (1–2 см), ясным (2–5 см) или неясным (более 5 см), ровным или языковатым.

Сочетание всех этих признаков позволяет назвать тип почвы.

4.1.2 Морфологическое описание почвенных разрезов

Полевые исследования почвенного покрова проводились в период с 27 октября 2024 года. Выбор места заложения почвенных разрезов осуществлялся на типичных элементах рельефа водосборной территории: на юго-западном берегу (вершина холма) и на северо-восточном берегу (ровная площадка, удаленная от уреза воды на 100 м). Закладка разрезов производилась на расстоянии не менее 20-30 м от дорог и антропогенных объектов для получения репрезентативных данных о фоновом состоянии почв. Координаты точек заложения представлены на рисунке 29.

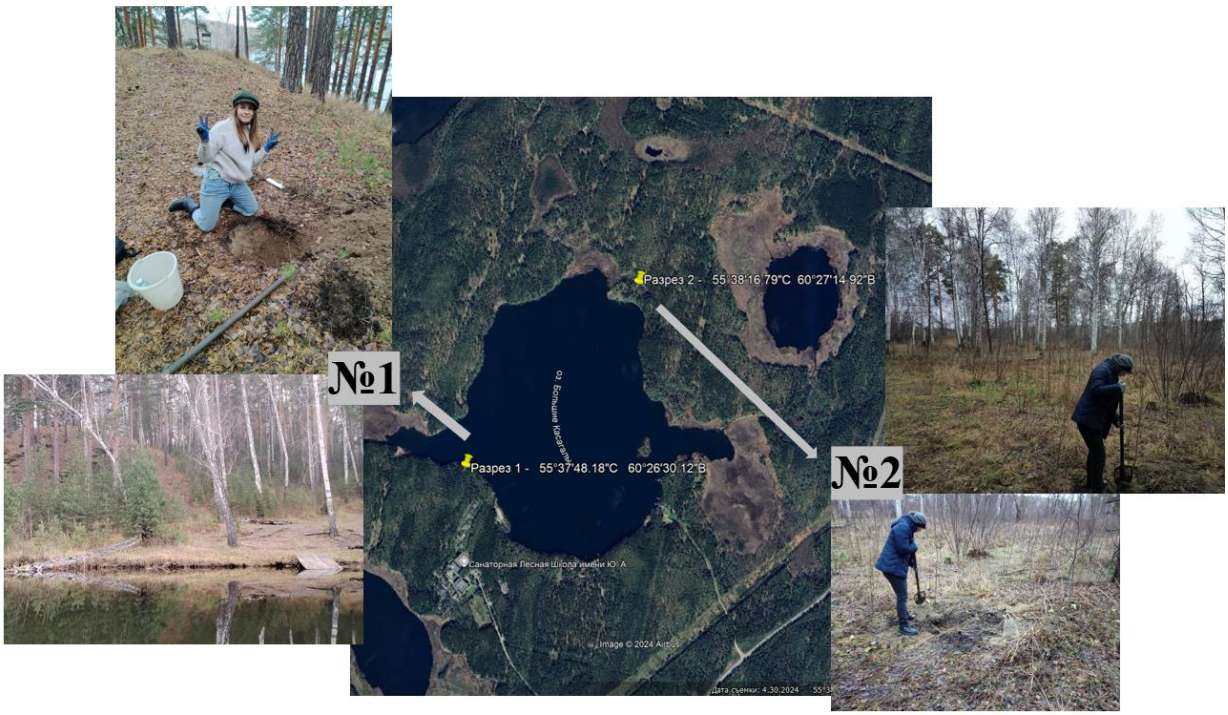


Рисунок 29 – Координаты и точки заложения почвенных разрезов №1 и №2

Описание почвенного разреза № 1

Почвенный разрез №1 представлен серой лесной оподзоленной маломощной супесчаной почвой на элювии метаморфических пород.

Разрез заложен на юго-западном берегу на вершине холма. Формирование почвы на возвышенности способствует интенсивному промывному режиму, что усиливает оподзоливание.

Профиль имеет укороченную мощность (всего 45 см), что характерно для эрозионно опасных склонов.

Верхняя часть профиля (А1) представлена тёмно-бурой гумусовой структурой комковато-зернисто-пылеватого типа.

Ниже залегает горизонт А2 (горизонт вымывания) бурого цвета, тяжелосуглинистый, что указывает на процесс оподзоливания (вынос ила вниз по профилю). Переход в горизонт В резкий; подстилающая порода (D) залегает с 41 см. Резкая граница горизонта В с породой указывает на слабую развитость профиля, типичную для склоновых позиций.

Присутствие угля в горизонте А1 является следствием пирогенного антропогенного процесса (остатки кострища). Результаты морфологического

описания разреза №1 систематизированы в Таблице 10, а внешний вид профиля представлен на рисунке 30.

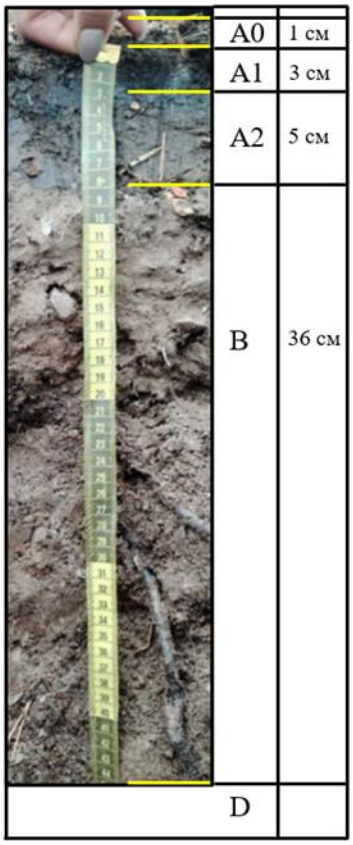


Рисунок 30 – Почвенный разрез №1

Описание почвенного разреза № 2

Почвенный разрез №2 представлен тёмно-серой лесной среднемощной среднесуглинистой почвой на делювиальных отложениях.

Разрез заложен на северо-восточном берегу на ровной площадке, удалённой от уреза воды на 100 м.

Мощность профиля значительно больше (62 см и более). Гумусовый горизонт А1 мощностью 16 см имеет тёмно-бурую окраску, комковато-зернистую структуру, что свидетельствует о хорошем развитии дернового процесса.

Сезонное переувлажнение грунтовыми водами (близость озера) вызывает восстановление железа ($Fe^{3+} \rightarrow Fe^{2+}$) с последующей миграцией и окислением, которые получают отражение в охристых пятнах в горизонтах В

и BC (41–61 см) — новообразованиях оксидов железа (Fe^{3+}) после окисления, что является признаком сезонного переувлажнения.

Бесструктурность нижних горизонтов обусловлена разрушением агрегатов при застое воды, сложение плотное. Результаты морфологического описания разреза №2 систематизированы в таблице 11, а внешний вид профиля представлен на рисунке 31.

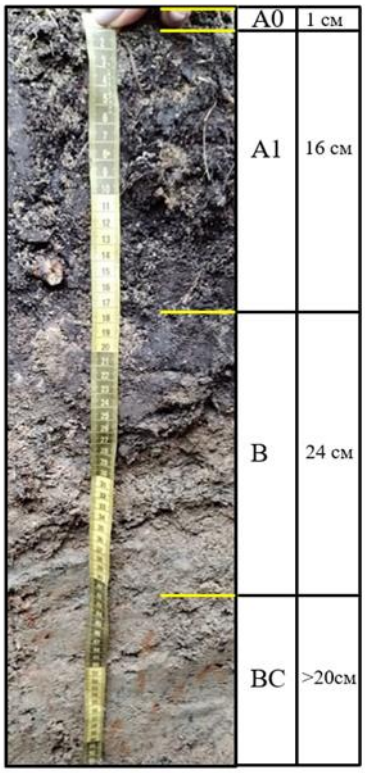


Рисунок 31 – Почвенный разрез №2

Таблица 10 – Описание почвенного разреза в точке №1

<table>
<tr><td></td><td>27.10.2024
Разрез №1
Челябинская область, Кыштымский городской округ, оз. Большие Касагалы
Координаты: 55°37′48.18″С 60°26′30.12″В
ЮЗ берег, на возвышенности (на вершине холма)
Тип почв: серые лесные почвы
Общая мощность М=45 см</td></tr>
<tr><td></td><td>А0 – ($\frac{0-1}{1}$ см) – лесная подстилка
(свежий опад листьев, хвои)</td></tr>
<tr><td colspan="2">А1 – ($\frac{1-4}{3}$ см) – гумусовый горизонт</td></tr>
<tr><td>

</td><td>Цвет: тёмно-бурая
Увлажнение: свежая
Механический состав: супесчаная
Структура: комковато-зернисто-пылеватая
Плотность: слабо уплотнённая
Сложение: -
Новообразования: - (Ph – 5-6, не вскипает)
Включения: корни деревьев, растений (дернина), опад (листья, хвоя), уголь
Глубина взятого образца: 2-4 см
Граница перехода: сглаженные</td></tr>
</table>

Продолжение таблицы 10

A2 – ($\frac{4-9}{5}$ см) – горизонт вымывания	
	Цвет: бурая Увлажнение: свежая Механический состав: тяжёлый суглинок Структура: глыбисто-комковато-ореховато-пылеватая Плотность: слабо уплотнённая Сложение: - Новообразования: - (Ph – 5-6, не вскипает) Включения: корни растений, горные породы Глубина взятого образца: 5-6 см Граница перехода: волнистые
B – ($\frac{9-45}{36}$ см) – горизонт вмывания	
	Цвет: светло-бурая Увлажнение: свежая Механический состав: легкий суглинок Структура: комковато-ореховато-зернистая Плотность: плотная Сложение: - Новообразования: - (Ph – 5-6, не вскипает) Включения: горные породы и корни растений (очень мало) Глубина взятого образца: 22 см Граница перехода: резкая
	*Дальше горизонт D – подстилающая горная порода*

Таблица 11 – Описание почвенного разреза в точке №2

<table>
<tr><td></td><td>Разрез №2
Челябинская область, Кыштымский городской округ, оз. Большие Касагалы
Координаты: 55°38′16.79″С 60°27′14.92″В
СВ берег, 100 метров от берега, на ровном участке
Тип почв: серые лесные почвы
Общая мощность М=62 см и более</td></tr>
<tr><td></td><td>А0 – ($\frac{0-1}{1}$ см) – лесная подстилка (свежий опад листьев)</td></tr>
<tr><td colspan="2">А1 – ($\frac{1-17}{16}$ см) – гумусовый горизонт</td></tr>
<tr><td>

</td><td>Цвет: тёмно-бурая
Увлажнение: свежая
Механический состав: средний суглинок
Структура: комковато-зернистая
Плотность: слабо уплотнённая
Сложение: -
Новообразования: - (Ph – 5 не вскипает, слабокислые почвы)
Включения: корни деревьев, растений (дернина), опад (листья), черви, горные породы
Глубина взятого образца: 10-15 см
Граница перехода: волнистая</td></tr>
</table>

Продолжение таблицы 11

B – ($\frac{17-41}{24}$ см) – горизонт вмывания	
  	Цвет: бурая Увлажнение: свежая Механический состав: супесчаная Структура: бесструктурная Плотность: плотная Сложение: - Новообразования: - (Ph – 5, не вскипает, слабокислые почвы) Включения: горные породы, очень мало корней растений Глубина взятого образца: 30 см Граница перехода: сглаженная, неясная
BC – ($\frac{41-61}{20}$ см) – горизонт вмывания (с окислами железа)	
  	Цвет: светло-бурая Увлажнение: свежая Механический состав: супесчаная Структура: бесструктурная Плотность: плотная Сложение: - Новообразования: - (окислы железа, Ph – 5, не вскипает, слабокислые почвы) Включения: горные породы Глубина взятого образца: 55 см Граница перехода: отсутствует, слой продолжается вглубь
	*Предполагаемый горизонт D – подстилающая горная порода*

4.1.3 Физико-химические свойства почв

Лабораторные анализы почвенных проб проводились в аккредитованной лаборатории ООО «УралСтройЛаб» [48]. Образцы отбирались из каждого генетического горизонта методом «средней пробы» массой около 0,5-1,0 кг. В ходе химического анализа были определены следующие показатели: водородный показатель (pH водной и солевой вытяжек), массовая доля органического вещества (гумуса) по методу Тюрина, азот общий, подвижные формы фосфора и калия (по Кирсанову), сумма токсичных солей, а также содержание аммонийного и нитритного азота гравиметрическими и фотометрическими методами. Исследования проводились в соответствии с ГОСТами, перечень которых представлен в таблице приложения 5. Результаты лабораторных анализов почвенных образцов с учётом приведены в таблице 12, а их графическое распределение по почвенному профилю отражено на рисунках 32-35.

Характеристика кислотно-основных свойств (pH)

Анализ водной и солевой вытяжек выявил сильнокислую реакцию среды для большинства горизонтов, что является определяющим фактором для миграции элементов и плодородия.

Разрез №1 (юго-западный берег, холм): значения pH водной вытяжки варьируют от 4,2 (горизонты A_1 и A_2) до 5,5 (горизонт B), что соответствует сильнокислым и среднекислым почвам. pH солевой вытяжки ещё ниже — 3,7–5,0, что указывает на высокую долю обменных водородных ионов (H^+) и алюминия (Al^{3+}) в почвенном поглощающем комплексе. Резкое повышение pH в горизонте B (до 5,5) по сравнению с элювиальным горизонтом A_2 (4,2) обусловлено слабощелочной реакцией материнской породы (элювий метаморфитов, возможно, содержащий карбонаты кальция), которые временно нейтрализуют кислые продукты, вымываемые из верхней части профиля.

Разрез №2 (северо-восточный берег, ровный участок): для почв этого разреза характерна ещё более высокая кислотность. pH водной вытяжки во всех горизонтах стабильно низкий (4,3–4,4), а pH солевой вытяжки составляет 3,8–4,0. Более кислая реакция по сравнению с разрезом №1 объясняется сезонным застоем воды, развитием процессов оглеения и накоплением кислых продуктов анаэробного разложения органического вещества. Отсутствие повышения pH вниз по профилю указывает на однородность кислого характера почвообразующей породы (делювиальные отложения).

Сильнокислая реакция почв (особенно в горизонтах А) является следствием промывного типа водного режима (вынос оснований) и разложения кислого опада (хвоя сосны, листья берёзы). Это природная, а не техногенная особенность региона. Однако такая кислотность:

- Увеличивает подвижность и токсичность потенциально присутствующих тяжёлых металлов (особенно Al, Fe, Mn);
- Снижает доступность для растений основных элементов питания (P, K, Ca, Mg);
- Если бы почва была в сельскохозяйственном использовании, то требовала бы известкования.

Содержание и распределение органического вещества

Массовая доля органического вещества и общего азота резко дифференцирована по профилю, что является классическим признаком подзолообразовательного процесса.

Разрез №1: в гумусовом горизонте A_1 содержание органического вещества экстремально высокое (более 15%), что связано с наличием слаборазложившейся лесной подстилки и включений угля (пирогенный фактор). Однако уже в горизонте A_2 (вымывания) содержание падает до 1,05%, а в горизонте В составляет всего 1,06%. Это демонстрирует очень резкое сокращение запасов гумуса с глубиной. Аналогично, содержание общего азота в A_1 составляет 22,46%, что является аномально высокой величиной,

обусловленной присутствием углерода угля, и быстро снижается до ~1% в нижележащих слоях.

Разрез №2: Профиль более сглаженный. Содержание гумуса в горизонте A_1 выше (5,4%), чем в разрезе №1 (без учёта углистого слоя), что свидетельствует о лучших условиях для гумусонакопления (более влажные условия и богатая травянистая растительность). Вниз по профилю содержание гумуса снижается не столь катастрофично, как в разрезе №1, но остаётся на крайне низком уровне: 0,20% в горизонте В и 0,49% в горизонте ВС, что характерно для малогумусных подзолистых почв. Общий азот коррелирует с распределением гумуса.

Вывод: Почвы территории характеризуются очень низкой обеспеченностью гумусом (кроме самого верхнего, подстилочного горизонта). Реакция среды кислая, что не способствует закреплению органического вещества в форме прочных гумусово-глинистых комплексов.

Емкость катионного обмена (ЕКО) и обеспеченность элементами питания

ЕКО (способность почвы удерживать катионы Ca^{2+}, Mg^{2+}, K^{+}, Na^{+}, H^{+}, Al^{3+}) в обоих разрезах невысока и закономерно снижается с глубиной.

Разрез №1: Максимальное значение ЕКО (100 мг-экв/100 г) в горизонте A_1 обусловлено высоким содержанием органического вещества. Однако уже в горизонте A_2 ЕКО падает до 46, а в горизонте В — до 40 мг-экв/100 г.

Разрез №2: ЕКО значительно ниже: 33, 14 и 12,6 мг-экв/100 г в горизонтах A_1, В и ВС соответственно. Это указывает на преобладание в минеральной части почвы крупных частиц (супесчаный и легкосуглинистый состав) с низкой активностью поверхности (преимущественно кварц и полевые шпаты).

Подвижные формы фосфора (P_2O_5) и калия (K_2O)

Фосфор: Обеспеченность подвижным фосфором варьирует от крайне низкой до средней. В разрезе №1 в горизонте A_1 зафиксировано повышенное содержание (101 мг/кг), что связано с разложением органического опада и

биогенной аккумуляцией. В остальных горизонтах разреза №1 и во всех горизонтах разреза №2 (за исключением горизонта A_1) содержание фосфора менее 5–29 мг/кг, что характеризует почвы как очень бедные этим элементом. Дефицит фосфора является фактором, лимитирующим продуктивность естественных фитоценозов.

Калий: Содержание подвижного калия, напротив, высокое (более 250 мг/кг в A_1 разреза №1, 245 мг/кг в A_1 разреза №2), что обусловлено богатством почвообразующих пород (полевые шпаты, слюды) этим элементом. Обеспеченность калием в верхних горизонтах очень высокая, в нижних — повышенная.

Миграция азота и процессы трансформации органики

Анализ содержания аммонийного и нитритного азота позволяет судить о скорости и направленности процессов минерализации органического вещества.

Аммонийный азот (NH_4^+): Его концентрация максимальна в гумусовых горизонтах (63,6 мг/кг в разрезе №1, 43,0 мг/кг в разрезе №2). Это свидетельствует об активной аммонификации — разложении белков и аминокислот микроорганизмами в кислой среде.

Нитритный азот (NO_2^-): Концентрации нитритов очень низкие по всему профилю (0,08–0,248 мг/кг), что типично для кислых почв. В кислой среде деятельность нитрифицирующих бактерий (Nitrosomonas, Nitrobacter) сильно подавлена, и превращение аммония в нитраты (NO_3^-) практически не происходит. Это создаёт риск накопления аммония в токсичных концентрациях и потери азота в виде газообразного аммиака.

Интегральная геоэкологическая оценка почв

Суммируя данные химического анализа с морфологическим описанием, можно сделать следующие выводы:

- Тип почв и природные процессы:

Исследованные почвы представляют собой типичные для данного региона серые лесные почвы, находящиеся на разных стадиях оподзоливания

(разрез №1 — более оподзоленный, разрез №2 — с признаками оглеения). Их профиль чётко дифференцирован на гумусово-элювиальный и иллювиальный горизонты.

- Почвы характеризуются низким естественным плодородием:

Кислая реакция среды (pH солевой 3,7–5,0);

Малая мощность гумусового горизонта (3–16 см);

Низкое содержание гумуса в минеральной толще (0,2–1,06%);

Острая недостаточность подвижного фосфора (< 29 мг/кг);

Высокая обеспеченность калием.

- Антропогенные маркеры:

Присутствие включений угля в горизонте A_1 разреза №1 является прямым следствием рекреационного использования (кострища).

Заметного накопления токсичных солей или иных техногенных загрязнителей в доступных для анализа формах не выявлено. Сумма токсичных солей во всех образцах составляет менее 0,05%, что значительно ниже пороговых значений.

- Экологические риски:

Главным риском является не загрязнение, а естественная высокая кислотность, которая при изменении водного режима (например, при строительстве или нарушении растительного покрова) может резко усилить миграцию подвижного алюминия, марганца и железа; будет способствовать подкислению поверхностного стока, поступающего в озеро Большие Касагалы, что вносит вклад в формирование его гидрохимического режима.

Таким образом, химический состав почв приозёрной территории отражает зональные особенности почвообразования в условиях восточных предгорий Южного Урала и не свидетельствует о критическом антропогенном загрязнении. Основные лимитирующие факторы для биоты — кислотность и дефицит фосфора.

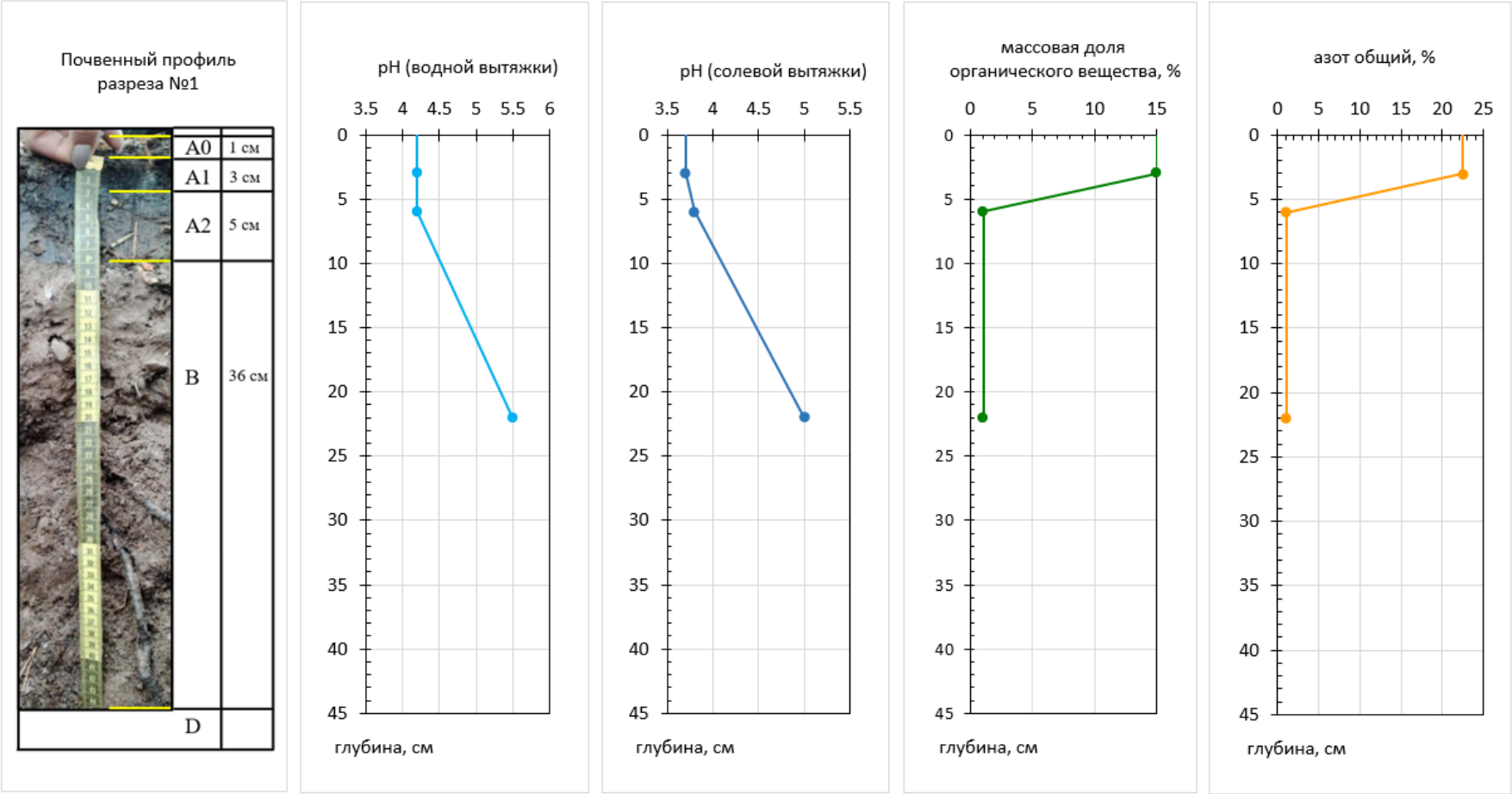


Рисунок 32 – Распределение pH (водной и солевой вытяжки), массовой доли органического вещества и азота общего по почвенному профилю разреза №1, заложенного на юго-западном берегу озера Большие Касагалы (на холме)

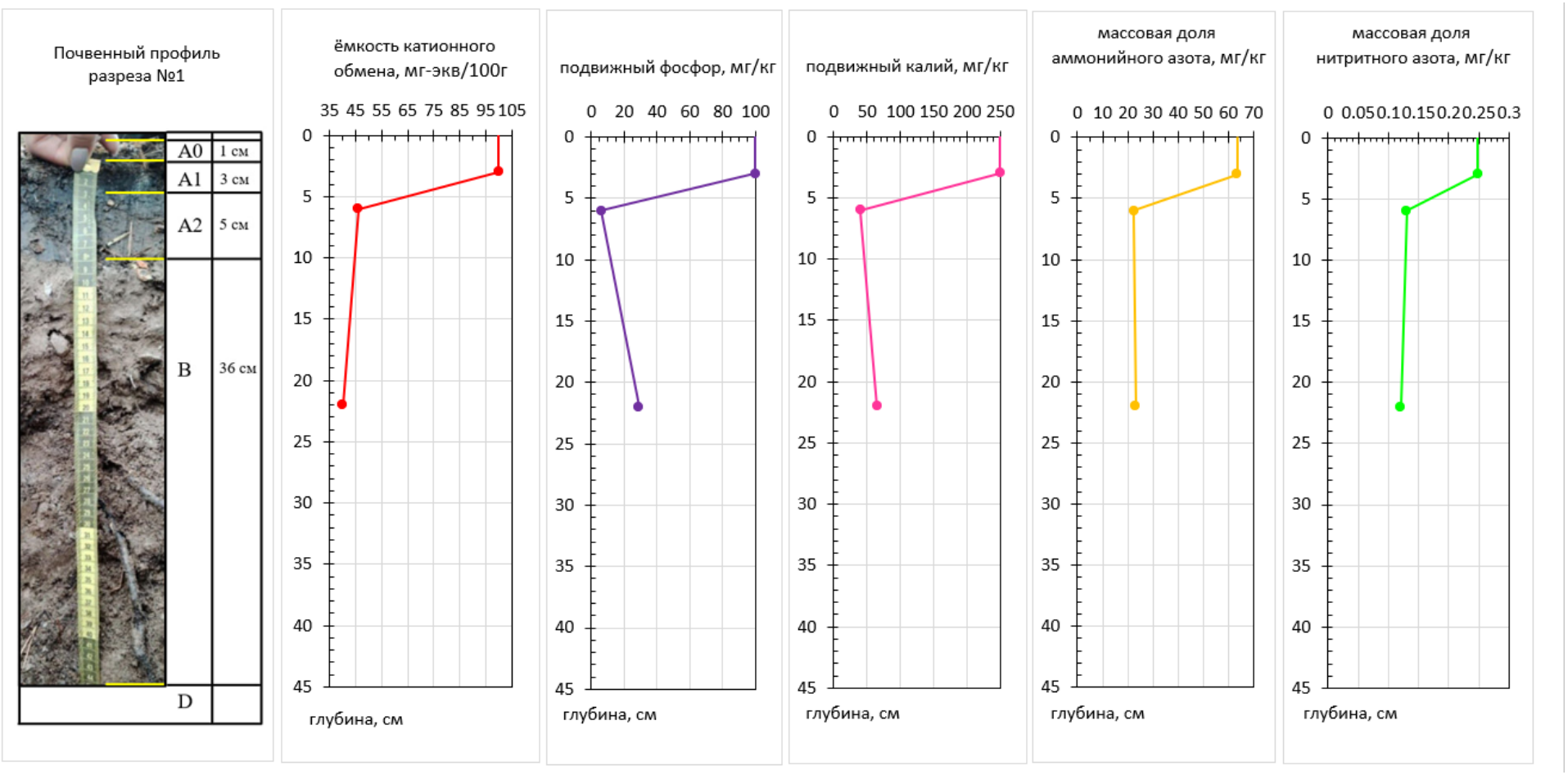


Рисунок 33 – Распределение ёмкости катионного обмена, подвижного фосфора и калия, массовой доли аммонийного и нитритного азота по почвенному профилю разреза №1, заложенного на юго-западном берегу озера Большие Касагалы (на холме)

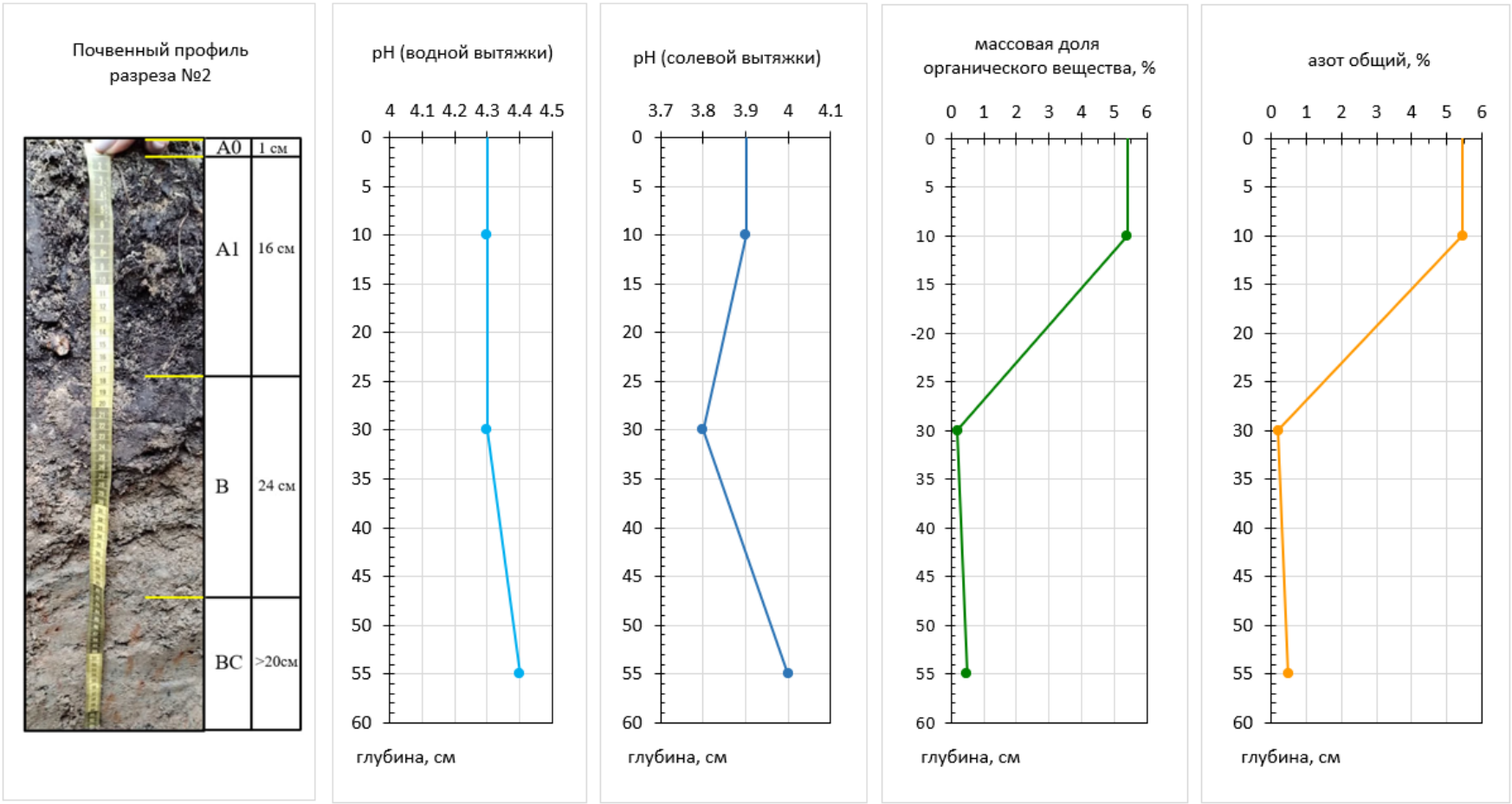


Рисунок 34 – Распределение pH (водной и солевой вытяжки), массовой доли органического вещества и азота общего по почвенному профилю разреза №2, заложенного на северо-восточном берегу озера Большие Касагалы (в 100 метрах от берега, на ровном участке)

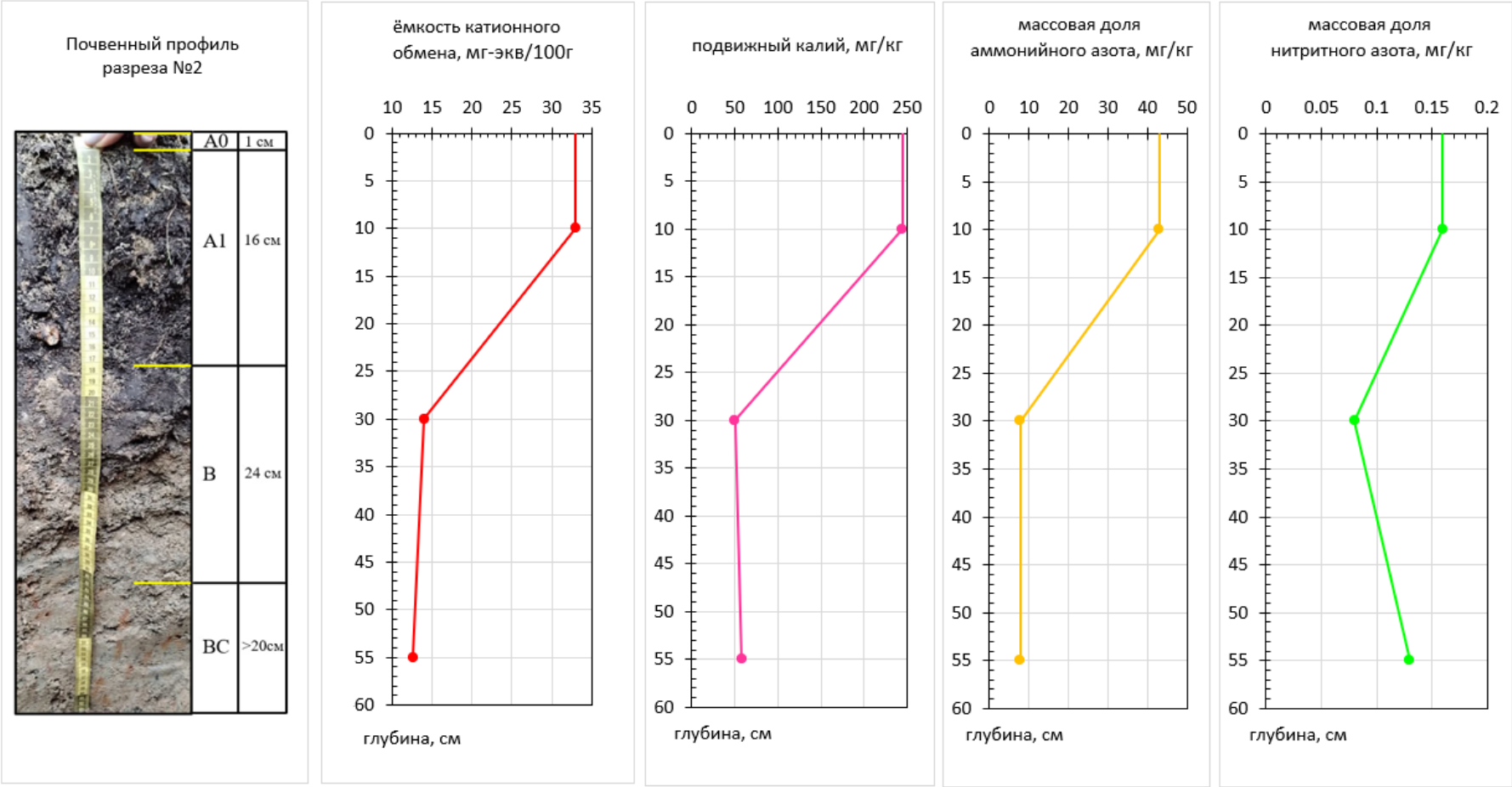


Рисунок 35 – Распределение ёмкости катионного обмена, подвижного фосфора и калия, массовой доли аммонийного и нитритного азота по почвенному профилю разреза №2, заложенного на северо-восточном берегу озера Большие Касагалы (в 100 метрах от берега, на ровном участке)

Таблица 12 – Результаты лабораторных исследований

№	Наименование показателя	Единицы измерения	Результаты испытаний					
Образец			Разрез №1 (ЮЗ, холм)	Разрез №1 (ЮЗ, холм)	Разрез №1 (ЮЗ, холм)	Разрез №2 (СВ, площадка)	Разрез №2 (СВ, площадка)	Разрез №2 (СВ, площадка)
			A1	A2	B	A1	B	BC
1	**Водородный показатель водной вытяжки**	Ph	4,2	4,2	5,5	4,3	4,3	4,4
2	**Водородный показатель солевой вытяжки**	Ph	3,7	3,8	5,0	3,9	3,8	4,0
3	**Массовая доля органического вещества**	%	более 15	1,05	1,06	5,4	0,2	0,49
4	**Азот общий**	%	22,461	1,073	1,037	5,450	0,203	0,489
5	**Емкость катионного обмена**	мг-экв/100г	100	46	40	33	14	12,6
6	**Подвижный фосфор**	мг/кг	101	6,0	29	менее 5,0	менее 5,0	менее 5,0
7	**Подвижный калий**	мг/кг	более 250,0	40	65	245	50	58
8	**Сумма токсичных солей**	%	менее 0,05	менее 0,05	менее 0,05	менее 0,05	менее 0,05	менее 0,05
9	**Массовая доля аммонийного азота**	мг/кг	63,6	22,4	23,2	43,0	менее 7,8	менее 7,8
10	**Массовая доля нитритного азота**	мг/кг	0,248	0,13	0,12	0,16	0,08	0,13

4.2 Флористический состав окрестностей озера

Изучение флористического разнообразия является важным компонентом геоэкологической оценки состояния природной среды. Растительный покров выступает в роли интегрального индикатора, чутко реагирующего как на естественные изменения условий окружающей среды, так и на степень антропогенной трансформации ландшафтов.

Согласно физико-географическому районированию, территория озера Большие Касагалы находится в лесостепной зоне, на стыке с горно-лесным поясом восточных склонов Уральского хребта. Это экотонное положение обусловливает высокое ландшафтное и биологическое разнообразие: здесь смешиваются бореальные (таёжные) и неморальные (широколиственные) элементы флоры [45].

Растительный покров окрестностей озера представлен смешанными лесами с мозаичным сочетанием березовых и сосновых древостоев. Лиственные породы представляют в основном колки берёзы повислой (*Betula pendula*) и осины (*Populus tremula*) (рисунок 36). А значительные хвойные массивы заняты сосной обыкновенной (*Pinus sylvestris*) (рисунок 36), особенно на хорошо дренированных возвышенностях и скалистых берегах. В подлеске этих лесов обычны рябина, черемуха и различные виды ив.



Рисунок 36 - Лиственный и сосновый лес окрестностей озера (фото автора)

Помимо доминирующих древесных пород, флористическое богатство территории формируют сосудистые растения нижних ярусов.

Полевые исследования проводились в августе 2025 года. Для составления флористического списка использовался классический маршрутно-рекогносцировочный метод, традиционно применяемый в геоботанических и флористических исследованиях. Суть метода заключается в последовательном обследовании территории по заранее намеченным маршрутам, охватывающим все разнообразие ландшафтных условий (береговая линия, прилегающие лесные массивы, возвышенные участки рельефа, зоны рекреационного воздействия). Такой подход позволяет зафиксировать не только доминирующие виды, формирующие «облик» сообщества, но и редкие, случайные виды, произрастающие на специфических микроместообитаниях.

Определение видовой принадлежности растений в полевых условиях проводилось с использованием стандартных определителей высших растений [25]. Для верификации данных, а также при работе с труднодиагностируемыми и вегетативными образцами использовалось мобильное приложение Flora Incognita [49], основанное на технологиях компьютерного зрения, позволяющее с высокой долей вероятности определять виды по фотографии.

Экологический анализ выявленной флоры производился по фитоценотическому принципу. Весь видовой состав был распределен по группам в зависимости от приуроченности к определенным типам местообитаний (лесные, лугово-опушечные, прибрежно-водные и сорно-рудеральные). Такой подход позволил оценить характер антропогенной трансформации растительного покрова (по соотношению синантропных и аборигенных видов) и экологические условия территории.

В результате проведённых маршрутных исследований в окрестностях озера Большие Касагалы (включая прибрежную полосу, акваторию в границах зарастания и прилегающие лесные массивы) было выявлено 57 видов сосудистых растений. Анализ флористического списка (полный представлен в

приложении 8) позволяет характеризовать данную территорию как природный комплекс с преобладанием естественных фитоценозов и умеренной антропогенной нагрузкой. Как показано на рисунке 37, в структуре флоры доминируют лесные (~32%) и лугово-опушечные (~28%) виды, что отражает лесостепной характер территории. Высокая доля прибрежно-водных видов (~23%) – отражение озёрной экосистемы. Сорно-рудеральные виды составляют наименьшую долю (~17%) и приурочены исключительно к зонам антропогенного воздействия, что свидетельствует об умеренном уровне рекреационной нагрузки и общей сохранности естественной растительности.

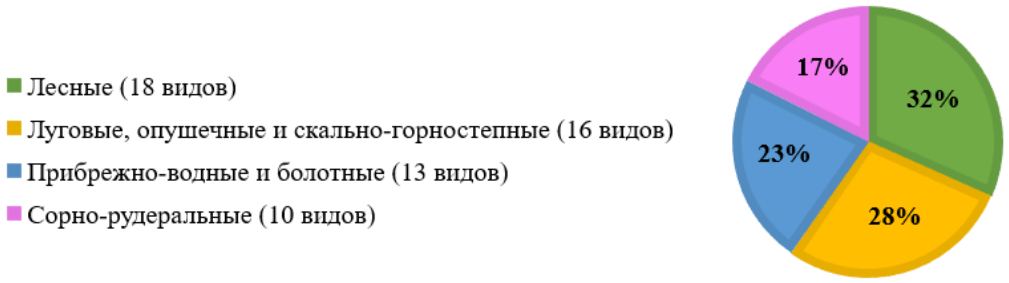


Рисунок 37 – Процентное соотношение выявленных видов сосудистых растений окрестностей оз. Большие Касагалы по экологическим группам

Фотоматериалы, визуализирующие внешний вид растений приведены в таблице приложения 7.

Лесные виды

Данная группа занимает доминирующее положение в структуре растительности, что обусловлено расположением озера в лесостепной зоне на границе с горно-лесной. Всего обнаружено 18 видов сосудистых растений. В подлеске и травяном ярусе сосновых и смешанных лесов обычны *брусника (Vaccinium vitis-idaea)*, *жимолость настоящая (Lonicera xylosteum)*, *шиповник майский (Rosa majalis)*, а также *герань лесная (Geranium sylvaticum)*, *чина весенняя (Lathyrus vernus)* и *костяника (Rubus saxatilis)*.

Характерными индикаторами ненарушенных лесных сообществ выступают *грушанка средняя (Pyrola media)*, *зимолюбка зонтичная (Chimaphila umbellata)*, предпочитающие сухие сосновые боры, а также *орляк*

сосняковый (Pteridium latiusculum), который местами образует моновидовые заросли.

Лугово-опушечные и скально-степные виды

Эта группа приурочена к лесным опушкам, полянам, а также к сухим каменистым склонам холмов, окружающих озеро (особенно с юго-западной стороны). Всего обнаружено 16 видов сосудистых растений. Типичными представителями лугового разнотравья являются *золотарник обыкновенный (Solidago virgaurea), кровохлёбка лекарственная (Sanguisorba officinalis), маньжетка обыкновенная (Alchemilla vulgaris).*

На скальных выходах и сухих склонах отмечены элементы остепнения, в частности *ракитник русский (Cytisus ruthenicus),* что указывает на хорошую инсоляцию и дренированность этих участков рельефа.

Прибрежно-водные и болотные виды (гидрофиты и гигрофиты)

Данная группа формирует облик береговой линии и является важнейшей частью экосистемы озера. Всего обнаружено 13 видов сосудистых растений. Вдоль уреза воды на обсыхающих грунтах и в мелководной зоне абсолютными доминантами выступают сообщества *рогоза узколистного (Typha angustifolia)* и *схеноплектуса озёрного (Schoenoplectus lacustris),* образующие широкую полосу зарослей.

В прибрежной акватории также отмечены виды с плавающими листьями: *кубышка жёлтая (Nuphar lutea)* и земноводные формы *горца земноводного (Persicaria amphibia).* На сырых лугах в зоне переменного подтопления встречаются *вербейник обыкновенный (Lysimachia vulgaris), дербенник иволистный (Lythrum salicaria)* и *шлемник обыкновенный (Scutellaria galericulata).*

Всего студенткой Запиваловой Е. Э. в работе «Экологическое значение высшей водной растительности озер Челябинской области» [22] в 2020 году на территории озера Большие Касагалы было обнаружено 13 видов макрофитов (крупных сосудистых растений, обитающих в водной среде и в условиях избыточного увлажнения) (рисунок 38). Это сравнительно высокое

разнообразие, характерное для мезотрофных водоёмов с умеренной антропогенной нагрузкой. В Восточно-Предгорном гидрологическом районе, к которому относится водоём, преобладают в основном гидатофиты и гигрофиты (гигрофиты - полностью погруженные растения, гидатофиты - растения с плавающими листьями), что можно объяснить большой глубиной озер.

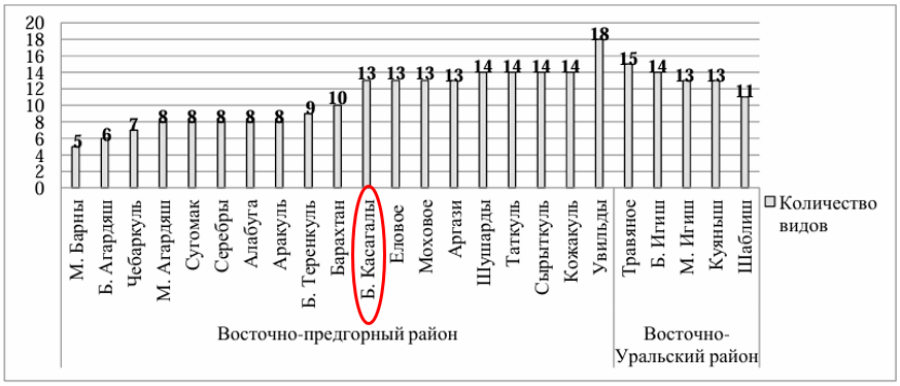


Рисунок 38 - Сравнение количества видов макрофитов оз. Б. Касагалы с другими озёрами района (Запивалова Е. Э., В. В. Дерягин «Экологическое значение высшей водной растительности озер Челябинской области», 2020)

Сорно-рудеральные виды (синантропная флора)

Присутствие этой группы строго локализовано и напрямую коррелирует с зонами активного антропогенного воздействия: территориями баз отдыха («Казгалы», «Зелёный лес»), местами неорганизованных палаточных стоянок, а также вдоль грунтовых дорог. Всего обнаружено 10 видов сосудистых растений.

К наиболее распространённым синантропным видам относятся *бодяк полевой (Cirsium arvense)* и *мать-и-мачеха (Tussilago farfara)* — пионеры нарушенных грунтов. Отмечен также *мелколепестник канадский (Erigeron canadensis)*, являющийся инвазивным видом. Доля сорно-рудеральных видов в общем флористическом списке невелика, однако их наличие служит прямым индикатором рекреационной нагрузки.

Помимо сосудистых растений, в ходе исследований в сосновых лесах на берегу озера были обнаружены два редких вида грибов - макромицетов:

Рогатик язычковый (Clavariadelphus ligula) и Рогатик прямой (Ramaria stricta) (рисунок 39).



Рисунок 39 Рогатик Язычковый (*Clavariadelphus ligula*) и Рогатик Прямой (*Ramaria stricta*)

Первый вид является редким, включён в Красные книги ряда регионов России, в Челябинской области встречается спорадически и приурочен к хвойным и смешанным лесам. Оба вида чувствительны к антропогенному воздействию и произрастают преимущественно в ненарушенных лесных сообществах с обилием лесной подстилки и гниющей древесины. Их наличие служит дополнительным индикатором сохранности естественных лесных биотопов.

Вывод по четвертой главе

В ходе геоэкологической оценки почвенного покрова и растительного мира окрестностей озера Большие Касагалы, выполненной на основе полевых описаний почвенных разрезов (№1 и №2), лабораторных физико-химических анализов почвенных проб, а также маршрутных флористических исследований, установлены зональные особенности природных компонентов и характер их антропогенной трансформации.

Почвенный покров представлен серыми лесными почвами разной степени оподзоливания и оглеения, типичными для лесостепной зоны восточных предгорий Южного Урала. Почвенный профиль чётко дифференцирован на горизонты (A0–A1–A2–B–D). Установлено, что:

Почвы характеризуются сильнокислой реакцией среды (pH солевой вытяжки 3,7–5,0), что является природной, а не техногенной особенностью, обусловленной промывным режимом и разложением кислого лесного опада;

Естественное плодородие низкое: мощность гумусового горизонта мала (3–16 см), содержание органического вещества в минеральной толще крайне низкое (0,2–1,06%), обеспеченность подвижным фосфором варьирует от очень низкой до средней (менее 5–101 мг/кг), при этом содержание подвижного калия высокое (более 40–250 мг/кг);

Ёмкость катионного обмена невысока и снижается с глубиной (от 100 до 12,6 мг-экв/100 г), что связано с лёгким гранулометрическим составом (супеси, лёгкие и тяжёлые суглинки) и преобладанием кварц-полевошпатовых минералов;

Антропогенные маркеры выражены локально: в разрезе №1 (юго-западный берег, зона рекреации) зафиксированы включения угля в гумусовом горизонте — следствие кострищ. Сумма токсичных солей во всех образцах не превышает 0,05%, что свидетельствует об отсутствии критического техногенного загрязнения почв.

Флористический состав окрестностей озера насчитывает 57 видов сосудистых растений, распределённых по экологическим группам: лесные (~32%), лугово-опушечные (~28%), прибрежно-водные (~23%) и сорно-рудеральные (~17%). Доминирование лесных и лугово-опушечных видов отражает лесостепной характер территории на границе с горно-лесной зоной. В прибрежной акватории отмечено 13 видов макрофитов, что характерно для мезотрофных водоёмов с умеренной антропогенной нагрузкой. Выявлены редкие виды грибов (рогатик язычковый, рогатик прямой) как индикаторы ненарушенных сосновых лесов. Сорно-рудеральные виды локализованы исключительно в зонах антропогенного воздействия (базы отдыха, палаточные стоянки, дороги), их умеренная доля свидетельствует о сохранности естественной растительности в целом.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения выпускной квалификационной работы была дана комплексная геоэкологическая оценка природных компонентов озера Большие Касагалы и его окрестностей. Исследование включало анализ физико-географических условий, морфометрических и гидрологических характеристик, гидрохимических показателей качества вод, а также состояния почвенного покрова и растительного мира. На основе полевых работ (батиметрическая съёмка 221 точки промера с использованием эхолота, отбор проб воды и почв, флористические наблюдения), лабораторных химических анализов в аккредитованной лаборатории и камеральной обработки материалов в ГИС «QGIS» были получены новые актуальные данные о геоэкологическом состоянии водоёма и его водосборного бассейна.

1. Озеро Большие Касагалы расположено в южной части Кыштымского городского округа Челябинской области (координаты: 55°37′54″ с.ш., 60°26′54″ в.д.). Котловина озера имеет тектоническое происхождение, климат умеренно-континентальный, преобладающие ветры — северо-западные и западные. Озеро активно используется в рекреационных целях: на его берегах расположены базы отдыха «Казгалы» и «Зелёный лес», ведётся товарное садковое рыбоводство (аквакультура), планируется реконструкция детского оздоровительного лагеря имени Ю.А. Гагарина. В пределах водосборного бассейна отсутствуют сельскохозяйственные угодья и промышленные предприятия, что позволяет рассматривать озеро как потенциально фоновый объект для региона.

2. По результатам батиметрической съёмки установлено, что площадь водного зеркала озера составляет 1,0266 км² (малое озеро), максимальная глубина — 14,7 м, средняя — 6,8 м (глубокое озеро). Длина береговой линии — 5,32 км, коэффициент изрезанности — 1,479 (слабоизрезанная). Коэффициент ёмкости (0,46) и коэффициент глубинности (6,706) подтверждают тектоническое происхождение котловины параболической формы. Объём водной массы — 6,952 млн м³, удельный водосбор — 3,24

(низкий, преобладание атмосферного и подземного питания). Гидрологический режим характеризуется устойчивой летней стратификацией, ледоставом 160–170 дней и повышением уровня воды на 0,4 м в многоводные годы.

3. По результатам гидрохимического анализа пробы воды от 24 августа 2025 года вода является нормально-пресной (минерализация 235,44 мг/дм³), мягкой (2,2 мг-экв/л; 6,3°Ж), слабощелочной (pH 8,40). По классификации О.А. Алекина вода относится к гидрокарбонатному классу, группе кальция, II-му сульфатно-натриевому типу. Для рекреационного водопользования (СанПиН) все показатели в пределах ПДК — вода безопасна для человека. Для рыбохозяйственного водопользования выявлены умеренные превышения ПДК: по азоту нитритному (в 2,4 раза), меди (в 2,1 раза), цинку (в 1,55 раза), марганцу (в 1,3 раза) и азоту аммонийному (в 1,025 раза). Концентрации свинца, кадмия и никеля в пределах нормы. Превышения по нитритам связаны со свежим поступлением органики от садкового рыбоводства, баз отдыха и возможной неисправностью канализации бывшей санаторно-лесной школы, а превышения по меди, цинку и марганцу имеют природное геохимическое происхождение. Данные исследований Запиваловой (2020) по донным отложениям и корневищам тростника подтверждают наименьший уровень загрязнения озера среди водоёмов Карабашской группы. Интегральный индекс загрязнения воды (ИЗВ) составил 1,49 (класс «умеренно загрязнённые воды»), а трофический индекс Карлсона (TSI = 41,9) классифицирует озеро как мезотрофный водоём с умеренной биологической продуктивностью и отсутствием активного эвтрофирования.

Почвенный покров окрестностей озера представлен серыми лесными почвами, имеющими кислую реакцию среды (pH 4,2–5,5), низкое содержание гумуса в минеральной толще (0,2–1,06%) и невысокое естественное плодородие. Сумма токсичных солей не превышает 0,05%, техногенное загрязнение почв отсутствует, антропогенные маркеры выражены локально в виде включений угля от кострищ.

Флористический состав насчитывает 57 видов сосудистых растений, распределённых по экологическим группам: лесные (32%), лугово-опушечные (28%), прибрежно-водные (23%) и сорно-рудеральные (17%). Выявлены редкие и охраняемые виды (наперстянка крупноцветковая, бубенчик лилиелистный, жабрица Крылова), а также два редких вида грибов — рогатик язычковый и рогатик прямой, что свидетельствует о высокой природоохранной ценности территории. Сорно-рудеральные виды локализованы в зонах рекреационного воздействия, что указывает на умеренную антропогенную нагрузку.

4. Таким образом, озеро Большие Касагалы в настоящий момент находится в относительно стабильном геоэкологическом состоянии. Водная масса характеризуется как умеренно загрязнённая, при этом вода полностью безопасна для человека и пригодна для рекреационного использования (включая планируемое восстановление детского лагеря). Почвенный покров не подвержен техногенному засолению, а высокое флористическое разнообразие подтверждает сохранность естественных местообитаний.

Для сохранения и улучшения геоэкологического состояния озера Большие Касагалы рекомендуется: организовать регулярный экологический мониторинг качества воды 2 раза в год по нитритам, аммонию, меди, цинку и марганцу; при реконструкции лагеря имени Ю.А. Гагарина предусмотреть современные очистные сооружения; оборудовать организованные парковки и контейнерные площадки в зонах рекреации; провести информационно-просветительскую работу среди отдыхающих; использовать полученные данные в качестве фоновых для сравнения с другими озёрами региона и в учебном процессе.

Задачи, поставленные в дипломной работе, решены в полном объёме, цель достигнута.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

Нормативно-правовые акты

1. ПНД Ф 16.1:2:2,2:3.51-08. Методика выполнения измерений массовой доли валовых форм металлов в пробах почв, грунтов и донных отложений атомно-абсорбционным методом. – Текст : непосредственный.

2. Р 7б/194-2016 (ФР.1.31.2018.29177). Методика выполнения измерений массовой доли нефтепродуктов в пробах почвы гравиметрическим методом. – Текст : непосредственный.

3. Российская Федерация. Приказы. Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций загрязняющих веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения : Приказ Федерального агентства по рыболовству от 26 мая 2025 г. № 296 // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов : сайт. – URL: https://docs.cntd.ru/document/1312976080 (дата обращения: 15.04.2026).

4. Российская Федерация. Стандарты. ГОСТ 17.4.4.01-84. Охрана природы. Почвы. Метод определения емкости катионного обмена : введен 01.01.1986. – Текст : непосредственный. (п. 4.2.1, 4.2.2)

5. Российская Федерация. Стандарты. ГОСТ 17.5.4.02-84. Охрана природы. Рекультивация земель. Метод измерения и расчета суммы токсичных солей во вскрышных и вмещающих породах : введен 01.01.1986. – Текст : непосредственный. (п. 5.8)

6. Российская Федерация. Стандарты. ГОСТ 26204-91. Почвы. Определение подвижных соединений фосфора и калия по методу Чирикова в модификации ЦИНАО : введен 01.07.1992. – Текст : непосредственный.

7. Российская Федерация. Стандарты. ГОСТ 26213-2021. Почвы. Методы определения органического вещества : введен 01.07.2022. – Текст : непосредственный. (п. 6.1)

8. Российская Федерация. Стандарты. ГОСТ 26423-85. Почвы. Методы определения удельной электрической проводимости, pH и плотного остатка водной вытяжки : введен 01.01.1986. – Текст : непосредственный.

9. Российская Федерация. Стандарты. ГОСТ 26483-85. Почвы. Приготовление солевой вытяжки и определение ее pH по методу ЦИНАО : введен 01.01.1986. – Текст : непосредственный.

10. Российская Федерация. Стандарты. ГОСТ 31861-2012. Вода. Общие требования к отбору проб : введен в действие с 1 января 2014 г. – Текст : непосредственный.

11. Российская Федерация. Стандарты. ГОСТ Р 58596-2019. Почвы. Методы определения обменной кислотности : введен 01.07.2020. – Текст : непосредственный.

12. СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания : утверждены 28 января 2021 г. // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов : сайт. – URL: https://docs.cntd.ru/document/573500115 (дата обращения: 15.04.2026).

Картографические материалы

13. N-41-I (Кыштым). Государственная геологическая карта Российской Федерации. Издание второе. Карта дочетвертичных образований. Южно-Уральская серия // Geokniga.org : сайт. – URL: https://www.geokniga.org/maps/30735?ysclid=mo2o7hwks6870419304 (дата обращения: 15.04.2026).

14. N-41-I (Кыштым). Государственная геологическая карта Российской Федерации. Издание второе. Карта четвертичных образований. Южно-Уральская серия // Geokniga.org : сайт. – URL: https://www.geokniga.org/maps/30737 (дата обращения: 15.04.2026).

15. Кыштым на карте Челябинской области и России// Etomesto.ru : сайт. – URL: http://www.etomesto.ru/na-karte-kyshtym/?ysclid=mqez6knjwr967512486 (дата обращения: 15.04.2026).

16. Челябинская область. Атлас / под редакцией профессора В. В. Латюшина. – 3-е изд., перераб. и доп. – Челябинск : АБРИС, 2010. – 32 с. – Текст : непосредственный.

Книги (монографии, учебные пособия, практикумы)

17. Алекин, О. А. Основы гидрохимии : учебное пособие для вузов / О. А. Алекин ; ответственный редактор С. В. Бруевич. – Ленинград : Гидрометеорологическое издательство, 1970. – 443 с.

18. Андреева, М. А. Озера Среднего и Южного Урала / М. А. Андреева. – Челябинск : ЮУКИ, 1973. – 272 с.

19. Андреева, М. А. Полевая практика по общему землеведению : для студентов-заочников I-II курсов географических факультетов педагогических институтов / М. А. Андреева, В. А. Дзикович, В. Т. Дмитриева, Н. П. Матвеев ; ответственный редактор Н. П. Матвеев ; Московский государственный заочный педагогический институт. – Москва : Просвещение, 1991. – 111 с.

20. Богословский, Б. Б. Озероведение / Б. Б. Богословский. – Москва, 1960.

21. Жучкова, В. К. Методы комплексных физико-географических исследований : учебное пособие для студентов вузов / В. К. Жучкова, Э. М. Раковская. – Москва : Академия, 2004. – 368 с. – ISBN 5-7695-1430-2.

22. Запивалова, Е. А. Экологическое значение высшей водной растительности озер Челябинской области / Е. А. Запивалова, В. В. Дерягин // Хабибуллина А. Г. – Челябинск, 2020. – С. 54.

23. Захаров, С. Г. Мы изучаем озера : учебно-методическое пособие для учителей общеобразовательных школ и педагогов дополнительного образования / С. Г. Захаров. – Челябинск, 2001. – 60 с. –

24. Кауричев, И. С. Практикум по почвоведению : для агрономических специальностей / И. С. Кауричев, Н. П. Панов, М. В. Стратонович [и др.] ; под редакцией И. С. Кауричева. – 4-е изд., перераб. и доп. – Москва : Агропромиздат, 1986. – 335 с.

25. Куликов, П. В. Определитель сосудистых растений Челябинской области / П. В. Куликов ; ответственный редактор В. А. Мухин ; Российская академия наук, Уральское отделение, Ботанический сад. – Екатеринбург : Ботсад УрО РАН, 2010. – 969 с.

26. Никаноров, А. М. Гидрохимия : учебник / А. М. Никанорв. – Изд. 2-е, перераб. и доп. – Санкт-Петербург : Гидрометеоиздат, 2001. – 444 с.

27. Перельман, А. И. Геохимия природных вод / А. И. Перельман. – Москва : Наука, 1982. – 151 с.

28. Почвоведение : учебник : в 2 частях / под редакцией В. А. Ковды, Б. Г. Розанова. – Москва : Высшая школа, 1988.

29. Почвоведение : учебник для вузов / К. Ш. Казеев [и др.] ; ответственные редакторы К. Ш. Казеев, С. И. Колесников. – 5-е изд., перераб. и доп. – Москва : Юрайт, 2022. – 427 с.

30. Рагимов, А. О. Почвоведение : учебное пособие / А. О. Рагимов [и др.] ; Владимирский государственный университет имени А. Г. и Н. Г. Столетовых. – Владимир : Изд-во ВлГУ, 2020. – 251 с.

31. Терехина, Н. В. Полевая учебная практика по биогеографии : учебно-методическое пособие / Н. В. Терехина. – Санкт-Петербург : Изд-во СПбГУ, 2022. – 106 с.

32. Челябинская область. Кыштымский городской округ. Рабочая тетрадь юного краеведа. – Челябинск : Абрис, 2012. – 28 с.

Электронные ресурсы

33. ClimateCharts.net : сайт. – URL: https://climatecharts.net/ (дата обращения: 15.04.2026).

34. Google Earth : сайт. – URL: http://earthgoogle.ru/ (дата обращения: 15.04.2026).

35. Алексей Текслер о лагере рядом с Кыштымом: «Надо вернуть его детям» // 1obl.ru : сайт. – 2023. – URL: https://www.1obl.ru/news/o-lyudyakh/aleksey-teksler-o-detskom-lagere-v-kyshtyme-nado-vernut-ego-detyam/ (дата обращения: 15.04.2026).

36. Архив погоды в Кыштыме // World-Weather.ru : сайт. – URL: https://world-weather.ru/archive/russia/kyshtym/ (дата обращения: 15.04.2026).

37. База отдыха «Зелёный лес» : сайт. – URL: https://greenwood174.ru/ (дата обращения: 15.04.2026).

38. Базы отдыха // Администрация Кыштымского городского округа : сайт. – URL: https://www.adminkgo.ru/kyshtym/index.php (дата обращения: 15.04.2026).

39. В кыштымских лесах больше всего обитает зайцев и лосей // kr74.ru : сайт. – URL: http://www.kr74.ru/ecology/14966-v-kyshtymskih-lesah-bolshe-vsego-obitaet-zaycev-i-losey.html (дата обращения: 15.04.2026).

40. Загрязнение воды: причины и последствия для экологии // Наука Mail : сайт. – URL: https://science.mail.ru/articles/3355-zagryaznenie-vody/ (дата обращения: 15.04.2026).

41. Инвестиционный паспорт Кыштымского городского округа // Администрация Кыштымского городского округа : сайт. – URL: https://investregion174.ru/upload/iblock/9cb/xhfaasrof24ps4fyhm2derwv4gmvlzas/Investpasport-Kyshtymskogo-GO.pdf (дата обращения: 15.04.2026).

42. Казгалы озеро // Catcher.fish : сайт. – URL: https://catcher.fish/enciklopedia/vodoemy/urfo/kazgaly-ozero/ (дата обращения: 15.04.2026).

43. Красивая картина в темных тонах. Как живет поселок на краю самого большого в России графитового карьера // 74.ru : сайт. – URL: //74.ru/text/gorod/2024/08/18/73957727/?ysclid=mqezo30ga8962156362 (дата обращения: 15.04.2026).

44. Лесная школа имени Гагарина – ненужная роскошь // Uralpress.ru : сайт. – 2023. – URL: https://uralpress.ru/news/est-mnenie/lesnaya-shkola-imeni-gagarina-nenuzhnaya-roskosh (дата обращения: 15.04.2026).

45. Логинова, А. Д. Петрофитно-степная флора Кыштымского горного Урала, история изучения и современное состояние / А. Д. Логинова, А. Ю. Тептина. – Текст : электронный // Электронный архив Уральского

федерального университета : сайт. – URL: https://elar.urfu.ru/bitstream/10995/96249/1/978-5-7741-0341-6_2018_107.pdf (дата обращения: 15.04.2026).

46. Население поселка Тайгинка в Кыштыме (Челябинская область) // BDEX.ru : сайт. – URL: https://bdex.ru/naselenie/chelyabinskaya-oblast/kyshtym/n/tayginka/ (дата обращения: 15.04.2026).

47. Результаты аукциона на право заключения договора пользования рыбоводным участком... // Нижнеобское территориальное управление Федерального агентства по рыболовству : сайт. – 2023. – URL: https://noturfish.ru/news/rezultatyi-auktsiona-na-pravo-zaklyucheniya-dogovora-polzovaniya-ryibovodnyim-uchastkom-raspolozhennyim-na-territorii-chelyabinskoy-oblasti-dlya-osuschestvleniya-akvakulturyi-1 (дата обращения: 15.04.2026).

48. Уральская комплексная лаборатория промышленного и гражданского строительства «УралСтройЛаб»: сайт. – URL: https://uralstroylab.ru/uslugi/?ysclid=mqexl1vx7w147762005 (дата обращения: 15.04.2026).

Программное обеспечение

49. Flora Incognita : мобильное приложение для автоматического распознавания растений по фотографиям. – Версия 3.7.8 – Ilmenau : Technische Universität Ilmenau, 2023. – URL: https://floraincognita.com/ (дата обращения: 17.04.2026).

50. Inkscape 1.3.2 : программа для работы с векторной графикой. – URL: https://inkscape.org/release/all/windows/ (дата обращения: 15.04.2026).

51. QGIS 3.36.2 : геоинформационная система. – URL: https://qgis.org/ru/site/forusers/download.html (дата обращения: 15.04.2026).

Видеоматериалы

52. Построение батиметрической карты в QGIS 3 : видеозапись. – 2023. – URL: https://youtu.be/snNl1HhyQEI (дата обращения: 15.04.2026).

53. Построение водосборов озёр в QGIS // Уроки QGIS : видеозапись. – URL: https://youtu.be/776Dvf10n0s (дата обращения: 15.04.2026).

54. Строю поперечный профиль в QGIS по цифровой модели рельефа // Уроки QGIS : видеозапись. – 2023. – URL: https://youtu.be/OuAxAIOtaKs (дата обращения: 15.04.2026).

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

Иллюстративные материалы

База отдыха «Казгалы» *(фото автора)*



Рисунок 1 – Домики смотрителя базы



Рисунок 2 – Домашняя птица





Рисунок 3, 4 – Мангальные зоны



Рисунок 5 – Горка





Рисунок 6, 7 – Пляж

МБСЛШ им. Ю.А. Гагарина (*Фото: Виталий Авиатор/ Вконтакте)*



Рисунок 8 – Указатель на лагерь им. Ю. А. Гагарина



Рисунок 9 – Въезд в лагерь им. Ю. А. Гагарина (сторожевой пункт)



Рисунок 10 – Здание столовой



Рисунок 11 – Заброшенные корпуса



Рисунок 12 – Самолёт МиГ-17.



Рисунок 13 – Лодочно-спасательная станция



Рисунок 14 – Мозаика «Становление комсомола»



Рисунок 15 – Вид на оз. Большие Касагалы



Рисунок 16 – Заросший пляж

Приложение 2

Таблица 1 – Журнал промеров глубин

№ точки	широта, N	долгота, E	глубина, м
1	55°37'41"	60°27'16"	4,2
2	55°37'41"	60°27'15"	5,8
3	55°37'42"	60°27'15"	6,9
4	55°37'43"	60°27'13"	7,5
5	55°37'43"	60°27'11"	8,8
6	55°37'44"	60°27'10"	9,1
7	55°37'44"	60°27'09"	10,5
8	55°37'44"	60°27'08"	10,9
9	55°37'45"	60°27'07"	10,8
10	55°37'45"	60°27'06"	11
11	55°37'45"	60°27'05"	11,2
12	55°37'46"	60°27'04"	11,4
13	55°37'46"	60°27'03"	11,5
14	55°37'47"	60°27'02"	11,8
15	55°37'47"	60°27'00"	12
16	55°37'48"	60°26'59"	12,1
17	55°37'48"	60°26'58"	12,1
18	55°37'48"	60°26'57"	12,2
19	55°37'49"	60°26'55"	13,4
20	55°37'49"	60°26'54"	13,6
21	55°37'50"	60°26'53"	13,6
22	55°37'50"	60°26'50"	13,5
23	55°37'51"	60°26'49"	13,3
24	55°37'51"	60°26'48"	13,2
25	55°37'52"	60°26'46"	12,8
26	55°37'52"	60°26'44"	12,4
27	55°37'53"	60°26'43"	12,3
28	55°37'53"	60°26'42"	12
29	55°37'53"	60°26'40"	11,6
30	55°37'54"	60°26'39"	11
31	55°37'54"	60°26'38"	10,3
32	55°37'54"	60°26'36"	9,5
33	55°37'54"	60°26'35"	9
34	55°37'54"	60°26'34"	8,5
35	55°37'54"	60°26'33"	8,3
36	55°37'54"	60°26'32"	7,5
37	55°37'54"	60°26'30"	6
38	55°37'55"	60°26'29"	5
39	55°37'55"	60°26'28"	4
40	55°37'54"	60°26'27"	3,6
41	55°37'54"	60°26'25"	3,2
42	55°37'53"	60°26'25"	3,7
43	55°37'53"	60°26'26"	5,3
44	55°37'52"	60°26'27"	6
45	55°37'52"	60°26'28"	6,2

№ точки	широта, N	долгота, E	глубина, м
46	55°37'51"	60°26'28"	6,1
47	55°37'51"	60°26'29"	5,9
48	55°37'51"	60°26'30"	5,9
49	55°37'50"	60°26'31"	6,2
50	55°37'50"	60°26'32"	6,5
51	55°37'50"	60°26'33"	7,1
52	55°37'50"	60°26'35"	8
53	55°37'49"	60°26'36"	8,3
54	55°37'49"	60°26'39"	9,5
55	55°37'49"	60°26'40"	10
56	55°37'48"	60°26'40"	10,2
57	55°37'48"	60°26'41"	10,5
58	55°37'47"	60°26'42"	10,3
59	55°37'47"	60°26'43"	10,6
60	55°37'47"	60°26'44"	10,6
61	55°37'46"	60°26'45"	10,8
62	55°37'45"	60°26'45"	10,7
63	55°37'45"	60°26'46"	10,5
64	55°37'44"	60°26'46"	10,4
65	55°37'44"	60°26'47"	10,2
66	55°37'43"	60°26'47"	9,5
67	55°37'43"	60°26'48"	9,4
68	55°37'42"	60°26'48"	8,8
69	55°37'42"	60°26'49"	8,5
70	55°37'42"	60°26'49"	8,1
71	55°37'41"	60°26'49"	7,9
72	55°37'41"	60°26'50"	7,7
73	55°37'41"	60°26'51"	7,5
74	55°37'40"	60°26'51"	6,3
75	55°37'40"	60°26'52"	6,2
76	55°37'40"	60°26'53"	7,1
77	55°37'39"	60°26'53"	6,9
78	55°37'39"	60°26'54"	7,1
79	55°37'39"	60°26'55"	7
80	55°37'39"	60°26'56"	6,8
81	55°37'39"	60°26'57"	7
82	55°37'39"	60°26'58"	7,1
83	55°37'38"	60°26'59"	7
84	55°37'38"	60°27'00"	7,1
85	55°37'38"	60°27'01"	7,2
86	55°37'38"	60°27'02"	7,1
87	55°37'38"	60°27'03"	6,7
88	55°37'38"	60°27'04"	6,5
89	55°37'38"	60°27'05"	5,3
90	55°37'38"	60°27'06"	5

№ точки	широта, N	долгота, E	глубина, м
91	55°37'37"	60°27'06"	4,2
92	55°37'37"	60°27'07"	5
93	55°37'38"	60°27'07"	5,8
94	55°37'38"	60°27'08"	6,3
95	55°37'39"	60°27'08"	7,1
96	55°37'40"	60°27'09"	8
97	55°37'41"	60°27'10"	8,4
98	55°37'42"	60°27'10"	8,5
99	55°37'42"	60°27'11"	8,4
100	55°37'43"	60°27'11"	8,5
101	55°37'44"	60°27'12"	8
102	55°37'45"	60°27'12"	7
103	55°37'45"	60°27'13"	6,3
104	55°37'46"	60°27'13"	6
105	55°37'47"	60°27'13"	5,9
106	55°37'48"	60°27'13"	6
107	55°37'49"	60°27'13"	4,5
108	55°37'49"	60°27'14"	3,7
109	55°37'49"	60°27'15"	2
110	55°37'50"	60°27'15"	1,5
111	55°37'50"	60°27'13"	4,2
112	55°37'51"	60°27'13"	5,2
113	55°37'51"	60°27'12"	6
114	55°37'52"	60°27'12"	6
115	55°37'53"	60°27'12"	5,9
116	55°37'54"	60°27'12"	6,6
117	55°37'54"	60°27'13"	6,1
118	55°37'55"	60°27'14"	5,9
119	55°37'55"	60°27'15"	6,2
120	55°37'55"	60°27'16"	6,1
121	55°37'55"	60°27'17"	5,9
122	55°37'55"	60°27'18"	4,6
123	55°37'55"	60°27'19"	3,5
124	55°37'56"	60°27'17"	4,4
125	55°37'56"	60°27'16"	4
126	55°37'57"	60°27'16"	4,3
127	55°37'57"	60°27'15"	5,1
128	55°37'58"	60°27'14"	6
129	55°37'58"	60°27'13"	6,4
130	55°37'59"	60°27'13"	7,4
131	55°37'59"	60°27'12"	6,6
132	55°38'00"	60°27'12"	7
133	55°38'01"	60°27'11"	8,1
134	55°38'02"	60°27'11"	9,6
135	55°38'03"	60°27'10"	10

№ точки	широта, N	долгота, E	глубина, м
136	55°38'04"	60°27'10"	11
137	55°38'04"	60°27'11"	10,8
138	55°38'05"	60°27'11"	10,4
139	55°38'05"	60°27'10"	10,5
140	55°38'06"	60°27'10"	10,6
141	55°38'07"	60°27'10"	10,3
142	55°38'07"	60°27'09"	10,2
143	55°38'07"	60°27'08"	11
144	55°38'08"	60°27'08"	11,1
145	55°38'08"	60°27'07"	11,3
146	55°38'08"	60°27'06"	11,2
147	55°38'09"	60°27'06"	11
148	55°38'09"	60°27'05"	10,9
149	55°38'10"	60°27'05"	10,7
150	55°38'10"	60°27'04"	10,4
151	55°38'11"	60°27'03"	10,2
152	55°38'11"	60°27'02"	10
153	55°38'12"	60°27'02"	9,5
154	55°38'12"	60°27'01"	8,7
155	55°38'13"	60°27'00"	7,8
156	55°38'14"	60°26'59"	6,2
157	55°38'14"	60°26'58"	5,6
158	55°38'14"	60°26'57"	3,6
159	55°38'15"	60°26'56"	4,5
160	55°38'15"	60°26'55"	2,5
161	55°38'15"	60°26'54"	1,7
162	55°38'14"	60°26'54"	5,1
163	55°38'14"	60°26'55"	5,6
164	55°38'13"	60°26'55"	6,7
165	55°38'12"	60°26'55"	8
166	55°38'11"	60°26'56"	9,9
167	55°38'10"	60°26'56"	10,9
168	55°38'09"	60°26'56"	11,2
169	55°38'08"	60°26'56"	11,4
170	55°38'07"	60°26'55"	12,2
171	55°38'06"	60°26'55"	12,7
172	55°38'05"	60°26'54"	13
173	55°38'04"	60°26'54"	13,4
174	55°38'04"	60°26'53"	13,6
175	55°38'03"	60°26'52"	13,8
176	55°38'03"	60°26'51"	14,2
177	55°38'02"	60°26'51"	14,4
178	55°38'02"	60°26'52"	14,2
179	55°38'01"	60°26'52"	14,5
180	55°38'01"	60°26'53"	14,5

№ точки	широта, N	долгота, E	глубина, м
180	55°38'01"	60°26'53"	14,5
181	55°38'00"	60°26'53"	14,6
182	55°37'59"	60°26'53"	14,7
183	55°37'58"	60°26'53"	14,6
184	55°37'57"	60°26'52"	14,6
185	55°37'56"	60°26'51"	14,3
186	55°37'55"	60°26'51"	14,4
187	55°37'54"	60°26'51"	14,3
188	55°37'53"	60°26'51"	14,2
189	55°37'52"	60°26'50"	13,9
190	55°37'51"	60°26'50"	13,7
191	55°37'51"	60°26'51"	13,8
192	55°37'51"	60°26'52"	14
193	55°37'52"	60°26'54"	14,4
194	55°37'52"	60°26'56"	14,3
195	55°37'53"	60°26'58"	14,5
196	55°37'54"	60°26'59"	14,4
197	55°37'53"	60°26'58"	14,5
198	55°37'52"	60°26'58"	14,2
199	55°37'51"	60°26'59"	14,1
200	55°37'51"	60°26'59"	13,9
201	55°37'50"	60°27'00"	13,6
202	55°37'50"	60°27'00"	13,2
203	55°37'49"	60°27'01"	12,7
204	55°37'48"	60°27'02"	12,2
205	55°37'47"	60°27'02"	11,8
206	55°37'47"	60°27'03"	11,7
207	55°37'46"	60°27'04"	11,3
208	55°37'46"	60°27'05"	11,1
209	55°37'45"	60°27'06"	10,9
210	55°37'45"	60°27'08"	10,5
211	55°37'44"	60°27'08"	10,7
212	55°37'44"	60°27'09"	9,4
213	55°37'44"	60°27'10"	8,8
214	55°37'44"	60°27'11"	8,4
215	55°37'43"	60°27'12"	7,8
216	55°37'43"	60°27'13"	7,1
217	55°37'43"	60°27'14"	6,8
218	55°37'43"	60°27'15"	5,5
219	55°37'42"	60°27'16"	4
220	55°37'42"	60°27'17"	3,3
221	55°37'42"	60°27'18"	2,8

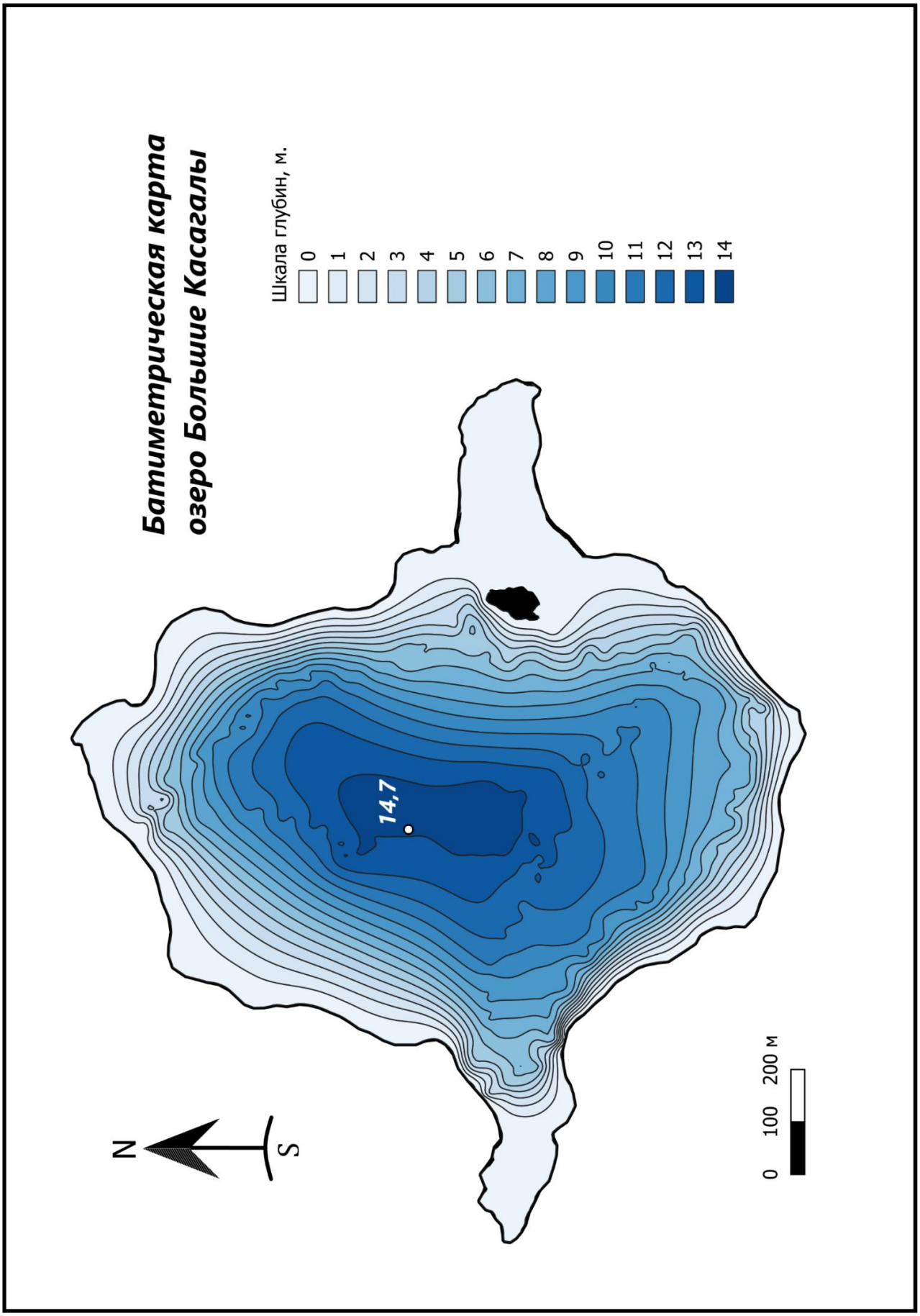

Батиметрическая карта
озеро Большие Касагалы
Шкала глубин, м.
0
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
14,7
N
S
0 100 200 м

Таблица 2 – Морфометрические характеристики озера Большие Касагалы

Характеристика	Значения и единицы измерения
Площадь озера, $S_{оз}$	1,03 км²
Площадь острова, $S_{ост}$	0,003444 км²
Площадь заболоченных участков, $S_{мелковод.уч}$	0,39 км²
Площадь водного зеркала, $S_з$	1,026556 км²
Длина береговой линии, $l_{оз}$	5,05 км
Длина береговой линии острова, $l_{ост}$	0,27 км
Общая длина береговой линии, $l_{общ}$	5,32 км
Длина озера, A	1,64 км
Ширина озера, B	1,35 км
Максимальная глубина, $H_{макс}$	14,7 м
Средняя глубина, $H_{ср}$	6,773 ≈ 7 м
Площадь водосбора, F	3,34 км^2
Объём водной массы, $V_{оз}$	6,952 млн. м^3
Удельный водосбор, f	3,24 км²
Коэффициент развития (береговой линии, $К_р$	1,479
Коэффициент ёмкости, $К_{ём}$	0,46
Коэффициент глубинности, $К_{гл}$	6,706
Коэффициент открытости, $К_{от}$	0,152
Коэффициент островности или удельная площадь островов в озере, I	0,00334

Приложение 5

Таблица 3 – Результаты лабораторных химических исследований проб почв с учетом погрешности и ГОСТам

	Наименование показателя	Единицы измерения	Результаты испытаний ± характеристика погрешности (расширенная неопределенность) (P=0,95)						НД на методы испытаний
Образец			Разрез №1 (ЮЗ, холм)	Разрез №1 (ЮЗ, холм)	Разрез №1 (ЮЗ, холм)	Разрез №2 (СВ, площадка)	Разрез №2 (СВ, площадка)	Разрез №2 (СВ, площадка)	
			A1	A2	B	A1	B	BC	
1	Водородный показатель водной вытяжки	Ph	4,2 ± 0,1	4,2 ± 0,1	5,5 ± 0,1	4,3 ± 0,1	4,3 ± 0,1	4,4 ± 0,1	ГОСТ 26423-85 (п. 4.1, 4.3, 5)
2	Водородный показатель солевой вытяжки	Ph	3,7 ± 0,1	3,8 ± 0,1	5,0 ± 0,1	3,9 ± 0,1	3,8 ± 0,1	4,0 ± 0,1	ГОСТ 26483
3	Массовая доля органического вещества	%	более 15	1,05 ± 0,21	1,06 ± 0,21	5,4 ± 0,5	0,2 ± 0,04	0,49 ± 0,1	ГОСТ 26213-2021 (п. 6.1)
4	Азот общий	%	22,461 ± 1,803	1,073 ± 0,092	1,037 ± 0,089	5,450 ± 0,442	0,203 ± 0,022	0,489 ± 0,045	ГОСТ Р 58596
5	Емкость катионного обмена	мг-экв/100г	100 ± 20	46 ± 9	40 ± 8	33 ± 7	14 ± 2,8	12,6 ± 2,5	ГОСТ 17.4.4.01, п. 4.2.1, 4.2.2
6	Подвижный фосфор	мг/кг	101 ± 12	6,0 ± 0,9	29 ± 4	менее 5,0	менее 5,0	менее 5,0	ГОСТ 26204
7	Подвижный калий	мг/кг	более 250,0	40 ± 6	65 ± 10	245 ± 25	50 ± 8	58 ± 9	ГОСТ 26204
8	Сумма токсичных солей	%	менее 0,05	менее 0,05	менее 0,05	менее 0,05	менее 0,05	менее 0,05	ГОСТ 17.5.4.02-84 (п. 5.8)
9	Массовая доля аммонийного азота	мг/кг	63,6 ± 7,4	22,4 ± 2,6	23,2 ± 2,7	43,0 ± 5,0	менее 7,8	менее 7,8	Р 7б/194-2016 (ФР.1.31.2018.29177)
10	Массовая доля нитритного азота	мг/кг	0,248 ± 0,099	0,13 ± 0,05	0,12 ± 0,05	0,16 ± 0,07	0,08 ± 0,03	0,13 ± 0,05	ПНД Ф 16.1:2:2, 2:3 51 08

Приложение 6

Таблица 4 – Классификация растений окрестностей озера Большие Касагалы по типам местообитаний (экологическим группам)

Лесные виды (растут в хвойных, смешанных и лиственных лесах)		
		
Жимолость настоящая *Lonicera xylosteum*	Брусника *Vaccinium vitis-idaea*	Шиповник майский *Rosa majalis*
		
Наперстянка крупноцветковая *Digitalis grandiflora*	Какалия копьевидная *Parasenecio hastatus*	Купена душистая *Polygonatum odoratum*
		
Герань лесная *Geranium sylvaticum*	Костяника *Rubus saxatilis*	Фиалка удивительная *Viola mirabilis*

		
Грушанка средняя *Pyrola media*	Ортилия однобокая *Orthilia secunda*	Зимолюбка зонтичная *Chimaphila umbellata*
		
Смолёвка поникшая *Silene nutans*	Хвощ лесной *Equisetum sylvaticum*	Орляк сосняковый *Pteridium latiusculum subsp. pinetorum*
		
Ожика волосистая *Luzula pilosa*	Горошек лесной *Vicia sylvatica*	Чина весенняя *Lathyrus vernus*

Луговые и опушечные виды
(растут на суходольных лугах, лесных полянах и опушках)
и скально-горностепные виды
(предпочитают каменистые склоны, остепнённые участки)

		
Золотарник обыкновенный *Solidago virgaurea*	Соссюрея спорная *Saussurea controversa*	Бубенчик лилиелистный *Adenophora liliifolia*
		
Кровохлёбка лекарственная *Sanguisorba officinalis*	Манжетка обыкновенная *Alchemilla vulgaris agg.*	Вероника лекарственная *Veronica officinalis*
		
Гравилат алеппский *Geum aleppicum*	Репешок волосистый *Agrimonia pilosa*	Ястребинка *Hieracium*

		
Черноголовка обыкновенная *Prunella vulgaris*	Буквица лекарственная *Betonica officinalis*	Ракитник русский *Cytisus ruthenicus*
		
Барбарис обыкновенный *Berberis vulgaris*	Жабрица крылова *Seseli krylovii*	Очитник трёхлистный *Hylotelephium telephium agg.*

Прибрежно-водные и болотные виды (растут по берегам водоёмов, на сырых лугах, болотах)		
		
Схеноплектус озёрный *Schoenoplectus lacustris agg.*	Рогоз узколистный *Typha angustifolia*	Хвощ топяной *Equisetum fluviatile*

		
Стрелолист обыкновенный *Sagittaria sagittifolia*	Кубышка жёлтая *Nuphar lutea*	Горец земноводный *Persicaria amphibia*
		
Наумбургия кистецветная *Lysimachia thyrsiflora*	Дербенник иволистный *Lythrum salicaria*	Шлемник обыкновенный *Scutellaria galericulata*
		
Лютик длиннолистный *Ranunculus lingua*	Осока метельчатая *Carex paniculata*	Лапчатка эгеда *Argentina anserina*
	Вербейник обыкновенный *Lysimachia vulgaris*	

Сорно-рудеральные и придорожные виды
(растут на нарушенных местообитаниях, у дорог, на полях)

		
Бодяк розовый *Cirsium arvense*	Мать-и-мачеха *Tussilago farfara*	Донник лекарственный *Melilotus officinalis*
		
Мелколепестник канадский *Erigeron canadensis*	Мелколепестник едкий *Erigeron acris*	Пикульник двунадрезанный *Galeopsis bifida*
		
Будра плющевидная *Glechoma hederacea agg*	Кипрей ложнокраснеющий *Epilobium pseudorubescens*	Кипрей горный *Epilobium montanum*
	Вяжечка голая *Turritis glabra*	

Приложение 8

Флористический список сосудистых растений окрестностей озера Большие Касагалы с распределением по экологическим группам

1. Лесные виды (растут в хвойных, смешанных и лиственных лесах):

1.1. Кустарники и кустарнички подлеска
1) Брусника (*Vaccinium vitis-idaea*)
2) Жимолость настоящая (*Lonicera xylosteum*)
3) Костяника (*Rubus saxatilis*)
4) Шиповник майский (*Rosa majalis*)

1.2. Высокое лесное разнотравье
5) Герань лесная (*Geranium sylvaticum*)
6) Какалия копьевидная (*Parasenecio hastatus*)
7) Купена душистая (*Polygonatum odoratum*)
8) Наперстянка крупноцветковая (*Digitalis grandiflora*)

1.3. Низкое лесное разнотравье и мелкотравье
9) Грушанка средняя (*Pyrola media*) – индикатор устойчивых лесных сообществ
10) Зимолюбка зонтичная (*Chimaphila umbellata*) – индикатор сухих сосновых боров
11) Ортилия однобокая (*Orthilia secunda*)
12) Смолёвка поникшая (*Silene nutans*) – индикатор сухих светлых лесов и опушек
13) Фиалка удивительная (*Viola mirabilis*)

1.4. Лесные бобовые
14) Горошек лесной (*Vicia sylvatica*)
15) Чина весенняя (*Lathyrus vernus*)

1.5. Лесные злаки, папоротники и хвощи
16) Ожика волосистая (*Luzula pilosa*)
17) Орляк сосняковый (*Pteridium latiusculum* subsp. *pinetorum*) – доминант, часто образует моновидовые заросли
18) Хвощ лесной (*Equisetum sylvaticum*) – индикатор влажных, часто еловых лесов

2. Луговые и опушечные виды (растут на суходольных лугах, лесных полянах и опушках):

1) Барбарис обыкновенный (*Berberis vulgaris*) –кустарник, индикатор остепнённых склонов/опушек

2.1. Луговое высокотравье
2) Бубенчик лилиелистный (Adenophora liliifolia)
3) Золотарник обыкновенный (Золотая розга) (Solidago virgaurea)
4) Кровохлёбка лекарственная (Sanguisorba officinalis)
5) Соссюрея спорная (Saussurea controversa)

2.2. Луговое среднетравье и низкотравье
6) Буквица лекарственная (Betonica officinalis)
7) Вероника лекарственная (Veronica officinalis)
8) Гравилат алеппский (Geum aleppicum)
9) Манжетка обыкновенная (Alchemilla vulgaris agg.)
10) Репешок волосистый (Agrimonia pilosa)
11) Черноголовка обыкновенная (Prunella vulgaris)
12) Ястребинка (Hieracium spp.)

2.3. Луговые злаки (основы травостоя)
13) Вейник Сугавары (Calamagrostis arundinacea)
14) Сивец луговой (Succisa pratensis)

2.4. Скально-степные элементы (сухие склоны, остепнённые участки)
15) Жабрица Крылова (Seseli krylovii) – эндемик Южного Урала и Сибири
16) Ракитник русский (Cytisus ruthenicus) – кустарник-индикатор остепнения

3. Прибрежно-водные и болотные виды (растут по берегам водоёмов, на сырых лугах, болотах):

3.1. Надводные гидрофиты (сообщество-образующие)
1) Рогоз узколистный (Typha angustifolia) - доминант прибрежных зарослей
2) Схеноплектус озёрный (Камыш) (Schoenoplectus lacustris agg.) – доминант прибрежных зарослей

3.2. Растения с плавающими листьями (гидрофиты)
3) Кубышка жёлтая (Nuphar lutea) – индикатор чистых стоячих вод

4) Стрелолист обыкновенный (Sagittaria sagittifolia)

3.3. Влаголюбивые растения сырых лугов и топких берегов (гигрофиты)
5) Дербенник иволистный (Плакун-трава) (Lythrum salicaria)
6) Лапчатка гусиная (Argentina anserina)
7) Лютик длиннолистный (Ranunculus lingua)
8) Наумбургия кистецветная (Lysimachia thyrsiflora)
9) Шлемник обыкновенный (Scutellaria galericulata)
10) Вербейник обыкновенный (Lysimachia vulgaris)
11) Горец земноводный (Persicaria amphibia) – может расти как в воде, так и на берегу
12) Хвощ топяной (*Equisetum fluviatile*) – индикатор переувлажнённых берегов
13) Осока метельчатая (*Carex paniculata*) – индикатор сырых лесов и окраин болот

4. Сорно-рудеральные и придорожные виды (растут на нарушенных местообитаниях, у дорог, на полях):

4.1. Злостные многолетние сорняки
1) Бодяк розовый (полевой) (Cirsium arvense) – корнеотпрысковый, трудноискоренимый сорняк
2) Мать-и-мачеха (Tussilago farfara) – пионер нарушенных грунтов, корневищный

4.2. Двулетники и однолетние сорняки
3) Вяжечка голая (Turritis glabra) – (чаще двулетник)
4) Донник лекарственный (Melilotus officinalis) – (двулетник)
5) Мелколепестник едкий (Erigeron acris) – (чаще двулетник)
6) Мелколепестник канадский (Erigeron canadensis) – инвазивный, заносной однолетник
7) Пикульник двунадрезанный (Galeopsis bifida) – (однолетник)

4.3. Стелющиеся и ползучие виды нарушенных мест
8) Будра плющевидная (Glechoma hederacea agg.)
9) Кипрей горный (Epilobium montanum)
10) Кипрей ложнокраснеющий (Epilobium pseudorubescens)

Таблица 5 – Классификация озёр по глубине и площади водного зеркала [23]:

По максимальной глубине		По площади водного зеркала	
Глубокие	20-40 м	Малые	< 1 км^2
Весьма глубокие	10-20 м	Средние	1-10 км^2
Средние	5-10 м	Крупные	11-50 км^2
Мелкие	2-5 м	Весьма крупные	51-100 км^2
Очень мелкие	< 2 м	Очень крупные	101-1000 км^2

Таблица 6 – Зависимость коэффициента ёмкости от формы котловины озера [23]:

К < 0,4	котловина конического типа	у карстовых и вулканических озёр
К - 0,4-0,6	котловина параболического типа	у тектонических озёр
К - 0,6-0,8	котловина полуэллипсовидного типа	у эрозионно-тектонических, древнедолинных озёр
К > 0,4-0,6	котловина цилиндрического типа	у суффозионных и пойменных

Гидрохимические типы (по О.А. Алекину, 1970) [17]:

1) I тип – содовый: HCO3 + CO3 > Ca + Mg;

2) II тип – сульфатно-натриевый: HCO3+CO3 < Ca+Mg < HCO3+ CO3+ S04

3) IIIа тип – хлор-магниевый: Na + K + Mg > Cl > Na + K

4) IIIб тип – хлор-кальциевый: Cl > Na + K + Mg

Таблица 7 – Классификация природных вод по величине общей жесткости [23]:

	Мг экв/л	Градусы жесткости
Очень мягкие	Менее 1,5	0-4,2
Мягкие	1,5-3,0	4,2-8,4
Умеренно жесткие	3,0-6,0	8,5-16,8
Жесткие	6,0-10	16,8 -28
Очень жесткие	Более 10	Более 28

Таблица 8 – Классификация общей минерализации (по сумме основных ионов, г/ дм³) [23]:

Классификация вод	Подкатегория	Минерализация, г/л
Пресные воды	Ультрапресные	< 0,1
	Нормально пресные	0,1-0,5
	Пресноватые	0,5-1,0
Солоноватые воды	Слабосолоноватые	1-3
	Сильносолоноватые	3-10
Солёные воды	Слабосолёные	10-24,7
	Среднесолёные	24,7-35
	Сильносолёные	35-50
Рассольные воды	Слабые рассолы	50-100
	Крепкие рассолы	100-270
	Очень крепкие	270-350
	Сверхкрепкие	> 350

Таблица 9 – Классификация природных вод по pH [23]:

	Величина pH
Сильнокислые воды	< 3
Кислые воды	3–5
Слабокислые воды	5–6,5
Нейтральные воды	6,5–7,5
Слабощелочные воды	7,5–8,5
Щелочные воды	8,5–9,5
Сильнощелочные воды	> 9,5

Таблица 10 – Оценка качества воды на основании ИЗВ [23]:

Класс качества	Текстовое описание	Величина ИЗВ
1	Очень чистая	< 0,2
2	Чистая	0,2-1,0
3	Умеренно загрязненная	1,0-2,5
4	Загрязненная	2,5-4,0
5	Грязная	4,0-10
6	Очень грязная	>10
7	Чрезвычайно грязная	> 10

Таблица 11 – Трофический индекс TSI и связанные с ним параметры (Carlson 1977) [23]:

Тип водоёма	TSI	Прозрачность	$P_{общ}$, мг/м^3
Олиготрофный	0	64	0,75
	10	32	1,5
	20	16	3
	30	8	6
Мезотрофный	40	4	12
	50	2	24
Эвтрофный	60	1	48
	70	0,5	96
Гипертрофный	80	0,25	192
	90	0,12	384
	100	0,06	768