

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Институт водных и экологических проблем  
Сибирского отделения Российской академии наук

На правах рукописи

ФРОЛЕНКОВ ИГОРЬ МИХАЙЛОВИЧ

**ОЦЕНКА ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПРЭСНОВОДНЫХ  
ОЗЕР АЛТАЙСКОГО РЕГИОНА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ  
ГИДРООПТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК**

Специальность 1.6.21 – Геоэкология (географические науки)

Диссертация на соискание учёной степени  
кандидата географических наук

Научный руководитель:  
д.ф.-м.н., профессор  
Суторихин Игорь Анатольевич

Научный консультант:  
д.г.н., профессор  
Винокуров Юрий Иванович

Барнаул – 2021

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
ГЛАВА 1. ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ПРЭСНОВОДНЫХ ВОДОЕМОВ .....	14
1.1. Основные определения.....	14
1.2. Оценка геоэкологического состояния водоемов .....	19
с помощью различных методов .....	19
1.3. Естественные и антропогенные факторы, .....	25
влияющие на изменение геоэкологического состояние водоема .....	25
ГЛАВА 2. ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ОБЪЕКТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ .....	30
2.1. Озеро Красиловское.....	30
2.2. Озеро Иткуль .....	32
2.3. Озеро Лапа .....	35
2.4. Озеро Большое Островное .....	36
2.5. Телецкое озеро.....	39
2.6. Анализ воздействия естественных и антропогенных факторов на пресноводные озера Алтайского региона.....	41
ГЛАВА 3. ПРИМЕНЕНИЕ ГИДРООПТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ОПТИЧЕСКОГО ИНДЕКСА ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ (ОИГС) ВОДОЕМОВ .....	58
3.1. Индекс Карлсона как индикатор трофического уровня водоема.....	59
3.2. Оптический индекс геоэкологического состояния (ОИГС) водоема .....	61
3.3. Пространственно-временная стратификация по ОИГС.....	63
и индексу Карлсона.....	63
ГЛАВА 4. АНАЛИЗ ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПРЭСНОВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ НА ОСНОВЕ ОИГС.....	74
4.1. Изменение оптического индекса геоэкологического состояния.....	74
Телецкого озера по акватории и глубине .....	74

4.2. Геоинформационное обеспечение для построения картосхем пространственно-временного распределения спектрального показателя ослабления света и ОИГС.....	81
Выводы.....	93
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ И ЛИТЕРАТУРЫ.....	94
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	120

## ВВЕДЕНИЕ

В Алтайском крае насчитывается более тринадцати тысяч озер, в Республике Алтай – около семи тысяч (Официальный сайт..., 2020; Республика Алтай..., 2020). Как показано во многих научных исследованиях (Китаев, 2007; Фрумин, Хуан 2011; Науменко, 2015 и др.), озера являются индикаторами экологического состояния территории, поскольку чувствительны к динамике изменения природных факторов и антропогенному воздействию.

Экологическое состояние водоемов принято классифицировать с использованием трофических уровней. В последнее время этот термин стал применяться и в геоэкологических исследованиях водных объектов (Хуан, 2014; Жидкова, 2017).

В современной лимнологии водоем рассматривается как единое целое, организованная система, трофический уровень которой не меняется по акватории и глубине. Однако степень воздействия промышленных, сельскохозяйственных и сточных вод, объема выпадающих аэрозольных веществ на отдельные участки водоема может быть различным, поскольку пелагиальная часть отличается от литоральной вследствие малой глубины и большего прогрева, влияния водной растительности. Трофический уровень в устьях впадающих рек также подвержен изменениям под влиянием выноса растворенных и взвешенных веществ, разности температур водных масс, особенно выраженной для горных территорий; а также антропогенного воздействия и наличия подземных источников.

Геоэкологическая оценка состояния пресноводных водных объектов, как по площади акватории, так и по глубине, способная служить основой для проведения оперативного мониторинга, в целях данного исследования осуществлялась автором с помощью гидрооптических параметров и разработанного оптического индекса геоэкологического состояния (ОИГС).

Величина ОИГС, используемого в качестве индикатора геоэкологического состояния разнотипных пресноводных водоемов в местах отбора проб воды, сравнения и классификации, определялась как натуральный логарифм от

численных значений спектрального показателя ослабления света  $\varepsilon(\lambda)$  в видимом диапазоне.

#### **Актуальность исследования.**

В работах Т.В. Моисеенко (2006), И.А. Терентьева (2017), Б.Л. Сухорукова (2017), Ю.М. Семёнова (2019) и др. авторов отмечено, что актуальной задачей географии является разработка новых индексов оценки геоэкологического состояния водных объектов на различных участках акватории и его пространственно-временного распределения.

В качестве объекта данного исследования выбраны пресные озера Алтайского региона. Пресноводные озера содержат запасы пресной воды и рыбы, являются важным источником водоснабжения, используются в различных отраслях хозяйства и в рекреационных целях. Многие озера Алтайского региона находятся в критическом состоянии вследствие воздействия негативных антропогенных факторов, влияющих на геоэкологическое состояние водоема.

Алтайский край – один из крупнейших в Сибирском федеральном округе и Российской Федерации сельскохозяйственных регионов. Здесь сосредоточены самые большие площади пашни в России – 6,5 миллиона гектаров, значительные площади земель сельскохозяйственного назначения – 11,6 миллионов гектаров (Министерство сельского..., 2007). Для увеличения и поддержания на высоком уровне производства растениеводческой продукции применяют значительное количество биогенных веществ. Основными источниками поступления биогенных веществ в воды региона является смыв стоками с сельскохозяйственных полей и животноводческих ферм нитратов, фосфатов, ионов аммония. Продуктом распада аммония является аммиак, который в воде связывается с другими элементами и может создавать очень токсичные соединения. По утверждению Ю.С. Даценко (2007) «концентрация биогенных веществ в воде представляется исходным показателем процесса эвтрофирования, развитие же продукционных процессов выступает следствием, зависящим от ряда абиогенных факторов, в первую очередь гидролого-гидрохимических и радиационно-термических особенностей водного объекта».

Территория Алтайского региона также характеризуется высоким туристско-рекреационным потенциалом, наличием уникальных природных и культурно-исторических ресурсов, развитием как въездного, так и внутреннего туризма. На территории региона находится Телецкое озеро – уникальный водоем Республики Алтай, являющийся объектом Всемирного природного наследия ЮНЕСКО, который ежегодно посещают тысячи туристов.

Вследствие возрастающего антропогенного воздействия на исследуемой территории за последние годы произошло снижение качества воды, уменьшение биоразнообразия, началось заболачивание водоемов в прибрежной зоне (Веснина, 2000; Ревякина, 2005; Фауна птиц..., 2010; Козырева, 2011). Поэтому актуальной задачей становится выявление геоиндикаторов, позволяющих оперативно оценивать геоэкологическое состояние водных экосистем в целом, а также ранжировать уровни воздействия антропогенной деятельности и природных условий на водосборе в пределах водоема, становится актуальной задачей фундаментальной и прикладной геоэкологии.

#### **Степень разработанности темы исследования.**

Наиболее важной задачей в осуществлении геоэкологической оценки является своевременное и оперативное определение состояния природного водного объекта.

Результаты исследований естественной и антропогенной изменчивости качества поверхностных вод представлены в работах многих авторов: Бертокс П. (1980); Дикаревский В.С., Курганов А.М., Нечаев А.П., Алексеев М.И. (1990); Кукса В.И. (1994); Бердников С.В. (2002); Беляев А.Г. (2004); Даценко Ю.С. (2007); Белов Н.С. (2011); Яковенко Н.В., Алферов И.Н. (2014); Матишов Г.Г., Ивлиева О. В. (2015) и др.

В работах Жань-Жань Хуана (2014) и А.Ю. Жидковой (2017) геоэкологическое состояние водоемов определяется с позиции пространственно-временного динамического состояния трофического статуса. Ж.-Ж. Хуаном (2014) приведены расчеты трофического уровня 164 пресноводных озер Китая на основе использования в качестве индикатора глубины видимости

диска Секки (SD) и индекса Карлсона (TSI). Автором доказана невозможность объективной оценки трофического уровня водоемов на основе анализа только одного показателя, и представлены результаты использования для этой цели усовершенствованного вероятностного подхода, разработанного ранее ОЭРК (Организация экономического развития и кооперации). На основе исследований озер Китая Ж.-Ж. Хуаном была разработана методика расчетов вероятностной оценки трофического уровня пресноводных экосистем.

А.Ю. Жидковой (2017) на основе геоэкологической пространственно-временной оценки вод Таганрогского залива Азовского моря была построена статистическая модель для определения изменения трофического уровня, рассчитана антропогенная нагрузка на залив, поступающая извне. В работе определялись допустимые концентрации биогенных веществ и экологического резерва всей акватории водоема. Предложенная регрессионная модель процесса эвтрофирования вод включает следующие показатели: температура воды, нитраты, соленость, аммоний иона, фосфаты, нитриты, а так же скорость течения воды и эмпирические коэффициенты.

М.А. Науменко (2015) с соавторами рассматривали причины и следствия естественного и антропогенного эвтрофирования водоемов, уделив особое внимание влиянию формы котловины, а также проточности водоема и ландшафтной структуре водосборного бассейна.

Из рассмотренных методик лишь несколько позволяют определить трофический уровень как показатель экологического состояния в различных участках водоема. И.А. Терентьева (2017) с соавторами для целей оценки трофического уровня субарктического озера подразделяли водоем на участки, различающиеся по уровню.

Коллектив во главе с Ю.М. Семёновым (2019) на основе ландшафтно-экологического подхода выявил закономерности распределения загрязнителей в бассейне оз. Байкала. На основе анализа безразмерных показателей химического состава вод авторами выявлены связи и пространственно-временные структуры загрязнения, комплексно оценены водные объекты бассейна озера;

с использованием методов ландшафтного картографирования произведена экстраполяция результатов мониторинга и отображена оперативная информация.

Т.В. Моисеенко (2006) с соавторами, используя ГИС-технологии при оценке уровня биопродуктивности, как показателя трофического типа водоемов на примере оз. Плещеево и Уводьского водохранилища в бассейне р. Волга, оценили изменение трофического уровня по акватории. Технологии ГИС использованы для оценки трофического уровня озёр в Китае (Fu-Liu Xu, 2001) и США (Alejandra-Selene Membrillo-Abad, 2016).

В предложенный и запатентованный Л.И. Цветковой, В.Н. Пономаревым, Г.И. Копиной и Е.В. Неверовой в 1995 г. метод определения трофического уровня, впоследствии был введен новый интегральный показатель ITS (Index of trophical state), характеризующий трофический уровень в месте отбора проб (Неверова-Дзиопак, 2012). В работах Б.Л. Сухорукова (2017) для оценки трофического уровня различных участков поверхностного слоя воды Цимлянского водохранилища был использован оптический метод при регистрации спектрального коэффициента яркости.

Систематические данные по определению показателя трофности озер Алтайского региона в настоящее время практически отсутствуют или являются неоднородными. Нет исследований сезонной изменчивости, т.к. используемые методики (по белому диску и др.) имеют ограничения в зимний период и для больших глубин. Точечные определения трофического уровня по акватории водоемов не проводились вовсе. Актуальной задачей современной науки является необходимость сохранения экосистемы водного бассейна для возможности воспроизводства, сохранения и поддержания биологического разнообразия, а также обеспечения населения чистой водой. Одним из вариантов решения этих проблем является оперативная оценка геоэкологического состояния водоемов с помощью геоиндикационных методов. В качестве примера разработки подобного индикатора может служить интегральный показатель оценки геоэкологического состояния водоёмов с позиции трофических уровней и методов определения их

пространственно-временной изменчивости, предложенный автором данного исследования.

**Целью диссертационной работы** – оценка геоэкологического состояния пресноводных озёр Алтайского региона (Алтайского края и Республики Алтай) на основе оптического индекса геоэкологического состояния (ОИГС), предложенного в качестве геоиндикатора.

**Объектом исследования:** разнотипные пресноводные озёра Алтайского края и Республики Алтай.

**Предметом исследования:** пространственно-временная изменчивость геоэкологического состояния равнинных и горных озёр Алтайского региона, определяемая гидрооптическими методами.

Для достижения поставленной цели было необходимо решить следующие **задачи:**

- оценить геоэкологическое состояние изучаемых озёр традиционными методами;
- оценить геоэкологическое состояние изучаемых озёр на основе гидрооптических измерений, в том числе в разные сезоны и на разной глубине;
- провести статистический анализ пространственно-временных изменений геоэкологического состояния озёр;
- провести сравнительный анализ геоэкологического состояния озёр, разными методами;
- выявить геоиндикатор, позволяющий проводить комплексную экспресс-оценку геоэкологического состояния разнотипных пресноводных озёр;
- использовать выявленный геоиндикатор (индекс ОИГС) для оценки состояния равнинных (Красиловское, Иткуль, Лапа) и горных (Телецкое) озёр.

**Область исследования диссертационной работы** соответствует пунктам паспорта специальности **1.6.21 – Геоэкология (географические науки):**

- природная среда и геоиндикаторы её изменения под влиянием урбанизации и хозяйственной деятельности человека: химическое и

радиоактивное загрязнение почв, пород, поверхностных и подземных вод и сокращение их ресурсов, наведенные физические поля, изменение криолитозоны (п. 1.8);

– геоэкологический мониторинг и обеспечение экологической безопасности, средства контроля (п. 1.12);

– геоэкологическая оценка территорий. Современные методы геоэкологического картирования, информационные системы в геоэкологии. Разработка научных основ государственной экологической экспертизы и контроля (п. 1.17).

**Исходными данными** для диссертационной работы являются материалы, собранные автором в экспедиционных исследованиях в 2013–2019 гг., а также данные их камеральной обработки: измерена спектральная прозрачность 4731 пробы воды, определена концентрации хлорофилла “а” в 1356 пробах, определена концентрации общего фосфора в 532 пробах, измерена прозрачность воды по диску Секки (861 измерение). Изучены картографические материалы и аэрокосмические снимки (из открытых источников) как основы для составления карт по распределению гидрооптических показателей по акватории озер.

**Научная новизна:**

– разработан и апробирован экспресс-метод определения геоэкологического состояния разнотипных пресноводных озёр по гидрооптическим характеристикам;

– определен диапазон изменения спектрального показателя ослабления света исследуемых озёр (Красиловское, Большое Островное, Лапа, Иткуль, Телецкое) на различных глубинах и в разные сезоны года;

– предложен новый индикатор геоэкологического состояния пресноводных озёр равнинных и горных территорий – ОИГС;

– построены картосхемы пространственного распределения ОИГС в озёрах равнинной и горной территории, отличающихся по площади, глубине, трофическому статусу;

– на основании построенных картосхем распределения ОИГС для разнотипных озёр равнинной и горной территории выявлены пространственные изменения их геоэкологического состояния.

**Теоретическое и практическое значение:**

– значимость работы в рамках решения фундаментальных научных проблем связана с достоверным и убедительным доказательством возможности использования гидрооптических показателей воды и рассчитанных на их основе индексов, для оценки состояния озёр;

– на основе разработанного метода возможна экспресс-оценка пространственной и временной динамики геоэкологического состояния пресноводных озёр;

– доказана оптимальность и достаточность использования ОИГС на основе спектрального показателя ослабления света водой при  $\varepsilon(\lambda) = 430$  нм для экспресс-оценки геоэкологического состояния;

– материалы работы включены в курсы подготовки специалистов в высших учебных заведениях;

– разработаны патенты по экспресс-оценке геоэкологического состояния водоемов по гидрооптическим показателям.

**Методы исследования и достоверность.** Достоверность результатов исследования обеспечена использованием 7480 проб, отобранных в соответствии с государственными стандартами, и последующим их анализом на поверенном спектрофотометре «ПЭ-5400УФ» согласно методике ГОСТ, и в химико-аналитическом центре ИВЭП СО РАН (г. Барнаул). Достоверность результатов анализа подтверждена использованием стандартных образцов, а также применением современных статистических методов обработки полученных данных.

**Апробация результатов.** Основные результаты исследования были представлены и обсуждались на следующих конференциях: «Шаг в науку» (Барнаул, 2013, 2014, 2016, 2017); «Развитие географических знаний: научный поиск и новые методы исследования» (Иркутск, 2014); «Измерение, контроль,

информатизация» (Барнаул, 2015, 2016); XI Сибирском совещании по климато-экологическому мониторингу (Томск, 2015); «Водные и экологические проблемы Сибири и Центральной Азии» (Барнаул, 2017); «Современные проблемы оптики естественных вод (ONW'2017)» (Санкт-Петербург, 2017); «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы» (Томск, 2017); «Информационные технологии в исследовании биоразнообразия» (Иркутск, 2018); «Пресноводные экосистемы – современные вызовы» (Иркутск, 2018); «Водные и экологические исследования в Западной Сибири» (Барнаул, 2021).

**Научные публикации.** Основные положения диссертации отражены в 21 работах, 4 – в изданиях, входящих в перечень ВАК РФ и 1 – в журнале из перечня международной базы Web of Science. Получено свидетельство о государственной регистрации базы данных «Гидрооптические параметры водоёма Западной Сибири», два патента на изобретение «Способ определения трофического уровня пресноводного водоёма» и «Способ определения уровней геоэкологического состояния пресноводного водоема с использованием оптического индекса геоэкологического состояния ОИГС».

**Благодарности.** Автор глубоко признателен научному руководителю д.ф.-м.н., проф. И.А. Суторихину и консультанту д.г.н., проф. Ю.И. Винокурову за всестороннюю помощь при подготовке диссертации. Особую благодарность выражает д.б.н., проф. А.В. Пузанову за ценные советы, к.г.н., доценту Н.Ф. Харламовой за важные рекомендации, научному сотруднику К.В. Марусину за помощь в подготовке графических материалов и освоении ArcGis, д.г.н., доценту Д.В. Черных за рекомендации в формулировках определений, д.б.н., доценту Д.М. Безматерных за полезные замечания и критику на научных семинарах, д.г.н. И.Д. Рыбкиной и к.г.н. Н.Ю. Курепиной за помощь в оформлении работы. Неценима поддержка со стороны д.ф.-м.н., проф. В.И. Букатого, к.т.н. О.Б. Акуловой и заведующего лабораторией гидрологии и геоинформатики д.ф.-м.н. А.Т. Зиновьева.

**Структура работы.** Диссертация состоит из введения, четырёх глав, заключения, списка литературы, приложений. Основное содержание диссертации изложено на 123 страницах, включает 11 таблиц, 36 рисунков, 3 приложения. Список литературы включает 252 наименования, в том числе 31 на иностранном языке.

### **ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ, ВЫНОСИМЫЕ НА ЗАЩИТУ**

1. Оптический индекс (ОИГС) на основе спектрального показателя ослабления света  $\varepsilon(\lambda_{430})$  отражает геоэкологическое состояние пресноводных водоемов, отсутствие, степень влияния антропогенной нагрузки на территорию водосборного бассейна и акваторию.

2. ОИГС озер, рассчитанный по спектральному показателю ослабления света на длине волны 430 нм, коррелирует с трофностью (гидробиологической характеристикой), определяемой по индексу Карлсона.

3. Пространственно-временная динамика спектрального показателя ослабления света в горных глубоких озерах (Телецкое озеро) в период устойчивой температурной стратификации позволяет оперативно оценить изменение геоэкологического состояния водоемов на разных участках акватории и глубинах.

# ГЛАВА 1. ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ПРЕСНОВОДНЫХ ВОДОЕМОВ

## 1.1. Основные определения

«Геоэкология – это междисциплинарное научное направление, изучающее экосферу, как взаимосвязанную систему геосфер в процессе ее интеграции с обществом» (Голубев, 1999, С. 21). В рамках концепции «геоэкология» лежат многие разнообразные полидисциплинарные научные направления.

Впервые термин «геоэкология» был введен немецким экологом К. Троллем (1966) для замены термина «ландшафтная экология», ранее предложенного этим же автором в 1939 году. Карл Тролль определил ее как научную дисциплину, изучающую основные комплексы, обусловленные взаимоотношением между живыми существами и их средой обитания в исследуемой части ландшафта.

Понятие «экология» (от греч. *oikos* – жилище, местопребывание и *logos* – учение) впервые было употреблено немецким ученым Эрнестом Геккелем (1866). Экология зародилась как раздел биологической науки, изучавший популяции животных, растений и среду их обитания. В современном толковании экология – это наука о взаимодействии отдельных организмов или их групп между собой и средой их обитания, т.е. суть данной науки можно выразить так: экология – наука о связях, на которых основывается устойчивость всех форм жизни на Земле (Комаров, 2012).

Элементом окружающей среды является природная среда (геосферы, географическая оболочка, геологическая среда). Естественным было выделение из «большой» экологии (всеобщей, глобальной, мегаэкологии) особого направления, рассматривающего экологические функции различных компонентов природной среды (Смирнов, 2006). За этим направлением укоренилось название «геоэкологии». Геоэкология является частью общей экологии (Рисунок 1).

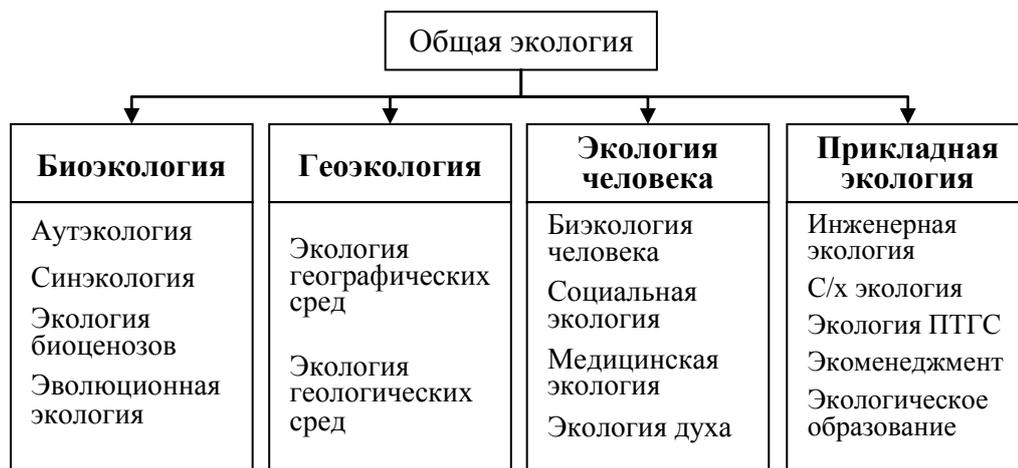


Рисунок 1 – Структура Общей экологии (по Э.Э. Пианка, 1981)

В середине XX века термин «геоэкология» стал использоваться представителями географических, геологических и социологических наук. Географического подхода придерживались Н.Ф. Реймерс, К.М. Петров, В.М. Котляков, А.И. Комарова, и др. Геоэкология – наука о географической среде, ее природных комплексах, которые изучаются как среда обитания организмов (Акимова, Хаскин, 1999).

В.Б. Сочава определил геоэкологию как науку о состоянии геологической среды и всех ее компонентов, о происходящих в ней процессах, активизация которых может отражаться (в том числе и негативно) на состоянии других геосфер Земли (Трофимов, 2009). В таком понимании содержание геоэкологии принципиально отличается от введенного К. Троллем и, по существу, представляет собой новую геологическую науку.

Н.Ф. Реймерс (1990) считал, что геоэкология – это раздел экологии (по другим воззрениям – географии), исследующий экосистемы (геосистемы) высоких иерархических уровней – до биосферы включительно.

Термин «геоэкология» начал использоваться в различных науках, не только географических. В основном он применяется в качестве термина «экология» при решении задач природоохранной деятельности. Исходя из вышесказанного, следует, что геоэкология выступает в качестве междисциплинарного направления, в котором представлены все знания об экологическом состоянии земли.

А.В. Чигаркин (2003) является представителем географического подхода в данном направлении, и первоначально рассматривал геоэкологию как раздел географии, который изучает экологические свойства географических систем, для рационального потребления природных ресурсов и своевременное сохранение среды обитания. Впоследствии автор скорректировал свой подход в понимании геоэкологии и стал рассматривать ее как раздел социальной экологии, в который входят основы охраны природной среды, рационального природопользования, способы и методы оценки экологического риска и др.

Ю.П. Селиверстов (1994) ввел понятие эколого-географической оценки, под которой автор понимал параметрическое определение состояния природной среды, обеспечивающего существование конкретных сообществ живых организмов, характерных для этих состояний и обусловленных природными условиями, в той или иной степени изменяющихся под воздействием антропогенных факторов (Дмитриев, Федорова, Бирюкова, 2016, С. 39).

Академик В.И. Осипов (1993) считает, что геоэкология – это комплексная наука об экологических проблемах всех геосфер (атмосфера, гидросфера, литосфера, земная кора, мантия и ядро), объектом которой выступают геосферные оболочки Земли.

Ф.Н. Мильков (1970) рассматривал геоэкологию как научное направление о комфортности среды.

С.П. Горшков (1998) в своих работах отмечает: «геоэкология – это наука об организованности биосферы, включающей ее супергеосферы и даже околоземный космос».

В данной работе приводятся результаты пространственного обследования экологического состояния пресноводных объектов, что и является элементом изучения геоэкологии, по мнению авторов, перечисленных выше.

Согласно Б.И. Кочурову (2000), геоэкология является синтезом географических и экологических наук, а ключевым моментом выступает изучение экологических проблем территорий.

Геоэкологическое состояние среды рассматривается через анализ водных объектов, для проведения геоэкологического анализа используется целый арсенал разнообразных методов исследования, которые, так или иначе, применяются и в других науках. Каждый из методов имеет определенные пределы своих возможностей, ни один метод не является универсальным для изучения любого объекта или процесса. Методы геоэкологических исследований находятся в тесной взаимосвязи и образуют своеобразную систему методов, в зависимости от поставленной задачи. Единой унифицированной классификации методов геоэкологических исследований до настоящего времени не существует.

К общенаучным методам геоэкологических исследований относятся: анализ и синтез, индукция и дедукция, эксперимент, классификация и другие. В геоэкологии широко используются методы инструментального исследования и контроля состояния отдельных природных компонентов и природной среды в целом. Необходимые данные получают путем отбора проб и их лабораторного анализа при помощи различных приборов (Алаев, 1983; Беручашвили, Жучкова, 1997; Гагина, Федорцова, 2002).

В зависимости от исторического аспекта, методы геоэкологии подразделяются на следующие категории:

- 1) традиционные (сравнительный, исторический, литературный, картографический);
- 2) современные (геофизические, геохимические исследования, статистические методы, аэрометоды, методы природной индикации);
- 3) новейшие перспективные (математические и космические методы, метод экспертных оценок, научное моделирование и др.).

Методологически геоэкологические исследования формулируются как набор подходов (Дьяконов, Касимов, Тикунов, 1996; Жучкова, 1977):

- 1) гуманитарно-экологический;
- 2) системный подход;
- 3) экологический подход;
- 4) функциональный (факторный) подход;

- 5) ландшафтный;
- 6) информационный анализ;
- 7) структурный анализ;
- 8) структурно-морфологический анализ;
- 9) позиционный анализ.

Геоэкологические исследования в общепринятом понятии включают в себя три этапа: *подготовительный, полевой и камеральный*. Каждый этап имеет свои особенности.

*Подготовительный* – постановка задачи (цель, актуальность решаемой проблемы, научная и практическая значимость, описание всех этапов исследования, ожидаемые результаты).

*Полевой* – сбор фактического материала. Основой данного этапа служат полевые наблюдения.

*Камеральный* этап – состоит из обработки и обобщения полевых исследований, лабораторный анализ отобранных проб, составление карт, написание отчетов.

Особенности и функциональная структура водных ресурсов их своевременная охрана, рациональное использование и др. аспекты рассмотрены в работах ученых: Ю.П. Беличенко, М.М. Швецов (1980), О.Ф. Балацкий, Л.Г. Мельник, А.Ф. Яковлев (1984), А.Б. Авакян, В.М. Широков (1994), Н.И. Коронкевич, И.С. Зайцева (1994), А.М. Гареев (1995), Л.М. Коротный (2000) и др.

Существенный вклад в изучение и охрану, сохранение качества и использование с позиций устойчивого водопользования водных объектов внесли: В.И. Данилов-Данильян (2005); И.Н. Алферов (2007); А.Я. Гаев (2007); А.А. Чибилев (2008); В.Г. Пряжинская (2010); Ю.М. Погосян, Н.П. Галянина, Е.Б. Савилова (2012); Е.Б. Савилова, Ю.М. Погосян (2012); Н.В. Яковенко, Е.П. Туркина (2012) и др. Базисом исследования перечисленных выше авторов являются методология системного анализа и геоэкологический подход.

Геоэкологические исследования в настоящее время проводятся на стыке гидрологии, биологии, экологии и географии. Одной из важных задач геоэкологического исследования является изучение географической среды, ее геосистем с экологической точки зрения, в этот список входят и водные объекты, оценить которые можно путем определения экологического состояния по различным показателям, в частности, с использованием такой характеристики, как трофический уровень озер.

## **1.2. Оценка геоэкологического состояния водоемов с помощью различных методов**

Оценка трофического уровня водоема в лимнологии осуществляется с учетом биологических, физических и химических характеристик, а также показателей функционирования экосистемы.

Методики определения трофического уровня, учитывающие характеристики, описанные выше, имеют определенные недостатки и преимущества перед другими.

Трофический уровень водоема – это интегральная характеристика, определяемая множеством взаимосвязанных физико-химических и биологических процессов. Определение трофического уровня базируется на анализе всех компонентов процесса эвтрофирования.

«Под эвтрофированием понимают процесс роста общей продуктивности экосистемы водоема, включающей водные массы, донные отложения и населяющие их организмы» (Михеева, 1983). Эвтрофирование приводит к увеличению органического вещества в водоеме.

Трофический уровень пресноводных озёр традиционно оценивают, используя следующие показатели: концентрация хлорофилла “а”, общий фосфор и азот, биомасса фитопланктона, прозрачность по белому диску и др. Биогенные вещества, содержащиеся в водоемах (общий фосфор, азот), являются оперативными показателями трофического уровня водоемов.

Существуют также классификации типов водоемов, в основу которых положено только содержание общего фосфора (Vollenveider, 1979; Милиус, 1984; Милиус, Кываск, 1984; Forsberg, 1980; ОЕРК, 1982; Hackanson, 1991), а для некоторых классификаций имеет значение и сезон года, в который осуществляется исследование (Милиус, 1984; Милиус, 1986).

Однако исследования, проведенные лимнологами разных стран, показывают, что корреляционные зависимости между величиной первичной продукции и концентрацией биогенных веществ невысоки, в связи с чем не приходится воспринимать эти критерии как универсальные и неоспоримые, к тому же, сложность определения таких показателей делает такой метод менее оперативным, чем другие.

Кроме того, индикаторные критерии эвтрофирования имеют слабую корреляцию с комплексной оценкой трофического уровня (химические и биохимические показатели). Наиболее критические оценки использования индикаторных организмов поступали от Дж. Хатчинсона (1963), обнаружившего в одном водоеме виды фитопланктона, типичные для различных трофических уровней. Сложность данного показателя в точном определении трофического уровня связана с многофакторностью процесса развития биологических сообществ в водоемах.

Система подразделения водоемов на классы по величине первичной продукции была впервые апробирована Г.Г. Винбергом (1960). Используя ее и переработав, Г. Лайкенс (1975) предложил для классификации пресных водоемов следующие параметры: содержание хлорофилла "а", общего органического углерода и биомасса фитопланктона. Использование одного показателя, даже наиболее значимого, может привести к ошибочным результатам оценки. Помимо этого, для оценки трофического уровня наиболее часто используют оценку параметров  $O_2$  и рН, глубины видимости белого диска и т.д.

Данная работа направлена на решение одного из наименее изученных вопросов современной геоэкологии – разработку и применение новых геоиндикаторов, оценку их изменчивости под влиянием урбанизации и

хозяйственной деятельности человека, в целях определения геоэкологического состояния водоемов.

Одними из наиболее значимых гидрооптических характеристик, как индикаторов геоэкологического состояния водных экосистем, являются показатели прозрачности  $T$  и спектральный показатель ослабления света  $\varepsilon(\lambda)$ , охарактеризованные в нормативных документах и научных работах (ГОСТ 27065-86; Единые критерии..., 1982; Жукинский, Оксийок, Олейник, Кошелева, 1981; Тимченко, 2006; Суторихин, Акулова, 2017). Помимо этих параметров, важным элементом оценки и прогноза качества вод и показателем биопродуктивности водоема являются данные о прозрачности воды.

В основе методов прогноза прозрачности вод и его расчёта используют определяющие факторы (состав органо-минеральной взвеси, наличие и концентрация растворенных веществ, клеток организмов). Прозрачность воды можно определить различными способами (с помощью глубины видимости белого диска, с помощью черного креста, шрифта и т.д.). Чаще всего используется классический полевой метод определения прозрачности с помощью диска Секки, названного так в честь впервые использовавшего его итальянца Анджело Секки (1865).

Одни из первых упоминаний о классификации водоемов по степени их прозрачности относятся к 1931 году (Lonnerblad, 1931), но все также используется до настоящего времени вследствие легкости применения этого прибора и компактности (Колчинский и др., 1986). Однако, глубина белого диска репрезентативна для определения прозрачности только в период низкой мутности воды из-за недостаточной светочувствительности, имеется ограниченность определения прозрачности воды в зимнее время года и темное время суток. Очевидно, что современные светочувствительные приборы, позволяющие получать более точные данные о глубине проникновения света, такие как трансмиссометр, турбидиметры, гидрофотометры, спектрофотометры и прозрачномеры, способны определять прозрачность воды на любой глубине. В то же время, количество методов определения с использованием этих приборов,

невелико, имеются сложности в юстировке, транспортировке до объекта исследования, чувствительности к вибрации, резким перепадам температур, наличия автономного электропитания.

Благодаря современным компактным приборам прозрачность воды можно определять как в полевых, так и в камеральных условиях. Наиболее передовыми методами, с точки зрения практического применения, являются дистанционные методы исследования, предоставляющие информацию о взвешенных и растворенных веществах, которые и определяют геоэкологическое состояние. К их числу относятся методы оперативного дистанционного контроля состояния водной среды, основанные на анализе формы спектров коэффициентов спектральной яркости (СКСЯ) восходящего от воды излучения (reflectance), которые выполняются с помощью дистанционной спектрометрической съемки (Сухоруков, 2017). Этими исследованиями занимается гидрооптика. Основателем теоретической гидрооптики является А.А. Гершун (1936), который ввел световой вектор в монографии «Световое поле». В 1939 г. появились первые работы по гидрооптике. Подводная световая освещенность была измерена в 1885 году, но из-за несовершенства используемых приборов того времени методика развивалась медленно.

Внутренний вклад в исследование гидрооптики внесли следующие ученые: П. Боус (1978), С. Дантли (1963) в США; Г.В. Розенберг (1977), Е.А. Кадышевич, Ю.С. Любовцева (1976), А. П. Иванов (1978), В.А. Тимофеева (1961), М.В. Козлянинов (1965), Г.Г. Неуймин (1964), К.С. Шифрин (1983) в СССР.

В настоящее время, благодаря оптическим методам дистанционного зондирования, исследование морей и океанов производится из Космоса, с борта корабля, самолета и подводных судов.

В научной зарубежной литературе подавляющая часть гидрооптических исследований относится к характеристике морей и океанов таких авторов как G. Alm (1960), R.E. Carlson (1977), J.W. Harrison (1980), R.E.H. Smith (1989).

Среди отечественных авторов основной вклад внесли: В.В. Бульон (1978), Н.Г. Ерлов (1980), О.П. Оксиюк, В.Н. Жукинский, Л.П. Брагинский (1993) и др.; А.Д. Апонасенко (2001); В.В. Меншуткин, К.В. Показеев, Н.Н. Филатов (2004); Н.В. Ильмаст, Я.А. Кучко, С.А. Павловский и т.д. (2013); С.П. Китаев (2007); И.М. Левин, О.В. Копелевич (2007), В. И. Маньковский (1996; 2003; 2011).

Относительно внутренних водоемов страны изучение гидрооптических характеристик в основном проводилось на озере Байкале такими специалистами как Л.Б. Безруков, Н.М. Буднев, Н.П. Бутин (1988); В.И. Добрынин, О.П. Гапоненко, К.А. Почейкин, Р.Р. Миргазов (1976); Б.А. Тарашанский (1994); Г.С. Карабашев, А.Ф. Кулешов, П.П. Шестянкин (1989); Н.А. Франк, Л.А. Щур, А.Д. Апонасенко(1975); В.И. Маньковский (2011); озёрами Забайкалья занимались М.П. Вологдин (1981); П.П. Шерстянкин (1979).

Изучение Телецкого озера проводили: П.Г. Игнатов (1902), С.Г. Лепнева (1937), О.А. Алекин (1932), Н.Л. Бубличенко (1939), С.В. Калецкая (1948), В.В. Селегей, Т.С. Селегей (1978). Среди иностранных ученых можно выделить D.K.K. Falkner et al. (1991), M. Livingstone (1999), T.L. Richardson et al. (2000), E.L. Goldberg et al. (2001), M.C. Todd (2003), A.W. Mackay et al. (2006), H. Arst, A. Erm, A. Herlevi et al. (2008), S.E. Hampton (2008), D. Ficek et al. (2011), P.S. Huovinen, H. Penttilia, M.R. Soimasuo (2003) и др., однако практически все эти результаты относятся к незамерзающим водоемам. В гидрооптическом отношении озёра Алтайского региона изучены недостаточно (Филимонов, Апонасенко, Лопатин, Шестаков, 1993; Постникова, Филимонов, Медведева, 2016; Климатические условия..., 2016).

Гидробиологические методы являются наиболее распространенными и многократно опробованными в практике анализа определения характеристик водоемов. Однако использование таких методик сопряжено с определенными трудностями. Общим недостатком существующих методов является их низкая оперативность из-за сложной пробоподготовки, определение большинства показателей возможно только в лабораторных условиях, методики требуют определения большого количества элементов, а также временная и сезонная

ограниченность исследования.

Вода имеет особенность отражать все процессы, протекающие на водосборе. Как показано Г.Н. Голубевым (1999), это процессы на разных уровнях, от просачивания мельчайших капель воды в почву, до движения потоков крупного озера или реки. Физические и химические особенности природных вод являются объективным индикатором многих процессов, протекающих на водосборе. Основные геоэкологические индикаторы, выделенные Г.Н. Голубевым, представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Геоэкологические индикаторы (по ОЭСР и ЮНЕП)

Проблема	Нагрузка	Состояние	Реакция
Изменение климата	Эмиссия парниковых газов	Концентрации парниковых газов	Производство энергии, геоэкологические меры
Нарушение озонового слоя	Производство и эмиссия хлорфторуглеродов	Концентрация ХФУ и озона	Муждунар. Согл-ия Вклады в специальный фонд
Эвтрофикация	Поступления N, P в воду и почву	Концентрация N, P Величина БПК	Очистка стоков Капиталовложения
Асидификация	Поступления SO <sub>x</sub> , NO <sub>x</sub> , NH <sub>3</sub>	Аккумуляция, концентрации	Капиталовложения Междунар. согл-ия
Загрязнение токсичными веществами	Поступления в окружающую среду	Концентрации	Капиталовложения
Качество городской среды	Эмиссия NO <sub>x</sub> , SO <sub>x</sub> органических веществ	Концентрации NO <sub>x</sub> , SO <sub>x</sub> органических веществ	Улучшение транспорта. Капиталовложения
Биологическое разнообразие	Антропогенная трансформация экосистем	Относительное обилие видов	Охраняемые территории
Отходы	Образование отходов	Качество подземных вод и почвы	Скорость обработки Капиталовложения
Водные ресурсы	Объем водозабора, интенсивность использования	Отношение спроса к потреблению, качество	Экономия воды Плата за воду
Лесные ресурсы	Интенсивность использования	Отношение рубка / прирост. Площадь деградир. лесов	Повышение качества лесного хозяйства
Рыбные ресурсы	Уловы	Устойчивость рыбных запасов	Квоты на вылов
Деградация почв	Изменения в использовании земли	Потери плодородного слоя	Защита и восстановление
Прибрежные зоны, океаны	Сбросы загрязнений, разливы нефти	Качество воды	Управление прибрежной зоной. Защита океанов
Геологический индекс	Индекс нагрузки	Индекс состояния	Индекс реагирования

При усилении деятельности человека в бассейне озера, воды этого бассейна соответственно изменяются (Романенко и др., 1990), что определяется с помощью геоэкологических индикаторов (или геоиндикаторов).

### **1.3. Естественные и антропогенные факторы, влияющие на изменение геоэкологического состояния водоема**

На изменение геоэкологического состояния водоемов влияет целый комплекс факторов, одним из ведущих выступает процесс эвтрофирования.

Процесс эвтрофирования отражает изменение качества воды по причине избыточного поступления биогенных веществ (в основном соединениями азота и фосфора) под действием естественных или антропогенных факторов (Хрисанов, Осипов, 1993).

Естественное эвтрофирование (накопление органических и биогенных веществ) происходит в течение длительного периода времени.

Антропогенное эвтрофирование водоемов происходит в результате хозяйственной деятельности, в разы быстрее, чем естественное.

О первых признаках эвтрофирования водоёмов в начале XX века писал Л. Л. Россолимо (1967). В результате старения озера увеличивается продуктивность и происходит естественное эвтрофирование. Этот процесс неизбежен и закономерен, длится он, как правило, веками (Хендерсон, Селлерс, Маркленд, 1990).

Во время изучения процесса эвтрофирования мнения ученых разделились. Одни исследователи различали естественное и антропогенное эвтрофирование, другие считали, что существует только антропогенное. Ученые, отрицающие наличие естественного эвтрофирования, рассматривают такое явление как результат деятельности человека (Бульон, 1998; Harper, 1992).

В 1980 г. естественное эвтрофирование представляли как сукцессию фитопланктонного сообщества и все изменения в водоеме являются следствием изменения климата, а увеличение продуктивности связано с антропогенным

воздействием (Алимов, Голубков, 2014). В нашей стране первые исследования антропогенного эвтрофирования проводились в ИГАН СССР под руководством Л.Л. Россолимо (1963).

Все источники антропогенного воздействия делятся на рассеянные (биогенные элементы с определенной площади поверхности) и точечные (имеющие некий размер и определенный расход).

Антропогенное воздействие может быть очевидным и быстрым, как кризис Аральского моря, а может быть медленным и скрытым, его сложно отличить от природных вариаций. Кризис Аральского моря наступил из-за неконтролируемого антропогенного воздействия. Для нужд орошаемого земледелия изымалась большая часть воды, что в условиях засушливого климата и дефицита воды привело к дефициту необходимых для поддержания уровня моря водных ресурсов. При необходимом поступлении воды (более  $33 \text{ км}^3$ ), в море поступало всего  $4\text{-}8 \text{ км}^3$ . В Аральское море впадают реки – Сырдарья и Амударья, однако вследствие развития экономики региона в отдельные годы Амударья не доходила до моря. К опасным последствиям антропогенного воздействия относится вынос миллионов тонн песка, соли и перенос их на километры вокруг, а также загрязнение воды вследствие использования минеральных удобрений (Бобылев, Ходжаев, 2003).

В настоящее время, очевидно, что водоемы подвержены как естественному, так и антропогенному эвтрофированию. В современных условиях процессы развития и преобразования водных экосистем протекают значительно быстрее, чем раньше, поскольку они обусловлены не столько естественными факторами, действующими в масштабе геологического времени, сколько антропогенными (Абакумов, 1985; Хендерсон-Селлерс, Маркленд, 1990; Петрова, 1990). Серьезным препятствием при оценке последствий антропогенного эвтрофирования является то, что благодаря механизмам гомеостаза изменения в функционировании экосистем оказываются на первом этапе незаметными, из-за чего его сложно отличить от естественного хода эволюции водоема. Специфика процесса антропогенного эвтрофирования, принципиальные различия между

процессами эвтрофирования и загрязнения требуют особых подходов к перечню определяемых показателей и разработке систем оценки уровня эвтрофирования экосистем (РД 52.24.620-2000).

Концепция естественного эвтрофирования не базируется на тенденциях климатических изменений, и озера проходят различные стадии своего развития от олиготрофного до гиперэвтрофного при стационарном состоянии климата. Озера в ландшафте играют роль накопительных систем, аккумулируя приносимые с притоками минеральные и органические вещества. Во время эволюции озера происходит изменение глубины в результате заиления, что влияет на характеристики водообмена и водных масс. Мелководные водоемы прогреваются быстрее, происходит изменение термического режима, изменение условий вертикального перемешивания, гидрооптической стратификации озера, т.е. важные абиотические факторы первичной продуктивности экосистемы озера. Вследствие вышесказанного можно сделать заключение, что процесс эвтрофирования озер протекает постоянно, даже в условиях теоретически полного отсутствия антропогенного влияния (Даценко, 1998).

Естественное эвтрофирование определяется действием биотических и абиотических факторов. Естественное эвтрофирование, по мнению А.Н. Вторушиной (2012), определяется действием следующих абиотических факторов:

- 1) интенсивность солнечной радиации;
- 2) изменение климатических условий (зональные и сезонные различия величины и характера атмосферных осадков, колебание температуры, воздействие ветра);
- 3) величина водного стока;
- 4) зональное различие в гидрохимическом стоке (общая минерализация воды, различное содержание химических ингредиентов);
- 5) действием биотических факторов – биологические процессы в водоеме.

Как отмечает в своих работах А.В. Соколов (2017), на экологическое состояние озера влияет геоэкологическая ситуация на всей площади водосборного

бассейна. «Геоэкологическая ситуация – состояние общественно-природных отношений, которое проявляется в качестве геосистем как среды жизнедеятельности человека на современном этапе развития» (Олишевская, 2005, С. 12). Она формируется в процессе природопользования под воздействием закономерностей развития природы и общества. Геоэкологическая ситуация отражает характер последствий взаимодействия системы «природа-хозяйство-население» (Олишевская, 2005). Методические и теоретико-методологические аспекты оценки геоэкологических ситуаций представлены в работах российских – Г.В. Сдасюк (1995), Б.И. Кочуров (1997, 1999, 2003), А.Г. Емельянов (1998, 2004) и украинских ученых – А.И. Лычак с соавторами (Лычак, 1998, 2002; *Методология и методика...*, 2000), А.В. Мельник (1997, 2000), А.Ю. Олишевская (2005).

А. Тинеман (1913) и Э. Науман (1917), установили совокупность характеристик трофических уровней озер: в их работах показано, что изменение трофического уровня связано с абиотическими факторами, типом водосбора, географическим положением водоёма (Винберг, 1975).

Г.Ю. Верещагин (1930) указывал, что основными факторами в изменении трофности являются морфометрия и морфология котловины. Развитием данной точки зрения занимались Л.Л. Россолимо (1964, 1976, 1977), Б.Б. Богословский (1960), И.Н. Сорокин (1988), О.Ф. Якушко (1981), Д. Хатчинсон (1969) и др. Показатели водосбора и водообмена в изучении озер широко используются лимнологами разных стран. И.И. Николаев (1976) и С.П. Китаев (1984) многолетние изменения продуктивности связывали со стоком и проточностью водоемов. Антропогенное изменение ландшафта водосбора, такое как вырубка леса, распашка полей до уреза воды и др., увеличивает скорость поступления биогенных веществ в озеро, изменяет уровень биологической продуктивности, что постепенно переводит их в другие трофические уровни.

Самыми главными факторами устойчивости экосистем являются зональное расположение озера, географические факторы и лимнологические условия, формирующие структуру и особенности озерной экосистемы. На втором месте

находятся гидрологические и гидрохимические особенности озер (Россолимо, 1976).

Развитие экосистемы нарушается при изменении внешних факторов среды. Примером может служить изменение климата, которое приводит к преобразованию ландшафтной структуры водосбора, если рассматривать эвтрофирование озера с точки зрения естественной эволюции.

Ландшафтные условия водосбора формируют сток биогенных элементов с водным стоком, главным фактором которого выступает агрофон и почвенный покров. Согласно общепринятым принципам, со вспаханных полей в водоемы попадает наибольшая концентрация биогенных веществ, а наименьшая – с участков, покрытых растительностью. Весеннее половодье и осенние паводки приносят максимальные концентрации веществ (Шулькин, 2009).

Лимнологи рассматривают морфометрические характеристики водоемов как азональные факторы развития водной экосистемы, соответственно на территории исследуемого ландшафта все различия экосистем обусловлены величиной водообема, площадью водного зеркала, глубиной и объемом водных масс, формой котловины (Драбкова, 1986).

От строения озерной котловины зависит внутренний водообмен и структура водной массы. Литоральная зона озера, которая определяется строением котловины, оказывает значительный вклад в формирование сообщества макрофитов, тем самым определяя развитие озера.

Утилизация биогенных элементов определяется морфометрическими характеристиками и климатическими факторами водоема, а первичная продукция – поступлением биогенов. Морфология водоема характеризует состояние водоема, так как отражает уровень развития гидроморфологических процессов, характер водообмена. Ветры и поверхностные воды являются основными источниками преобразования котловины.

## ГЛАВА 2. ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ОБЪЕКТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ

Алтайский регион включает территорию двух субъектов РФ: Алтайский край и Республика Алтай. Алтайский край расположен на территории двух физико-географических стран – Западно-Сибирская равнина и Алтае-Саянские горы. Горная часть охватывает равнину с восточной и южной сторон (Энциклопедия..., 1995). Республика Алтай расположена в пределах горной системы Алтай.

Изучение озер, в первую очередь, связано с практической заинтересованностью человека в природных ресурсах, использованием чистой воды для своих нужд. В качестве объектов исследования в данной работе были выбраны 4 пресноводных озера Алтайского края: Лапа, Красиловское, Большое Островное, Иткуль и озеро на территории Республики Алтай – Телецкое.

### 2.1. Озеро Красиловское

Между крайними точками озера расстояние составляет 4 км. Ширина озера – 2 км, глубина – 6,5 м. Общая площадь зеркала составляет 0,8 км<sup>2</sup> (Суторихин и др., 2012). Площадь водосбора составляет 46,1 км<sup>2</sup> (Государственный водный реестр). Надпойменно-террасовое озеро Красиловское расположено в правобережной части долины р. Оби на границе третьей, «боровой» и четвертой террас, располагается в лесостепной зоне, на абсолютной высоте 220 м (Лузгин, 1998; Занин, 1958).

Территория отличается наличием двух различных типов рельефа. Поверхность берега озера в пределах «боровой» террасы характеризуется чередованием более или менее протяженных систем гряд и ложбин, ориентированных с юго-запада на северо-восток. Протяженность гряд 7–25 м, отдельных лент 1,75–2,25 км, их относительная высота – от 5 до 25 м (Лузгин, 1998). Расстояние между грядами (ширина ложбин) измеряется первыми

десятками метров (Александрова и др., 1958). Для берега озера характерен сглажено-холмистый рельеф с перепадом высот 10-20 м, с отдельно выраженными долинами временных водотоков (Рисунок 2; фотография предоставлена И.А. Суторихиным). В южной приозерной части разница в высотах не превышает 10 м. Состав почв и подстилающих их отложений песчаный.



Рисунок 2 – Озеро Красиловское в мае 2016 г.

Озеро занимает эрозионную котловину, которая первоначально была создана значительным водотоком, а впоследствии расширена в результате активизации эрозионно-дефляционных процессов. Озеро питается как поверхностными, так и грунтовыми водами, бессточное. Картограмма отбора проб оз. Красиловского представлена на рисунке 3, космический снимок взят из Google Планета Земля.

По солености озеро относится к В-гипогалинным пресным водоемам. Трофический уровень озера – эвтрофно-гиперэвтрофное. Во время исследования 2012-2014 гг. относилось к эвтрофному типу (по содержанию хлорофилла "а") (Суторихин и др., 2014). Направление эволюции озера – заиливание и зарастание. Среднегодовые температуры воздуха в бассейне озера составляют от 0 до 1,0 С,

абсолютный минимум температуры  $-52\text{ C}$ , максимум  $+38\text{ C}$ , количество осадков  $-400-500\text{ мм}$  (Атлас Алтайского..., 1991).

Флора водоема достаточно разнообразна, что объясняется многообразием условий обитания растений. Берега озера, местами поросшие смешанным лесом, граничат с открытыми пространствами, которые раньше служили пастбищами для животных, а также использовались под сенокосы и для посева сельскохозяйственных культур, превращенные в данное время в залежи (Атлас Алтайского..., 1991). Линия берега окружена широким поясом тростника. Согласно почвенно-географическому районированию Алтайского края территория, на которой располагается озеро, находится в зоне выщелоченных черноземов и серых лесных почв, и принадлежит почвенному району выщелоченных среднегумусных среднетощих и маломощных черноземов и темно-серых лесных почв (Атлас Алтайского..., 1978; Бурлакова и др., 1988). Из рыб в озере водятся преимущественно карась, сазан, окунь.



Рисунок 3 – Картосхема озера Красиловского с указанием станции отбора проб

## 2.2. Озеро Иткуль

Чаша озера Иткуль имеет лопастную форму. Общая площадь  $-10,2\text{ км}^2$ , средняя глубина  $-3,5\text{ м}$ , максимальная  $-8,5\text{ м}$ . Конфигурация береговой линии

сложная, берега рассечены заливами и бухтами. Большинство морфометрических показателей зависит от водности. Песчано-илистые грунты литорали опоясывают все берега озера до глубин 2 м и составляют около 9 % дна. В местах впадения и истока рек располагаются черно-бурые илы с растительными остатками (4-5 %); сублитораль простирается до глубин 5-6 м и сложена серыми илами (50-60 % акватории дна). Самые глубокие места – профундаль – покрыты чернобурными тонкими илами (около 30 %). Донные отложения имеют мощность до 2 м. Озерные берега пологие и низкие, на значительном протяжении заболоченные либо слабо всхолмленные благодаря песчаным буграм (Малолетко, 2006; Леонтьева, 2015).

Озеро расположено на древней надпойменной террасе правого берега Оби, на высоте 216,4 м. Озеро проточное, с северо-востока в него впадает р. Буланиха, вытекает р. Уткуль, которая соединяет его с р. Черемновка, притоком р. Обь. В период паводка ежегодно Иткуль наполняется водами через систему малых рек, вода его близка по составу к речной. Вода гидрокарбонатная кальциево-магниевая с минерализацией 0,3 г/л. Зимой озеро полностью не покрывается льдом.

Бассейн озера расположен в лесостепной зоне с умеренно-холодным климатом с умеренным увлажнением, схема отбора проб представлена на рисунке 5. Космический снимок на рисунках 4 и 5 взят из Google Планета Земля. Климат характеризуется устойчивым увлажнением летом и значительным снежным покровом зимой. Средняя температура января – 18,2 °С, июля – +18,9 °С. Годовое количество осадков достигает 518 мм.

Почвы – выщелоченные среднегумусные черноземы, под сосновыми борами – дерново-подзолистые. Своей северной и северо-западной частью Иткуль примыкает к сосновому бору, на остальной части побережья развита луговая растительность.

Для озера характерен пояс надводной растительности, занимающий около 1/3 части площади озера, и состоящий из тростника, камыша и осок, которые тянутся вдоль всей береговой линии. В устьях рек и заливах бордюрная зарастаемость

переходит в массивно-зарослевую, а глубже – в пояс растительности с плавающими листьями, представленный в основном кубышками и кувшинками.

Площадь бассейна – 464 км<sup>2</sup>, уровень распашки составляет 54%, 19% территории залесено, 6% – заболочено. Территория хорошо освоена в сельскохозяйственном отношении. Практически все лесостепные массивы распашаны и относятся к землям пахотного фонда. Преобладают культурные посевы, пересеченные защитными лесополосами. Озеро относится к мезотрофному типу (по видовому составу зоопланктонных сообществ) по данным Л.В. Весниной (1997).



(Электронный ресурс - <http://supaman.ru/moi-krai-rodnoi/ozero-utkul/>)

Рисунок 4 – Фотография Озера Иткуль (в июне 2017 г.) и космический снимок

Озеро относится к незаморным водоёмам, т.е. рыба сохраняется в озере в течение всего года, не вымирает. Из рыб в озере отмечены: карась, зеркальный карп, лещ, линь, окунь, плотва, сазан и щука.



Рисунок 5 – Картосхема оз. Иткуль с указанием положения станций отбора проб

### 2.3. Озеро Лапа

Пойменное озеро (озеро-старица) Лапа (Правая Лапа) имеет максимальную глубину 11,5 м, площадь зеркала – 0,76 км<sup>2</sup>, принадлежит к придаточной системе правобережной поймы р. Оби и расположено в окрестностях г. Барнаула, справа от трассы за старым мостом. Долина Оби на этом участке имеет широкую пойму и пять надпойменных террас. Пойма изрезана старыми руслами – старицами.

В настоящее время озеро является непроточным и сообщается с рекой только в период весеннего половодья, хотя до строительства железнодорожного моста оно вместе слевой Лапой (водоем слева от трассы) представляло собой единый водоем. Схема отбора проб представлена на рисунке 6, топографическая основа взята из Google Планета Земля. Озеро по солёности относится к  $\alpha$ -гипогалинным пресным водам, минерализация составляет порядка 132 мг/дм<sup>3</sup>. Водоем относится к эвтрофному типу.

Рассматриваемая территория приурочена к лесостепной зоне с умеренно-холодным климатом и умеренным увлажнением. Среднегодовые температуры составляют +1,0-2,0°C, абсолютный минимум температуры составляет –52 С, максимум +38°C, количество осадков – 400-500 мм (Атлас Алтайского..., 1991).



Рисунок 6 – Картосхема оз. Лапа с указанием станции отбора проб

Пойма Оби, к которой приурочено оз. Лапа, сложена в основном аллювиальными отложениями (пески, суглинки, супеси), почвенный покров представлен лугово-черноземными, луговыми, аллювиальные почвами с луговой растительностью. Здесь множество заболоченных участков с осокой и тростником, водятся щука, ерш, лещ, плотва, судак, окунь, карась.

#### 2.4. Озеро Большое Островное

Озеро Большое Островное расположено в Касмалинской ложбине древнего стока, котловина хорошо выражена. Морфометрические показатели озера зависят от условий водности, особенно в повторяющиеся годы; многолетние колебания глубин по данным ГГИ (1962) составляет 2,7 м, акватория озера может изменяться от 19 до 32 м<sup>2</sup> (Гидрогеология СССР..., 1972). Максимальная глубина озера достигает 5,6 м; средняя глубина при различном наполнении озерной чаши колеблется в пределах от 0,9 до 1,8 м. Объем водной массы – 17,7-44,3 м<sup>3</sup>. Коэффициент развития береговой линии – 2,7. Литораль хорошо развита, чаще песчаная, реже – заболоченная. Донные грунты представлены: песками – 25 %; песчано-илистыми – 35 %; илистыми – 40 %, в том числе сапропелем – 15 %.

Озеро расположено в Верхнеобской лесостепной провинции, Приобской левобережной колочно-степной подпровинции и по самой низкой иерархии – в Касмалинском районе (Николаев, 1999; Ландшафтная карта..., 2016).

На одном из берегов озерного водоема расположено крупное село – райцентр Мамонтово, кроме него имеются еще два небольших села – Островное и Малые Бутырки. После выхода из оз. Бол. Островное р. Касмала имеет постоянный сток через систему небольших озер в сторону самого большого по площади водоема в системе – оз. Бол. Горькое (Озеро Большое..., 2016). Береговая линия озера сложной конфигурации, берега большей частью низкие, заболоченные (Прошина, 1967).

Продолжительность периода с устойчивым снежным покровом составляет 155-160 дней. Абсолютный минимум температуры воздуха достигает – 50°C. Безморозный период длится в среднем 115-120 дней (География..., 1998). По солености относится к а-полигалинным пресным водам. По данным Л.В. Весниной за 1997 г. водоем относится к мезотрофному типу (по видовому составу зоопланктонных сообществ), по сапробности – b-мезосапробный, показатель сапробности  $S = 1,86-2,0$ . За 2008-2009 гг. озеро относилось к гиперэвтрофному типу (по содержанию хлорофилла “а”) (Кириллов и др., 2009). Водосбор озера приурочен к степной зоне с низким уровнем увлажнения, занимает площадь 892 км<sup>2</sup>. Рельеф водосбора равнинный, в междуречье Барнаулки и Касмалы – слабо расчленен и дренирован малыми водотоками. Почвы водосбора – обыкновенные черноземы, под сосновым бором – песчаные.

Вокруг водоема произрастают луга, черноземные степи и злаково-полынные разнотравья на луговых и лугово-болотных засоленных почвах. На восточном берегу водоема на дерново-подзолистых почвах – Касмалинский ленточный бор, схема станций отбора проб представлена на рисунке 7, топографическая основа взята из Google Планета Земля. В трех километрах юго-западной с. Буканское начинается оз. Островное, которое разделено перешейком. В озере водятся караси, щуки, плотва.

Находясь практически в центре крупного районного центра – с. Мамонтово, оз. Большое Островное является основным местом отдыха и рыбалки для его жителей и гостей района.

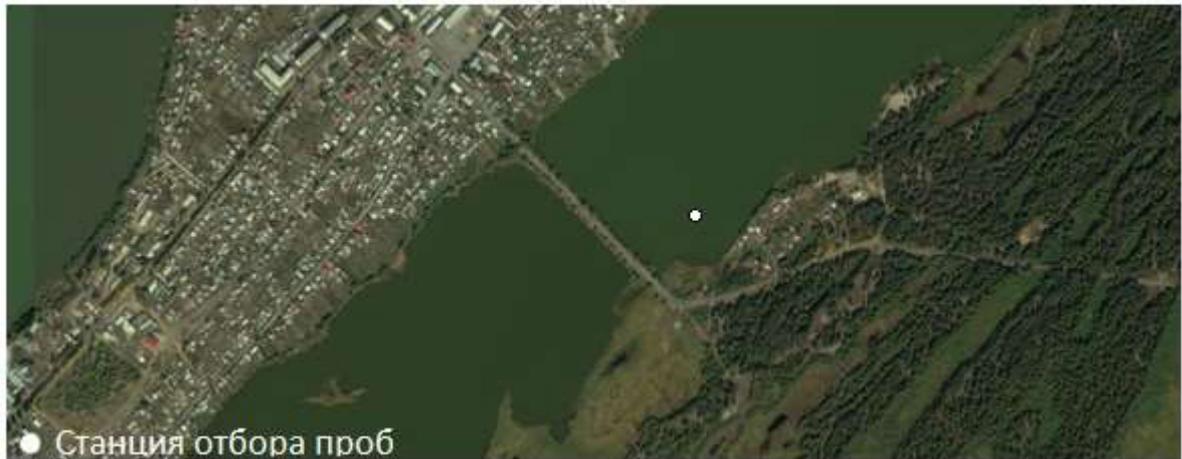


Рисунок 7 – Картосхема оз. Бол. Островное с указанием станции отбора проб

Берега озера топкие, заболоченные, захламленные, на илистых побережьях озера массово разрастаются тростник, рогоз. Дно интенсивно заиливается. Тип зарастаемости акватории высшей водной растительностью – бордюрный, общее покрытие водной поверхности растительностью в пределах 15 %. В маловодные годы ширина бордюра значительно сокращается, но степень зарастания растительностью литорали быстро восстанавливается при улучшении условий водности в указанных пределах. Этот вид зарастания в основном представлен тростником, реже – камышом.

Водная поверхность озера практически полностью покрыта плавающей растительностью: ряской и многокоренником, по состоянию зоопланктона качество воды оценивается между III и IV классами качества (вода «умеренно-загрязненная» – «загрязненная») – состояние экологического неблагополучия (Веснина, 2000). В озере накоплен мощный слой иловых отложений, в основном сапропеля. Эти отложения в сочетании с малыми глубинами обуславливают заиливание родников, постоянный зимний дефицит кислорода, что приводит к массовой гибели рыбы.

Согласно показателям ОИГС для равнинных озер Алтайского края, по сравнению с горными водоемами, геоэкологическое состояние водоемов ухудшается, что обусловлено спецификой ландшафта территории, климатическими особенностями, типом питания водоемов. Озеро Бол. Островное

имеет показатель ОИГС в 3-4 раза больше, чем в остальных исследуемых озерах, что обусловлено заиливанием дна озера, связанным с увеличением распаханности и снижением лесистости, малой глубиной, антропогенным влиянием районного центра с. Мамонтово.

Показатель ОИГС изменяется в зависимости от сезона года, на озере Лапа в пределах от умеренного до среднего; озеро Красиловское и Иткуль можно отнести к среднему уровню.

## 2.5. Телецкое озеро

Телецкое озеро расположено в северо-восточной части Алтая на высоте 434 м над уровнем моря (Селегей, Селегей, 1978). Озеро имеет тектоническое происхождение, в него впадает около 70 рек и более 150 временных водотоков (Селегей и др., 2001). Озеро находится в системе бассейна р. Бии, которая из него вытекает. Геоморфологически оно представляет собой расширенную часть верхнего участка долины р. Бии. Глубина озера по среднему многолетнему уровню равна 323 м, относится к числу глубочайших горных водоемов (Селегей и др., 2001).

Общая площадь водосбора составляет 20 400 км<sup>2</sup>, из которых 17 600 км<sup>2</sup> (67%) приходится на бассейн р. Чулышмана, главного притока озера, и 3200 км<sup>2</sup> – на бассейн всех прочих притоков, общий объем воды около 40 км<sup>3</sup>, по данным В.В. Селегея (1978). В Телецкое озеро впадает много горных речек и ручьев, но решающее значение в пополнении озера водой принадлежит р. Чулышману (с крупнейшим притоком р. Башкаус), которая дает 70 % притока.

Водосборным бассейном озера выступает горная область, которая вытянулась с юго-востока на северо-запад на расстояние 235 км. Его средняя ширина 84 км (максимальная 150 км), средняя высота над уровнем моря 1 940 м (Селегей, Селегей, 1978).

В бассейне озера встречаются различные типы рельефа, которые располагаются вертикальными поясами (широкие долины, глубокие ущелья,

остроконечные вершины) (Гельмерсен, 1834; Игнатов, 1907; Барышников, 1992). Первый пояс – это пояс расчлененного денудационными процессами пород рельефа, выше располагается второй пояс – пояс поверхностей выравнивания, третий пояс – пояс альпийских форм, который был сформирован под действием ледниковой эрозии (Рудой, 2013).

Отмечается небольшое количество ледниковых и снеговых пятен северных склонов и ущелий на хр. Куркуре-Бажи, Шапшальский и Абаканский; если говорить о современном оледенении, то оно практически отсутствует.

Котловина озера окружена отвесными горными склонами. Острова и полуострова практически отсутствуют, за исключением небольших скальных выступов у мысов Ажи, Чичелган, Айран и зал. Айраташ (Ревякин, 1976). Берега в основном обрывистые, скальные; галечные и песчаные берега наблюдаются только в устьях крупных притоков и у подножия террас Яйлю и Беле. Бухт и заливов мало, наиболее крупные – Камгинский залив (площадь 6,5 км<sup>2</sup>), Кыгинский (3,1 км<sup>2</sup>) и залив Колдор (2,15 км<sup>2</sup>). Крупные притоки образуют конусы выноса, приустьевая часть некоторых из них заболочена (р. Чулышман, Кыга, Камга и т.д.). Часть притоков почти не имеют долин и впадают в озеро в виде водопадов; часть других текут из ущелий. Климат озера относится к континентальному и отличается длительной зимой, непродолжительным летом, температура которого понижается из-за того, что воды озера долго прогреваются (Ревякин и т.д., 1971; 1976; 1977; 1979; Шевченко, 2010). Режим температуры воздуха в долине Телецкого озера и в целом по бассейну формируется под влиянием общей атмосферной циркуляции, феновой и бризовой циркуляции, температуры водных масс (Модина, 1981; 1995; Севастьянов, 1991). Среднегодовая температура на озере (+2,8 С – Яйлю, +3,6 С – Беле) намного выше, чем в высокогорье (–4,2° – Улаган). Средняя температура января в районе озера –12-17 С, в высокогорье –22-24 С, июля – соответственно +12-16 С и +8 С. В самой долине озера широтная часть отличается более холодным климатом, чем меридиональная.

На прилегающих к озеру горных склонах преобладают серые и бурые лесные почвы, реже маломощные горные черноземы (Министерство..., 2013).

Залесенность бассейна Телецкого озера составляет 52% и увеличивается с юго-востока на северо-запад, заканчиваются на высоте 1600 м, на юго-востоке – 2000-2200 м (Физико-географическая..., 2001).

Трофический уровень Телецкого озера соответствует ультраолиготрофно-олиготрофному, если оценивать по содержанию хлорофилла "а", что совпадает с оценкой трофности по первичной продукции, прозрачности и содержанию биогенных веществ (Кириллова, 2006; Суторихин, Фроленков, 2017).

Видовой состав древесных пород подвержен вертикальной зональности. Нижний пояс до высоты 800-1000 м представлен смешанным лесом из березы, осины, кедра, пихты, сосны, рябины и др. Средний пояс лесов (до 1400-1500 м) – кедрово-пихтовыми, кедровыми лесами. Бассейн р. Чулышман представлен кедрово-лиственничными лесами. На южных склонах растет береза, сосна, лиственница; на северных – кедр, пихта, сосна, осина (Отчет..., 2004). Узкая полоса на границе леса и гольцов занята кустарниковой растительностью, которая сменяется изреженными низкорослыми кедровыми лесами, переходящими в сплошную кедровую тайгу в среднем и нижнем поясе с примесью пихты (Единый государственный..., 2014; АГРИЭН..., 2019).

## **2.6. Анализ воздействия естественных и антропогенных факторов на пресноводные озера Алтайского региона**

*Озеро Красиловское* – один из популярных туристических объектов Алтайского края. Распространен как неорганизованный, так и организованный туризм. На берегу расположена база АлтГУ с комфортабельными домиками.

В связи с естественными условиями и антропогенными изменениями территории наблюдается уменьшение прозрачности воды, по причине поступления значительного объема взвешенных и растворенных органических веществ, путём смыва с водосборного бассейна гумусового горизонта.

В некоторых участках озера Красиловского толщина илового слоя превышает 1,5-1,8 м за счет смыва веществ с полей вблизи сел. На северном берегу озера, где сейчас находится учебно-научная база отдыха АлтГУ, толщина илового слоя составляет 20-30 см. Все эти факторы ускоряют процессы аккумуляции осадков разного происхождения, наносы накапливаются в поймах, образуются болотные массивы, котловина заполняется осадочным материалом. Кислородный режим озера нестабилен: в некоторые годы дефицит растворенного кислорода наступает в декабре или в начале января. При массовом развитии водорослей возможен и летний его дефицит, и как результат – гибель рыб.

Во время обследования озера неоднократно встречались свалки бытовых отходов на берегу со стороны с. Озеро-Красилово и мест, находящихся вне зоны ответственности базы отдыха (Vinokurova et al., 2018).

Видовой состав флоры и фауны озера движется в сторону обеднения (Ревякина, 2005; Фауна птиц, 2010; Козырева, 2011).

Площадь водного зеркала значительно уменьшилась, если судить по наличию озерных террас. Участки озера, где находились зыбуны, в данный момент соединились с берегом.

Во время сезонной экспедиции в апреле 2017 г. наблюдались заморные явления (Рисунок 8; фотографии предоставлены И.А. Суторихиным).



Рисунок 8 – Заморные явления на оз. Красиловское, 27 апреля 2017 г.

Подобные действия могут привести к уничтожению водоема в обозримом будущем и гибели флоры и фауны, которая зависит от жизнедеятельности водоема (Фауна птиц..., 2010). Озеро постепенно мелеет, в настоящее время глубина уменьшилась до 6 м, а площадь водоема – 0,8 км<sup>2</sup> (Акулова, 2015).

*Озеро Иткуль* расположено на границе Зонального и Троицкого районов Алтайского края в 143 км от г. Барнаула на Чуйском тракте. Из-за распаханности территории водосбора озера Иткуль (свыше 54%), пологих и низких берегов озера, происходит смыв частиц почвы и пестицидов с полей. Все эти воздействия изменяют форму озерной котловины, уменьшают глубину, происходит пропорциональное изменение уровня биологической продуктивности водоема и как следствие приводит к смене трофического уровня. Донные отложения имеют мощность до 2 м (Прошина, 1967). Восточный берег озера больше всего заболочен, что составляет 6% водосбора. Своей северной и северо-западной частью оз. Иткуль примыкает к сосновому бору. Залесенность водосбора оценивается в пределах 19%. Озеро проточное. В период паводка ежегодно Иткуль наполняется водами через систему малых рек, вода его близка по составу к речной. Питают озера талые, дождевые и подземные воды.

Культурный и природный ландшафт территории озера Иткуль и реки Уткуль являются объектами культурного наследия (Постановление АКЗС..., 2002). Озеро используется как рекреационный ресурс (купание, катание на лодках, отдых у воды, рыбная ловля и др.), вследствие чего происходит загрязнение самого водоема и прибрежной зоны. Больше всего оказывает загрязнение неорганизованный отдых. За рыбным заводом находится свалка мусора. На озере расположено два туристических комплекса с одинаковыми названиями «Уткуль». Около озера расположены следующие сёла: с севера востока – Плешково, в центральной северной части – Вершинино, в северо-западной части – Иткуль, что в определенной степени, приносит антропогенный вклад в геэкологическое состояние.

Наблюдается уменьшение рыбы в озере из-за браконьерства и

неконтролируемого лова. 20 октября 2017 г. жителями с. Вершинино было проведено зарыбление озера карпом и белым амуром (Рисунок 9).



(Электронный ресурс - <http://altfishing-club.ru>)

Рисунок 9 – Зарыбление оз. Иткуль карпом и белым амуром

На южном берегу, в месте истока р. Уткуль расположен рыбзавод, филиал которого находится на северном берегу с запада от села Вершинино, не работает уже несколько лет.

**Озеро Лапа** находится в непосредственной близости от Новосибирского тракта в окрестностях города Барнаула, добраться до него может любой рыбак, проезд на автомобиле не затруднен. Развит неорганизованный отдых, берег озера покрыт бытовыми отходами. Сейчас озеро испытывает интенсивное антропогенное воздействие.



(Электронный ресурс - <https://altapress.ru/sport/story/>)

Рисунок 10 – Озеро Лапа, спортивный комплекс гребного канала на берегу

На берегу озера ведется строительство спортивного комплекса (Рисунок 10). Проведены работы по берегоукреплению и подъёму грунта, деревья вокруг водоема вырублены, проложены инженерные сети, возведен комплекс зданий и вспомогательных сооружений, заасфальтированы дороги до канала.

*Озеро Большое Островное* отличается значительной степенью антропогенной освоенности и преобразованности водосборной территории, источниками которых являются следующие объекты: с одной стороны озера расположен крупный райцентр – с. Мамонтово, выше – с. Малые Бутырки, с другой – пожарная станция, кроме того, озеро пересекает мост (Рисунок 11) (Энциклопедия природы..., 2011).

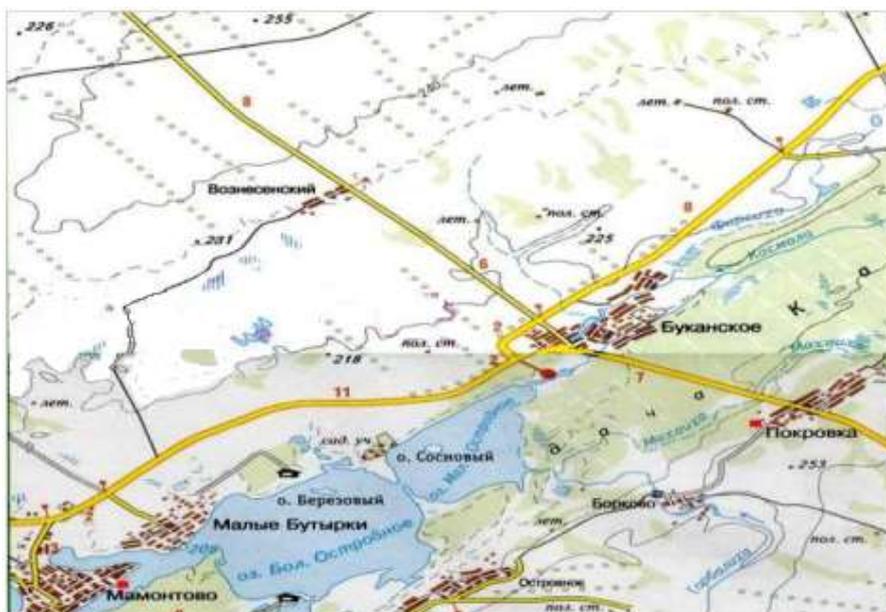
Негативное влияние на озеро оказывает увеличение площади распашки территории вблизи озера и снижение лесистости, прекращение эксплуатации мельничных плотин, которое привело к уменьшению проточности водоема.

Распашка территории до уреза воды приводит к изменению скорости поступления в озеро биогенных элементов. Фосфорные и азотные удобрения, которые являются основными источниками загрязнения водоемов биогенными веществами, смываются дождевыми водами, что приводит к увеличению продуктивности водоема. Потоки талой воды весной или летние дожди смывают гумусовый горизонт, который аккумулируется на дне, способствуя преобразованию котловины. Эти отложения в сочетании с малыми глубинами способствуют заилению родников, постоянному зимнему дефициту кислорода, что приводит к массовой гибели рыбы и смене трофического уровня. В озере накоплен мощный слой иловых отложений, в основном сапропеля (донные отложения живых организмов).

Около 60 % водосбора распаханно, облесено и закустарено в пределах 8%, заболочено – 3 % (Доклад..., 2003). Тип зарастаемости акватории высшей водной растительностью – бордюрный, общее покрытие водной поверхности жесткой растительностью в пределах 15%. В маловодные годы ширина бордюра значительно сокращается (в основном представлен тростником, реже – камышом). Бордюры водной растительности вдоль берегов основного плеса является фактором

сохранения берегов от эрозии, литорали – от загрязнения и как биофильтр для задержания биогенов и пестицидов, поступающих в озеро с прибрежных склонов.

В ходе исследования выявлено заметное ухудшение геоэкологического состояния, в результате оз. Бол. Островное теряет свое рекреационное и рыбохозяйственное значение.



(Электронный ресурс - <https://wikimapia.org/26913025/ru/Малое-Островное-озеро#/photo/4877926>)

Рисунок 11 – Карта Озера Большого Островного

Озеро Большое Островное является пресным естественным водоёмом. Вода озера загрязнена, берега топкие, заболоченные, захламлинные.



(Электронный ресурс - <https://altapress.ru/>)

Рисунок 12 – Процесс очистки озера Бол. Островное от заиления

Ввиду достаточно быстрого заиления озера местными властями была разработана Программа по его своевременной очистке. Проектом предусмотрена очистка озера на площади 28 га (1,2 км вдоль берега в с. Мамонтово) и расчистка русла р. Малая Касмала из оз. Бол. Островное – 5,4 км (от моста до оз. Игнахино). В 2012 г. по этой Программе за счет субвенций из федерального бюджета начата постепенная очистка оз. Бол. Островного. Озеро расчистят от избыточных илистых отложений, что улучшит водообмен в водоеме (Рисунок 12).

Перед началом очистки проведен полный экологический мониторинг водоема, отмечены основные источники загрязнения, оценен фактор загрязнения бытовыми отходами и мусором, успешно прошли инженерные и геологические исследования, необходимые гидрологические изыскания. Очистка водоема, на берегу которого находятся села Мамонтово, Малые Бутырки и Островное, позволит жителям этих сел активнее включать его в хозяйственную деятельность. Улучшатся санитарно-гигиенические природные условия в водоеме, активизируются естественные процессы самоочищения.

Восстановление нормального водообмена в водоеме обеспечат расчисткой выхода р. Малой Касмалы из Бол. Островного озера. Это необходимо будет сделать на участке от моста в Мамонтово до оз. Игнахино. Водообмен здесь существенно затруднен ввиду заболоченности. Он заилен и покрыт зарослями влаголюбивых и прибрежных растений. Этот водоток предполагается сравнить с расходом воды р. Малая Касмала при впадении в Малое Островное озеро.

Для водосборной территории *Телецкого озера* характерно интенсивное проявление современных экзогенных процессов. Рельеф озера изменяется под действием физико-химического выветривания, эрозии, оползней, камнепадов, абразией, селей, лавин и т.д.

В результате абразии – разрушения берегов под действием волн – берега озера зачастую имеют обрывистый характер. Следы схода селя ярко выражены у южного побережья Телецкого озера, на склоне г. Таулок (Доклад..., 2008). Залесенность бассейна составляет около 52% и увеличивается с юго-востока на северо-запад (Доклад..., 2003).

В долине р. Чулышман часто проявляются фёны. На участках долин с большой повторяемостью фёнов вертикальный градиент осадков отрицателен, близ устья р. Башкаус он достигает 60 мм. Летом действие фёнов приводит к обезвоживанию и нарушению ассимиляции растительных сообществ. В результате этого природный климатический фон долин с фёнами обеспечивает господство степных и полупустынных ландшафтов (Селегей, 1978). Экологическая напряженность в регионе Телецкого озера вызвана, в первую очередь, неконтролируемым строительством, во время которого режим водоохранной зоны озера и рек бассейна практически не соблюдается, согласно данным первой Всемирной конференции ООН в Стокгольме (1972) по окружающей среде (Шварц, 1976). Основными экологическими проблемами в бассейне Телецкого озера являются нарушение природных комплексов в результате лесозаготовительной деятельности, неконтролируемый поток неорганизованного отдыха туристов, нерегламентированная застройка прибрежной зоны. Застройка в селах Артыбаш и Иогач осуществляется практически по берегам.

Наибольший антропогенный пресс испытывает территория, приуроченная к крайней северо-западной части озера – села Артыбаш, Иогач, пос. Яйлю и их окрестности. Это наиболее плотно заселённая и интенсивно освоенная часть прибрежной зоны оз. Телецкое, именно здесь сосредоточена основная часть рекреационной инфраструктуры бассейна по данным из проектной документации ИВЭП СО РАН (Рисунок 13). Как следствие – значительная нарушенность природных комплексов и загрязнённость территории хозяйственными и производственными отходами (Рисунок 14).

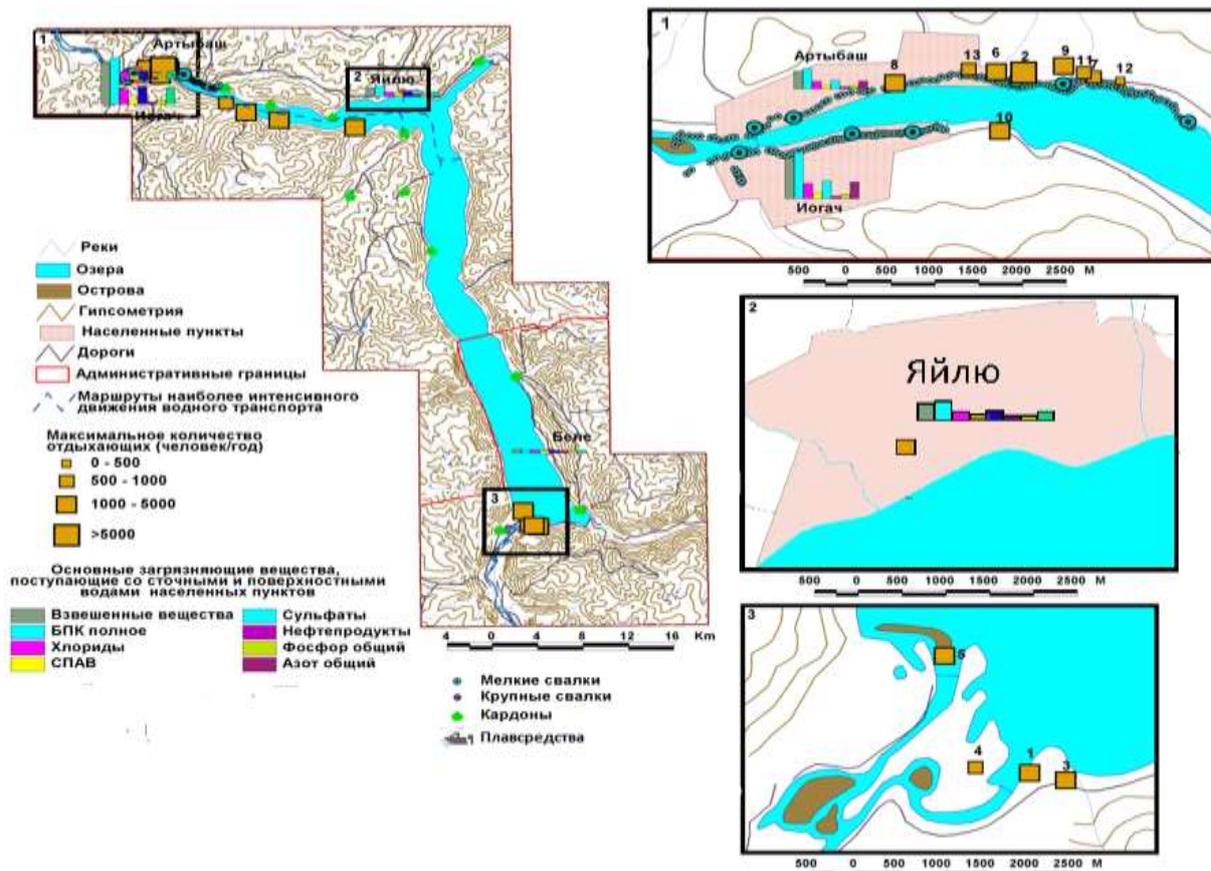


Рисунок 13 – Схема расположения основных источников антропогенного воздействия на территорию водосборного бассейна оз. Телецкого (Проектная документация..., 2013)

Количество отдыхающих на озере туристов увеличивается с каждым годом, согласно статистике озеро посещают от 150 до 250 тыс. человек в год. По данным Интернет-ресурсов в летний сезон 2016 г. озеро посетило более 200 тыс. туристов (Экологический клуб..., 2017; Экодело..., 2016).

В поселке Яйлю появился яхт-клуб, большое количество туристических баз (Собанский, 2006). Мощность двигателей всех плавсредств на озере увеличилась в 25 раз (Экологический клуб..., 2017).

Во время проверок береговой зоны озера Управлением природных ресурсов и охраны окружающей среды МПР России по Республике Алтай в 2002-2003 гг. был выявлен ряд нарушений водного законодательства некоторыми рекреационными учреждениями (Доклад..., 2003; Доклад..., 2004).

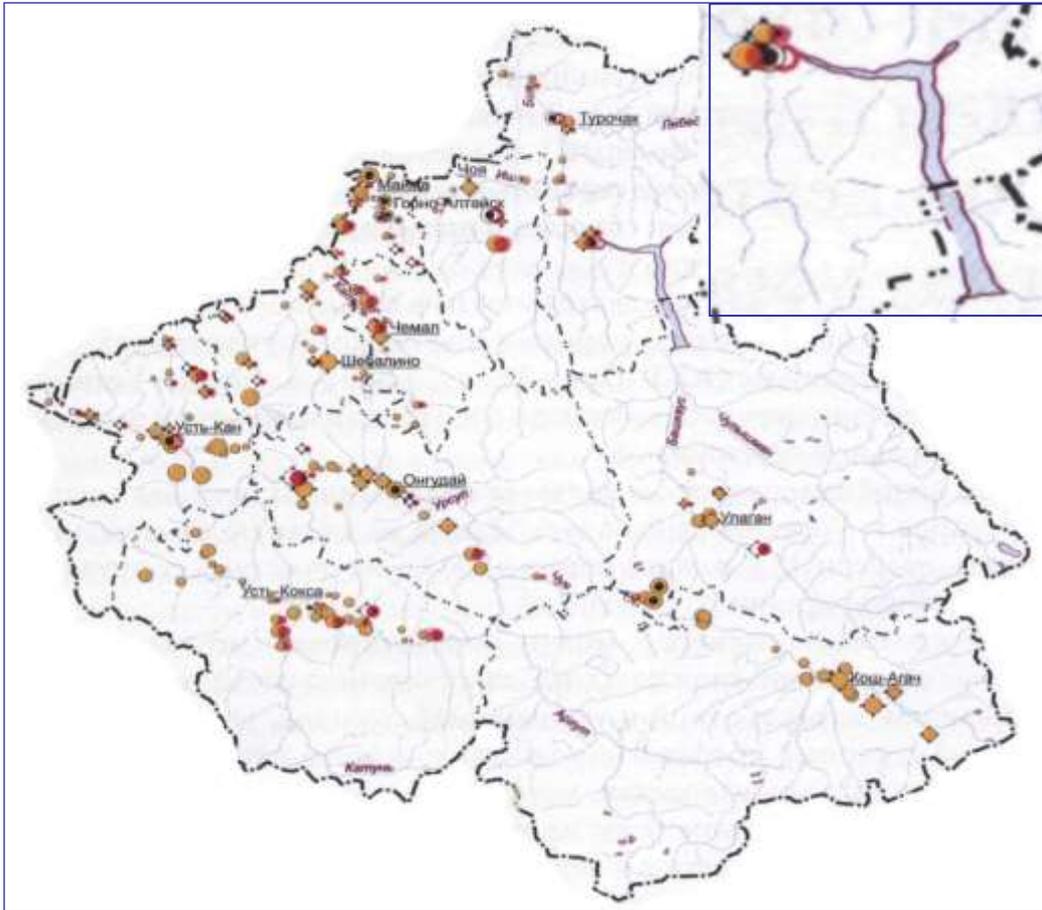


Рисунок 14 – Схема расположения объектов отходов производства и потребления на территории Республики Алтай в 2003 г. (Доклад..., 2004)

Непосредственно в водоохраной зоне озера расположено порядка тридцати крупных и мелких баз отдыха, многие из них не имеют лицензии. На некоторые объекты можно добраться лишь на катере по воде. За последние годы исследования наблюдается рост антропогенной нагрузки, как на экосистему озера, так и на его бассейн (Селегей, 2011; Пушистов, 2013).

В последние годы на озере наблюдается неконтролируемый рост численности плавсредств. По данным Управления природных ресурсов и охраны окружающей среды МПР России по Республике Алтай, по состоянию на сентябрь 2003 г. на берегах Телецкого озера, базировалось более 100 судов, из которых 80% составляют маломерные суда, принадлежащие частным организациям и физическим лицам (Отчет..., 2004). В 2010 году общая численность составляла около 300 судов (Шевченко, 2010).

Экспедиционное обследование данных озер позволило оценить природную и рекреационную значимость объектов. Озера разнотипные по происхождению котловин, характеристикам вмещающих ландшафтов, морфологии и степени трофности, антропогенное воздействие на них имеет разную степень. Повышенную нагрузку на объекты исследования оказывают произвольно появляющиеся свалки, низкий уровень ответственности за сохранение природной среды, отсутствие централизованной утилизации и вывоза ТБО, сброс вредных веществ в водоем, загрязнение от использования водного транспорта. Застройка берега водоемов туристическими объектами зачастую осуществляется на базе жилой застройки (Пузанов и др., 2017). Описанные факторы негативно влияют на экологическое состояние озер, антропогенное воздействие также ускоряет процесс эвтрофирования. Антропогенное эвтрофирование в этих местах происходит, в основном, из-за хозяйственной деятельности человека.

Перечисленные факторы приводят к изменению геоэкологического состояния водоемов.

В соответствии с определением В.В. Козина и В.А. Петровского (2005), «под антропогенной нагрузкой понимается степень прямого или косвенного воздействия человека и его хозяйствования на природную среду в целом или на ее элементы и их свойства». Для оценки интенсивности антропогенной нагрузки на водные объекты многими исследователями использовались разнообразные показатели: плотность населения территории (чел/км<sup>2</sup>); рекреационная нагрузка (чел/км<sup>2</sup>); сельскохозяйственная освоенность, включающая распаханность (%) и животноводческую нагрузку (количество условных голов КРС на 1 км<sup>2</sup>), (Рыбкина, Стоящева, 2010; Рыбкина, Стоящева, Курепина, 2011; Отто, Оточкина, 2016) (Таблице 2).

В целях оценки влияния природного воздействия на водосборные бассейны исследуемых озер, автором данного научного исследования, в соответствии с методикой А.Г. Исаченко (2001), определены показатели, представленные в таблице 3. Информационную основу исследования составили данные с сайта Федеральной службы государственной статистики (Росстат). Крутизна склона

(ската) рассчитывалась на основе общепринятой методики, характеризуясь углом наклона (град.), а также уклоном (%).

Таблица 2 – Антропогенная нагрузка на водосборный бассейн  
исследуемых объектов

Показатель	Озера				
	оз. Телецкое	оз. Лапа	оз. Красиловское	оз. Иткуль	оз. Большое Островное
Плотность населения территории, чел/км <sup>2</sup>	0,14	-	5,2	0,6	10,7
Рекреационная нагрузка, чел/км <sup>2</sup>	0,10	23,9	2,5	0,20	0,18
Степень распаханности, %	0,2	-	1,4	54	60
Животноводческая нагрузка, усл. гол./км <sup>2</sup>	0,6	-	0,3	4,5	3,4

При воздействии антропогенной нагрузки на территорию водосбора (распашка территории, сведение леса и т.д.) изменяется поверхностный сток озера.

Сельскохозяйственная нагрузка на озера Алтайского края достаточно высокая. Максимальные значения распаханности территории водосбора достигают в озерах: Б. Островное (60%) и Иткуль (54%). Район озера Красиловского на данный момент характеризуется показателем распаханности территории, равным 1,4%, минимальным среди исследуемых объектов. Однако 10-20 лет назад земли Косихинского района, в том числе на водосборе озера, интенсивно использовались для выращивания зерна. В отдельные периоды советских пятилеток практиковалось досрочное перевыполнение плана по зерну, отражение последствий подобного экстенсивного использования земель можно наблюдать в виде донных отложений озера Красиловского.

Наиболее высокий показатель рекреационной нагрузки на территорию водосбора выявлен для объекта исследования оз. Лапа и составляет 23,9 чел/км<sup>2</sup>. Высокий показатель обусловлен строительством на берегу озера спортивного

комплекса, в котором в настоящее время построено и функционирует новое сооружение, включающее четыре тренажерных зала, большой конференц-зал и гостиница на 50 мест для проведения сборов.

Для окрестностей оз. Красиловского значение рекреационной нагрузки в настоящее время составляет  $2,5 \text{ чел./км}^2$ , при наличии на территории водоема учебной базы АлтГУ, 20 жилых домиков по 6 мест, с максимальной возможностью расселения 120 человек, и гостиницы на 12 мест для отдыхающих. В перечень рекреационных занятий территории входят: купание, катание на лодках, отдых у воды, рыбная ловля и др. (Алтайский государственный университет..., 2019).

В Республике Алтай в оказании туристских услуг участвует 778 хозяйствующих субъектов, 460 частных домовладений. Озеро Телецкое находится на территории Турочакского (30 туробъектов с возможностью размещения 1595 чел.) и Улаганского районов (15 туробъектов – 450 чел.), однако рекреационная нагрузка нивелируется значительным размером площади водосбора и достигает около  $0,10 \text{ чел./км}^2$  (Казаков, Прудникова, 2015).

Наиболее высокие показатели демографической нагрузки определены для окрестностей оз. Красиловское ( $5,2 \text{ чел./км}^2$ ) и оз. Большое Островное ( $10,7 \text{ чел./км}^2$ ). На водосборе озера Бол. Островное находится крупный райцентр – с. Мамонтово с численностью жителей – 8652 чел. и с. Малые Бутырки (934 чел.). На территории оз. Красиловского расположено с. Озеро-Красиловское (до 300 чел.). Высокие значения животноводческой нагрузки на территории водосбора отмечаются на оз. Иткуль ( $4,5 \text{ усл. гол./км}^2$ ) и оз. Бол. Островное ( $3,4 \text{ усл. гол./км}^2$ ). На водосборе оз. Иткуль находится с. Вершинино, крупный рогатый скот которого пасется на озере. На территории озера Большое Островное происходит выпас скота жителей сел Мамонтово и Малые Бутырки. Минимальная животноводческая нагрузка выявлена на оз. Красиловском.

На состояние водосборной площади оказывает влияние не только антропогенные факторы, но и природные.

Природное воздействие – это воздействие, вызванное внешними процессами, явлениями и факторами природного происхождения (ГОСТ Р 56257-2014).

Таблица 3 – Природные условия водосборных бассейнов исследуемых озер

Показатель		Телецкое		Лапа	Красиловское	Иткуль	Большое Островное
Глубина, м		325		11,5	6,5	8,5	5,6
S <sub>водного зеркала</sub> , км <sup>2</sup>		227,3		0,76	1,4	10,2	28,6
Донные отложения		бескарбонатные терригенные алевритистые глины		пески, суглинки, и, супеси	пески суглинки	песчано- илистые, черно- бурые, серые, чернобурые тонкие илы	пески, песчано- илистые, илистые (сапропели)
Сводосбора, км <sup>2</sup>		20 400		2,1*	53,4	464	892
Кол-во притоков, шт.		71		0	0	1	1
Залесенность, %		52		4,7*	2,5*	19	8
Заболоченность, %		3		0	2*	6	3
Грунты (подстилающая, водосборная поверхность)		бурые и серые лесные, галечниковые, гравийные, и песчаные пляжи (не нравятся экспертам)		аллювиальные засоленные	состав почв и подстилающих их отложений песчаный	песчаный	песчаный
Крутизна склона	угол наклона, град.	15	50	0	1	8	10
	Уклон, %	28	85	0,93	2,3	14	20

\* - данные посчитанные по Google Планета Земля.

Леса на территории водосбора играют водопоглотительную и защитную роль, задерживают поступление в озеро биогенных элементов со стоком вод. Основную барьерную функцию выполняют деревья, кустарники и травы. Самый высокий показатель залесенности – на прилегающей территории Телецкого озера

(52%), т.к. основная лесная часть водосбора озера относится к территории Алтайского государственного природного биосферного заповедника, где запрещена вырубка леса. На оз. Иткуль показатель залесенности составляет 19%. С севера и запада озеро Иткуль ограничено сосновым лесом (бором).

Наиболее высокий показатель заболоченности на водосборе оз. Иткуль составляет 6%. Озеро проточное, в него впадает р. Буланиха, вытекает р. Иткуль, которая соединяет его с р. Черемновкой, притоком р. Обь. Берега пологие и низкие, на значительном протяжении заболоченные, либо слабо всхолмленные благодаря песчаным буграм. Берега оз. Большое Островное большей частью низкие, заболоченные и показатель не превышает 3% от территории водосбора. Заболоченность водосбора оз. Телецкого составляет 3%.

Небольшие заболоченные участки приурочены к дельтам рек Кыга, Колдор, Чулышман, Самыш, Камга, Ойера и вблизи р. Бол. Корбу на востоке Телецкого озера.

С увеличением площади болот на водосборе увеличивается количество приносимого в водоем органического вещества. Участки озера, в которые попадет сточная вода из болот, приобретают желто-коричневый или коричневый оттенок, уменьшается прозрачность и содержание кислорода. Вымывание из болотных почв азота и фосфора, которые являются питательными веществами для растительности, способствует зарастанию водоема.

Особенности рельефа оказывают влияние на распределение осадков по поверхности водосборной территории. Район Телецкого озера характеризуется значительным перепадом абсолютных отметок, достигающим 2067 м. Наивысшая точка – гора Баскон (2502 м), низшая точка – уровень Телецкого озера (435 м). С учетом глубины озера разброс превышает 2400 м. Расстояние между низшей и высшей точкой территории составляет не менее 10 км. Такие резкие перепады абсолютных отметок характерны для районов, испытавших интенсивные новейшие дифференцированные блоковые движения (Деев и т.д., 1995). Для характеристики крутизны склонов Телецкого озера анализировалась самая высокая точка на водосборе – гора Баскон. В этой точке крутизна ската невелика:

угол наклона составляет  $15^\circ$ , уклон – 25%. В целом для района Телецкого озера характерно снижение абсолютных отметок горных сооружений с юго-востока на северо-запад и наличие крутых склонов (до  $40-50^\circ$ ) и уклон до 90%. Высотные отметки в основном варьируются от 435 м до 1500-2100 м в южной части Телецкого озера и 800-1000 м – в северной. Участки с нулевым или отрицательным уклоном отсутствуют.

На озера равнинной территории влияние уклонов местности на сток невелико, в результате незначительных перепадов высот (крутизна берегов) на участках водосбора, а способность почвы к пропусканию воды в значительной степени сглаживает повышение или понижение скорости стекания вод.

Самые высокие показатели среди озер равнинной территории отмечаются на оз. Большое Островное, где угол наклона составляет  $10^\circ$ , уклон 20%, склоны не такие крутые, как на Телецком озере, однако даже такие изменения рельефа оказывают влияние на отдельные элементы водного баланса озерных бассейнов.

Уклон на определенной местности под действием дождевых и талых вод формирует водную эрозию, которая развивается при крутизне склона  $0,5-2^\circ$ , чем она выше, тем выше скорость стекания вод по поверхности и, следовательно, увеличивается интенсивность эрозии (Степанов, Овчаренко, Захаров, 1980).

Замкнутые понижения задерживают первичные склоновые стоки, а незамкнутые – увеличивают интенсивность поверхностного стока, увеличивая водную эрозию.

Почвенный покров может оказывать влияние на сток с помощью процессов просачивания и испарения воды. В зависимости от свойств почвы и особенностей климата повышается или понижается задерживаемое в верхних слоях почв количество влаги (Нестеренко, 2017).

Согласно почвенно-географическому районированию Алтайского края территория, на которой расположено озеро Красиловское, находится в зоне выщелоченных черноземов серых лесных почв, и принадлежит почвенному району выщелоченных среднегумусовых среднemosных и маломощных черноземов и темно-серых лесных почв (Бурлакова и др., 1988). «Состав почв и

подстилающих их отложений – песчаный. Обычно это тонкозернистые образования ваккового типа, содержащие повышенные количества пылеобразного и глинистого материала» (Лузгин, 1998).

Пойма Оби, к которой приурочено оз. Лапа, сложена в основном аллювиальными отложениями (пески, суглинки, супеси), почвенный покров представлен лугово-черноземными, луговыми и аллювиальными почвами с луговой растительностью (Таблица 3).

Почвы водосбора озера Большое Островное – обыкновенные черноземы, под сосновым бором – песчаные. Песчано-илистые грунты литорали озера Уткуль опоясывают все берега озера до глубины 2 м, в местах впадения и истока рек располагаются черно-бурые илы.

В пределах водосборного бассейна озер равнинной территории (Красиловское, Большое Островное, Лапа, Иткуль) состав почв и подстилающих их отложений песчаный. Почвы относятся к легким видам, они рыхлые, сыпучие, легко пропускают воду. «Почвенный покров бассейна Телецкого озера представлен в основном почвами горно-лесного (горно-лесные серые, горно-лесные бурые) и степного (каштановые) поясов, на берегу озера галечниковые, гравийные, и песчаные пляжи» (Кузнецова, 2014). Бурые лесные почвы сформировались в основном на желто-бурых карбонатных глинах и, реже, суглинках. Для бурых лесных почв Телецкого озера характерно накопление во всех горизонтах глинистых материалов, которые интенсивнее задерживают влагу, в отличие от песчаных почв озер равнинной территории.

Сопоставление относительных и удельных показателей антропогенной нагрузки (таких как плотность населения, животноводческая и рекреационная нагрузка, распаханность территории водосбора) и природных условий (площадь водосбора  $S$ , залесенность, заболоченность и т.п.) повышает объективность полученных результатов, выявляет территориальные закономерности и связи между источниками загрязнения и объектами среды. Сравнительный анализ этих факторов, воздействующих на водоем, позволяет комплексно оценить состояние территории водосбора.

**ГЛАВА 3. ПРИМЕНЕНИЕ ГИДРООПТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ДЛЯ  
ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОГО  
РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ОПТИЧЕСКОГО ИНДЕКСА ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОГО  
СОСТОЯНИЯ (ОИГС) ВОДОЕМОВ**

На первом этапе исследования была проведена оценка распределения озер Алтайского края, по категориям трофического уровня с использованием индекса Карлсона (TSI). На втором этапе использовался предложенный автором метод определения ОИГС, который сравнивался с трофическим индексом Карлсона (Способ определения,... 2021).

Таблица 4 – Отобранные пробы на озерах исследования

Озеро	Кол-во станций, проб							
	точечные							площадные
	07.2013	08.2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Красиловское	-	1(8)	1(8)	1(8)	1(8)	1(8)	-	34 (34)
Лапа	-	1(12)	1(12)	1(12)	1(12)	-	-	-
Большое Островное	-	1(4)	1(4)	1(4)	1(4)	-	-	-
Иткуль	-	-	-	-	-	2(16)	-	-
Телецкое	22(162)	21(66)	-	22 (78)	25 (115)	28 (60)	14 (60)	45(45)

В таблице 4, перечислены станции и количество отобранных проб (в скобках), которые вошли в материалы диссертации. Пробы для озер (Красиловское, Лапа, Большое Островное) отбирались в каждый сезон, начиная с 2013 г. На озере Иткуль пробы впервые были отобраны в 2017 году, для подтверждения выбранной методики ОИГС. На озере Телецком пробы отбирались ежегодно в июле-августе, кроме 2014 г., в период устойчивой температурной стратификации.

### 3.1. Индекс Карлсона как индикатор трофического уровня водоема

Трофический уровень озера – это результат сложного взаимодействия процессов, происходящих под воздействием природных и антропогенных факторов не только в самом водоёме, но и на всём его водосборе. Трофический уровень исследуемых озёр оценивался с применением трофического индекса TSI (Trophic State Index) Карлсона (Carlson, 1977).

В основу расчётов TSI положены тесные корреляции между параметрами водной среды: прозрачностью (SD), концентрацией пигментов хлорофилла “а” в естественном сообществе фитопланктона (Chl“а”) и содержанием общего фосфора ( $P_{\text{общ}}$ ) (Таблица 5).

Таблица 5 – Трофический уровень водоёма

Тип водоёма	TSI	Прозрачность, м (SD)	$P_{\text{общ}}$ , мг/м <sup>3</sup>	Chl“а”, мг/м <sup>3</sup>
Олиготрофный	0	64	0,75	0,04
	10	32	1,5	0,12
	20	16	3	0,34
	30	8	6	0,94
Мезотрофный	40	4	12	2,6
	50	2	24	6,4
Эвтрофный	60	1	48	20
	70	0,5	96	56
Гиперэвтрофный	80	0,25	192	154
	90	0,12	384	427
	100	0,062	768	1183

Регрессионные уравнения для расчёта индекса Карлсона имеют следующий вид:

Для прозрачности по диску Секки

$$TSI_{SD} = 60 - 14.14 \cdot \ln SD. \quad (1)$$

Для концентрации хлорофилла

$$TSI_{Chl} = 9.81 \cdot \ln Chl_{\text{“а”}} + 30.6. \quad (2)$$

Для концентрации общего фосфора

$$TSI_P = 14.42 \cdot \ln P_{\text{общ}} + 4.15. \quad (3)$$

Осреднение показателей индекса Карлсона по определенным значениям позволяет исключить возможные ошибки вычисления и наиболее объективно показать трофический уровень.

Классический метод определения трофического уровня озера по глубине видимости диска Секки – это метод, имеющий ряд недостатков, таких как отсутствие возможности определения, по глубине водоема и ограничение по времени года. «Хлорофилл “а” – основной пигмент зеленых растений, в том числе одноклеточных водорослей (фитопланктона)», – согласно определению из ГОСТа 17.1.4.02-90, ему отведена важнейшая роль в процессе фотосинтеза (Расулова, Гаджиева, Радабанова, 2012).

Концентрация хлорофилла “а” и ее изменение в водоеме являются важным критерием при оценке запасов биомассы и продукции фитопланктона, а так же служит индикатором загрязнения водоема. Основной проблемой использования этого показателя как отдельного элемента для определения уровня трофности водоемов является исключительно высокая его пространственно-временная изменчивость (Бульон, 1993), и ограниченность в отражении факторов, которые могут влиять на состояние озера.

Концентрацию хлорофилла “а” определяли с помощью спектрофотометра по методическим рекомендациям и согласно ГОСТу 17.1.4.02-90, используя ацетоновые экстракты водорослей фитопланктона.

Используемый метод от большинства других отличается более высокой точностью (10-15%) и меньшей трудоемкостью (Суторихин и др., 2015). При работе применялись ацетилцеллюлозные фильтры «Владипор» типа МФАС-ОС-3, качественные показатели которых представлены в таблице 6.

Таблица 6 – Качественные показатели мембранных фильтров

Наименование показателей	Ед.изм.	Фактически	Требование ТУ 2265-011- 43153636-2015
Диаметр диска мембран	мм	35	35-1
Толщина мембран	мкм	130-180	120-180

## Продолжение таблицы 6

Наименование показателей	Ед.изм.	Фактически	Требование ТУ 2265-011- 43153636-2015
Производительность по дистиллированной воде при давлении $(0,5 \pm 0,05)$ кгс/см <sup>2</sup>	мл/см <sup>2</sup> мин	80,8-117,0	80,0-120,0
Точка пузырька по воде	кгс/см <sup>2</sup>	1,1	н/м 1,1
Средний размер пор	мкм	0,8	

Содержание общего фосфора в воде исследуемых озёр определялось в химико-аналитическом центре ИВЭП СО РАН фотометрическим методом после окисления персульфатом калия (РД 52.24.387-2006; ПНД Ф 14.1:2.106-97).

### 3.2. Оптический индекс геоэкологического состояния (ОИГС) водоема

Используемые в геоэкологии традиционные показатели и индексы (индексы загрязнения воды, балльные оценки и т.д.) (Арманд, 1973; Исаченко, 2001; Кузьмин, 2014) не в полной мере позволяют оценить геоэкологическое состояние водоема. Автором в качестве интегрального показателя предложен оптический индекс геоэкологического состояния (ОИГС), который предоставляет возможность оперативного определения геоэкологического состояния разнотипных пресноводных водоемов в местах отбора проб воды, и рассчитывается по натуральному логарифму численных значений спектрального показателя ослабления света  $Ln(\epsilon_{430})$ . ОИГС был введен на основании эмпирического показателя трофности – индекса ITS (Index of trophical state) (Carlson, 1977).

Натуральный логарифм первичной гидрооптической характеристики – спектральный показатель ослабления света  $Ln(\epsilon_{430})$  – является наиболее объективной величиной для определения геоэкологического состояния водоема. «Он выступает в качестве суммы показателей поглощения и рассеяния света чистой водой, которая содержит в себе различные взвешенные и растворенные

вещества (хлорофилл, растворённые органические (желтое вещество) и неорганические соединения, минеральная и органическая взвесь)» (Акулова, 2015).

Оценка прозрачности воды осуществляется с помощью спектрофотометра. Метод заключается в определении соотношения двух световых потоков, пропускаемых через исследуемый и контрольный образцы. В качестве контрольного образца используется дистиллированная вода. Измерения проводились в лаборатории ИВЭП СО РАН, спектрофотометр ПЭ-5400УФ представлен рисунке 15.



Рисунок 15 – Спектрофотометр ПЭ-5400УФ

По значениям спектрального показателя ослабления водных проб, измеренных экспериментальным путем, рассчитывался спектральный показатель ослабления света согласно закону Бугера-Ламберта-Бера, на длине волны 430 нм.

Выбор  $\epsilon(\lambda)$  на длине волны 430 нм связан с тем, что свет именно этой длины волны наиболее чувствителен к содержанию в воде взвешенных и растворённых веществ, таких как органические (желтое вещество) и неорганические соединения, клетки водорослей (хлорофилл), а также минеральная и органическая взвесь. Максимум поглощения хлорофиллом “а”, содержащимся в фитопланктоне, находится в интервале длин волн 430-440 нм (Шифрин, 1983).

Поскольку, как показали многочисленные эксперименты по определению ОИГС для различных водоемов и на различных глубинах, его значения изменяется в довольно широких пределах, было предложено определять этот индекс через натуральный логарифм от спектрального показателя ослабления света на длине волны 430 нм.

Таким образом, расчетная формула имеет вид

$$\text{ОИГС} = \text{Ln}(\varepsilon_{430}) = \text{Ln}\left(\frac{1}{L} \text{Ln}\left(\frac{1}{T}\right)\right), \quad (4)$$

где первичная гидрооптическая характеристика – спектральный показатель ослабления света  $\varepsilon(\lambda)$ , рассчитывался по формуле:

$$\varepsilon(\lambda) = (1/L) \cdot \ln(1/T), \quad (5)$$

где  $L$  – длина кюветы,  $T = I / I_0$  – прозрачность в относительных единицах,  $I, I_0$  – интенсивности прошедшего и падающего света, соответственно,  $\lambda$  – длина волны света.

Погрешность значения  $\varepsilon(\lambda)$  определяется погрешностью измерения коэффициента пропускания и погрешностью определения длины кюветы. Максимальная абсолютная погрешность при измерении  $\varepsilon(\lambda)$  составляет около  $0,5 \text{ м}^{-1}$ .

### **3.3. Пространственно-временная стратификация по ОИГС и индексу Карлсона**

В связи с тем, что границы между различными категориями трофности, которые мы определяли по индексу Карлсона (TSI), часто оказываются размытыми в зависимости от сезона года, для анализа изменений трофического уровня исследуемых водоёмов была использована шкала, включающая, наряду с категориями олиготрофных, мезотрофных, эвтрофных и гиперэвтрофных вод, переходные категории: мезотрофно-эвтрофные и эвтрофно-гиперэвтрофные (Таблица 7) (Фроленков и др., 2016).

Таблица 7 – ОИГС и трофический уровень пресноводных озёр Алтайского края  
(по индексу Карлсона и спектральному показателю ослабления света)

Озеро	Chl <sub>a</sub> , мг/м <sup>3</sup>	SD, м	TP, мг/м <sup>3</sup>	ОИГС	TSI	Тип водоёма
<i>Август 2013</i>						
Красиловское	12,05	1,20	50	2,1	58	Эвтрофный
Лапа	9,24	1,50	40	1,6	54	Эвтрофный
Большое Островное	46,10	0,25	110	3,1	73	Эвтрофно-гиперэвтрофный
<i>Май 2014</i>						
Красиловское	31,26	0,40	80	2,6	68	Эвтрофный
Лапа	5,94	1,25	25	1,3	52	Эвтрофный
Большое Островное	35,19	0,25	150	3,4	74	Гиперэвтрофный
<i>Июль 2014</i>						
Красиловское	31,47	0,85	50	1,9	62	Эвтрофный
Лапа	17,92	0,70	40	2,1	60	Эвтрофный
Большое Островное	49,85	0,40	110	3,2	71	Эвтрофно-гиперэвтрофный
<i>Октябрь 2014</i>						
Красиловское	36,25	1,05	56	1,7	62	Эвтрофный
Большое Островное	40,75	0,35	90	3,14	70	Эвтрофно-гиперэвтрофный
Лапа	13,53	0,85	38	1,9	58	Мезотрофно-эвтрофный
<i>Май 2015</i>						
Большое Островное	27,6	0,4	75	2,9	58	Мезотрофно-эвтрофный
Лапа	14,3	0,4	40	2,6	53	Мезотрофно-эвтрофный
<i>Август 2015</i>						
Красиловское	14,8	1	50	2,4	59	Эвтрофный
Большое Островное	40,3	0,4	90	3,1	69	Эвтрофно-гиперэвтрофный
Лапа	17,1	0,7	40	1,8	59	Эвтрофный
<i>Октябрь 2015</i>						
Красиловское	25,3	0,7	52	1,8	62	Эвтрофный
Большое Островное	54,5	0,4	130	3,4	72	Эвтрофно-гиперэвтрофный

## Продолжение таблицы 7

Озеро	Chl <sub>a</sub> , мг/м <sup>3</sup>	SD, м	TP, мг/м <sup>3</sup>	ОИГС	TSI	Тип водоёма
<i>Август 2016</i>						
Лапа	6,31	1,11	39	1,9	55	Эвтрофный
Большое Островное	11,15	0,40	84	3	65	Эвтрофный
<i>Ноябрь 2017</i>						
Красиловское	13,46	1,40	52	2,3	57	Эвтрофный

Одновременно рассчитывался показатель ОИГС, в нем также использовались переходные категории: низкий-умеренный и умеренный-средний для более точной характеристики водоема (Суторихин, Фроленков, 2017; Винокурова и др., 2017; Свидетельство о государственной..., 2018).

Таблица 8 – Соответствие ОИГС трофическому уровню, рассчитанному по спектральному показателю ослабления света

Индекс Карлсона (TSI) (Carlson, 1977)	Трофический уровень водоема (Carlson, 1977)	ОИГС (Суторихин и др., 2019)	Уровень геоэкологического состояния пресноводного водоема (Суторихин и др., 2019)	Степень воздействия (Фроленков и др., 2021)
0-30	олиготрофное	0-0,3	низкий уровень1 (НУ1)	Практически отсутствующая
		0,3-0,7	низкий уровень2(НУ2)	Очень слабая
40-50	мезотрофное	0,7-0,9	умеренный уровень1(УУ1)	Ощутимая
		0,9-1,1	умеренный уровень2(УУ2)	Переходная
60-70	эвтрофное	1,1-2,3	средний уровень1(СУ1)	Значимая
		2,3-3,1	средний уровень2(СУ2)	Повышенная
80 и более	гиперэвтрофное	3,1 и более	высокий уровень(ВУ)	Сильная

Анализ данных, представленных в таблице 7, позволяет заключить, что ОИГС, рассчитываемый по натуральному логарифму интегральной характеристике спектрального показателя ослабления света  $\varepsilon(\lambda)$ , соответствует

трофическому уровню водоемов, определяемому по методу *TSI* Карлсона (Суторихин и др., 2017). Соответственно ОИГС подтверждает данные о трофическом уровне озера (Способ определения..., 2019).

Предложенная методика была подтверждена контрольным экспериментом, для которого исследовалось озеро Иткуль, схожее по генезису с озером Красиловским (Таблица 9). Определялся ОИГС по натуральному логарифму от показателя ослабления света, образцы воды измерялись с помощью спектрофотометра в поверхностном слое воды, далее определялся трофический индекс Карлсона и ОИГС (Донцов и др., 2018). Результаты представлены в таблице 8, также имеется свидетельство о государственной регистрации базы данных и патент на изобретение (приложение 1, 2). Озеро Иткуль соответствует эвтрофному трофическому уровню, геоэкологическое состояние по геоиндикатору, согласно предложенной шкале, соответствует среднему уровню 1 (Суторихин и др., 2017).

Таблица 9 – ОИГС и трофический уровень по индексу Карлсона оз. Иткуль

Озеро	$Chla^*$ , мг/м <sup>3</sup>	SD, м	TP, мг/м <sup>3</sup>	ОИГС	<i>TSI</i>	Уровень геоэкологического состояния пресноводного водоема	Трофически й уровень
<i>Июнь 2017</i>							
Иткуль	2,47	1,20	93	1,2	55	средний уровень 1	эвтрофное
<i>Октябрь 2017</i>							
Иткуль	11,55	2,53	93	1,1	56	средний уровень 1	эвтрофное

После статистического анализа данных были получены зависимости между ОИГС и трофическим индексом *TSI* (Trophic State Index) Карлсона, которые имели высокий коэффициентом корреляции  $r = 0,92$ . Корреляция Пирсона характеризуется как сильная, линейная, положительная (Рисунок 18).

Коэффициент корреляции оценивался с помощью формулы:

$$r = \frac{\sum_{i=2}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{n\sigma_x\sigma_y} \quad (6)$$

Была проведена проверка значимости коэффициента корреляции. В качестве нулевой гипотезы использовался коэффициент корреляции равный нулю, альтернативной – не равен нулю:

$$H_0: \rho = 0$$

$$H_1: \rho \neq 0$$

Для того чтобы проверить гипотезу, мы должны знать распределение величины  $r$ . Выборочное распределение этой статистики рассчитывалось по формуле (Стьюдента с  $n-2$  степенями свободы):

$$t = \frac{r}{\sqrt{1-r^2}} \sqrt{n-2} \sim t_{n-2} \quad (7)$$

$$t_{расч.} = 7,99$$

При заданном уровне значимости ( $\alpha$ ) определяем критическое значение  $t_{кр.}$

$$t_{кр.} = 2,13$$

Принимаем решение об отклонении или не отклонении нулевой гипотезы, если выполняются условия:

$$|t| > t_{кр.} - \text{отклоняем } H_0;$$

$$|t| < t_{кр.} - \text{не отклоняем } H_0.$$

Если подставляем свои данные, получаем что  $t_{расч.} > t_{кр.}^{0.05}$  нулевая гипотеза отклоняется, а  $p = 0,00000087 \ll 0,05$  – альтернативная принимается.

Коэффициент детерминации ( $R^2$ ) трендовой модели составляет 0,85, иными словами, на долю положительного тренда приходится 85 % вариации ОИГС, рассчитанного по показателю ослабления света  $\varepsilon$  ( $\lambda$ ) за рассматриваемый период.

Были получены статистически достоверные результаты, подтверждающие связь между исследуемыми показателями.

Сезонная и пространственная изменчивость связи ОИГС и TSI для озёр Лапа, Большое Островное и Красиловское представлена на рисунках 17-19. Подобные зависимости были выявлены на Цимлянском водохранилище и Таганрогском заливе Азовского моря (Жидкова, 2017; Сухорукова, 2017). Результаты ОИГС,

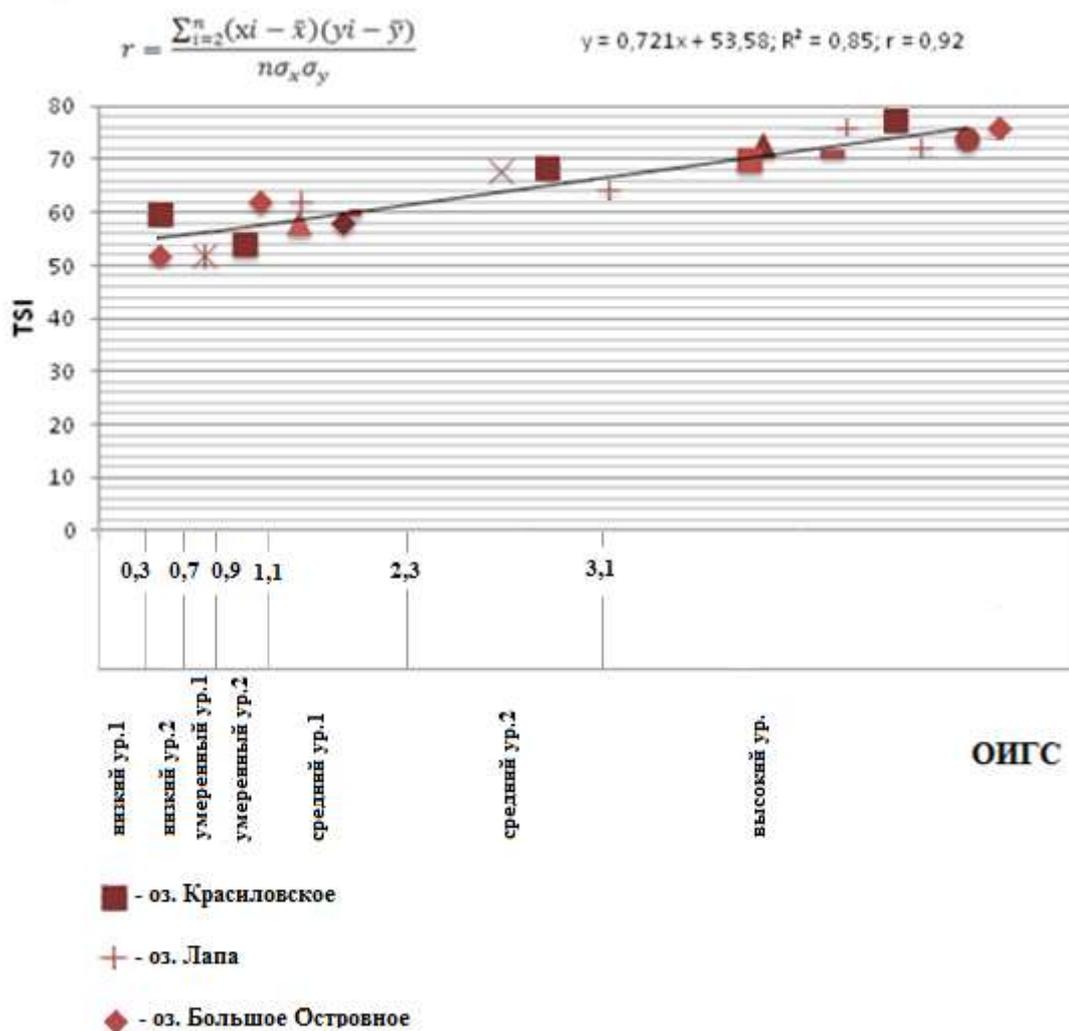


Рисунок 16 – Зависимость между трофическим индексом Карлсона (TSI) и ОИГС

рассчитаны по данным полевых работ за 2016 год для трех озер (Климатические условия..., 2016; Акулова, 2017).

Сезонная изменчивость водоемов влияет на оптические параметры (Суторихин и др., 2016; Суторихин и др., 2016). Течение и талые воды вносят в водоем минеральные частицы. Прозрачность воды уменьшается с увеличением взвешенных частиц и микроорганизмов. Основным индикатором, определяющим оптические параметры вод, является зоо- и фитопланктон, развитие которого регулирует солнечное излучение.

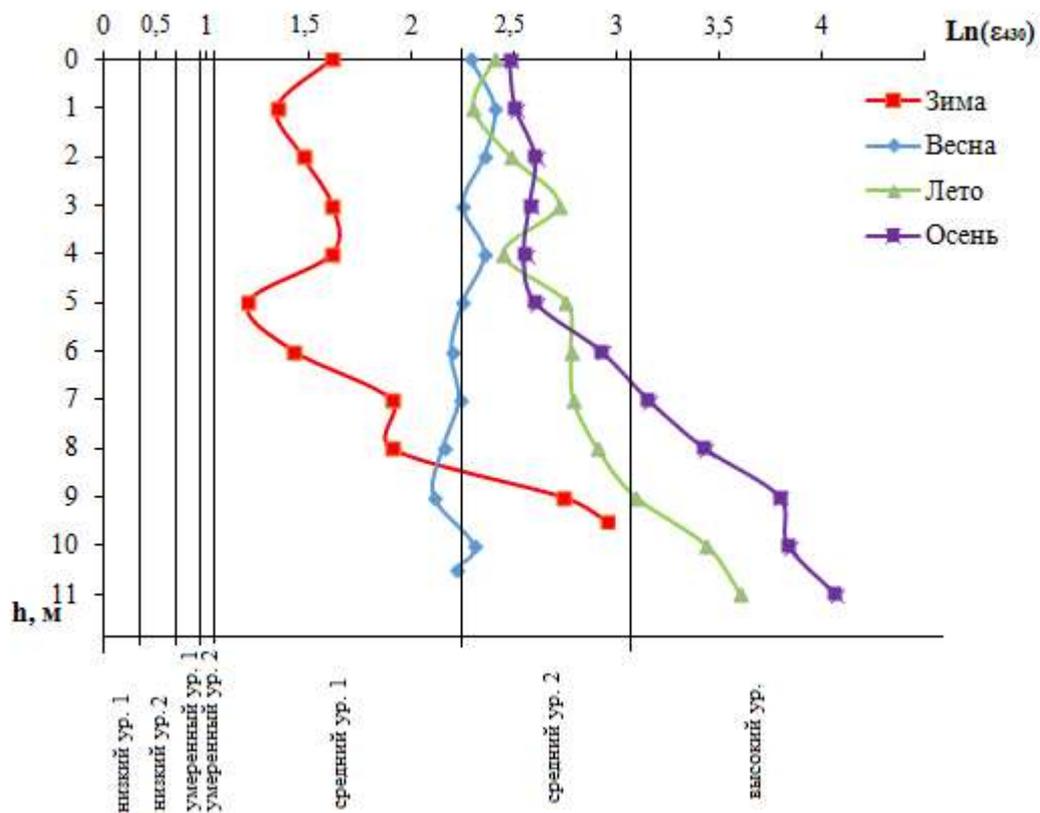


Рисунок 17 – Динамика ОИГС в зависимости от сезона на различных глубинах оз.

Лапа 2016 г.

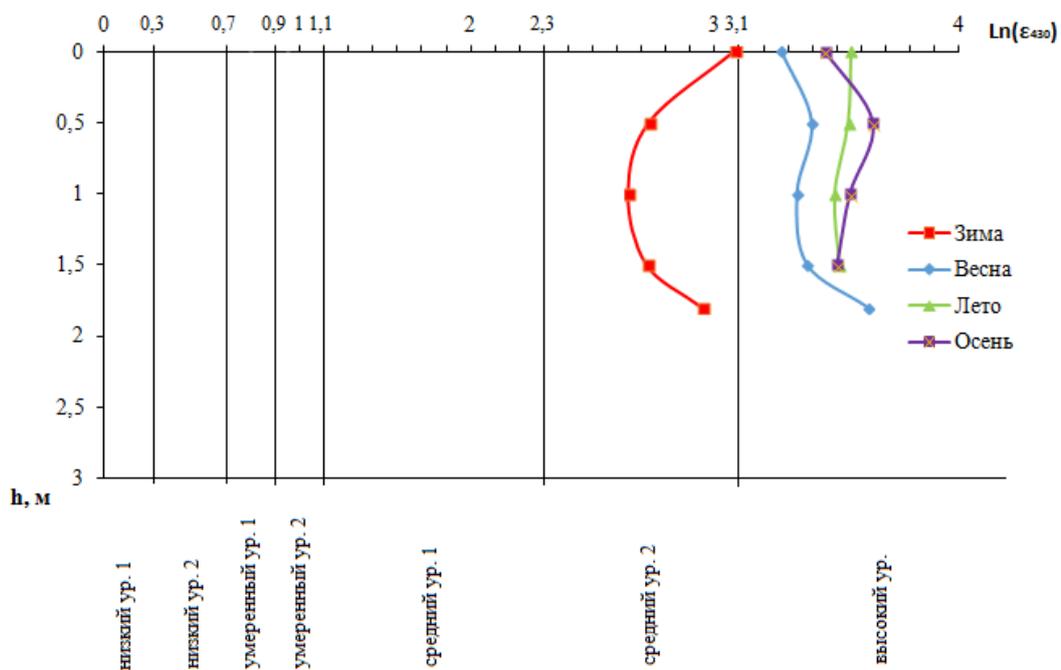


Рисунок 18 – Динамика ОИГС в зависимости от сезона на различных глубинах оз. Большое Островное 2016 г.

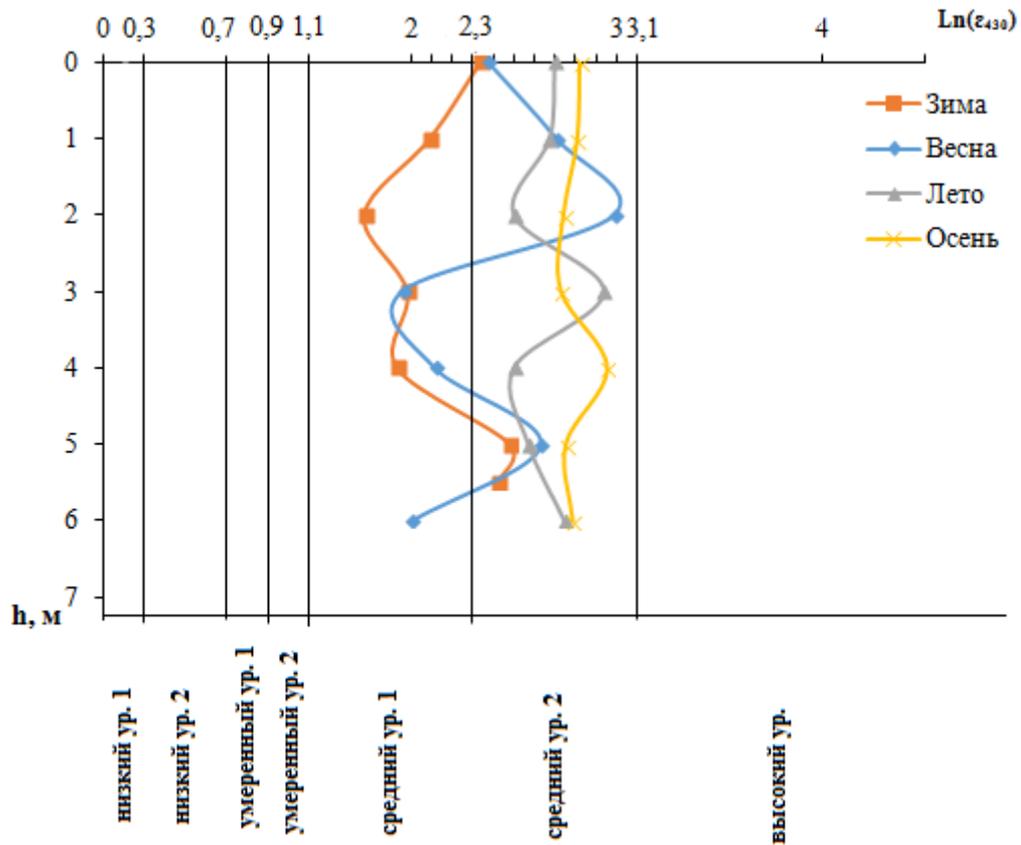


Рисунок 19 – Динамика ОИГС в зависимости от сезона на различных глубинах оз. Красиловское 2016 г.

Сезонная динамика ОИГС ведет себя одинаково для различных озер умеренной зоны. Минимальные значения показателя ослабления света отмечаются в зимний период, а максимальное – на весенне-летний, так как весенний паводок и летние ливневые дожди приносят в водоем большое количество неорганических и органических веществ.

Известно, что в результате таяния снегов и атмосферных осадков повышается уровень воды в озерах, увеличивается скорость течения, мутность и, следовательно, снижается степень прозрачности воды, которая существенно влияет на ее освещенность. Ранее считалось, что зимний период в водных экосистемах менее важен, потому что биологические процессы либо прекращаются, либо протекают с очень низкой скоростью, но после выявления интенсивного развития фитопланктона в некоторых арктических и высокогорных озерах, интерес к зимнему фитопланктону возрос. Появились данные и о

подледном фитопланктоне разнотипных водных объектов умеренных широт (крупных и мелких озер, рек, водохранилищ, прудов) (Рисунок 20).

Содержание хлорофилла “а” (в качестве маркера биомассы фитопланктона и основного пигмента, ответственного за активность фотосинтезирующих водорослей) в целом отражает общую тенденцию сезонных изменений численности фитопланктона (Винокурова и др., 2021). На озере Красиловском в летний период концентрация хлорофилла “а” была значительно выше по сравнению с зимним периодом (24,5-65,2 мг / м<sup>3</sup> и 1,8-24,1 мг / м<sup>3</sup> соответственно) (Vinokurova et al., 2021). В свою очередь, в феврале под толстым слоем снега его концентрация ниже, чем в марте, под тонким слоем снега (1,8-6,8 мг / м<sup>3</sup> и 3,1-24,1 мг / м<sup>3</sup> соответственно) (Vinokurova et al., 2018).

Распределение хлорофилла “а” в толще воды варьировалось по глубине; пределы изменения были максимальными в период открытой воды, менее значительными при тонком слое снега 0,13 м и наиболее на толстом слое снега (0,34 м).

Сравнение с опубликованными данными других авторов показывает, что на озере Красиловском концентрация хлорофилла “а”, летнего фитопланктона, его распределение по глубине и температурные условия типичны для мелких мезотрофных и эвтрофных водоемов умеренных широт.

Исследования на озере Бол. Островное показывают, что в августе 2013 г. и мае 2014 г. озеро имело высокий уровень по ОИГС (3,2 и 3,4 соответственно), что было обусловлено лесными пожарами и интенсивным сжиганием травы на водосборе, а также проведением дноуглубления и очистных работ на участках акватории озера. В 2015 г. наблюдалось изменение геоэкологического состояния в сторону среднего уровня ОИГС (2,5; 2,7), что было связано с уменьшением антропогенного и естественного воздействия со стороны водосбора и нормализацией внутриводоемных процессов.

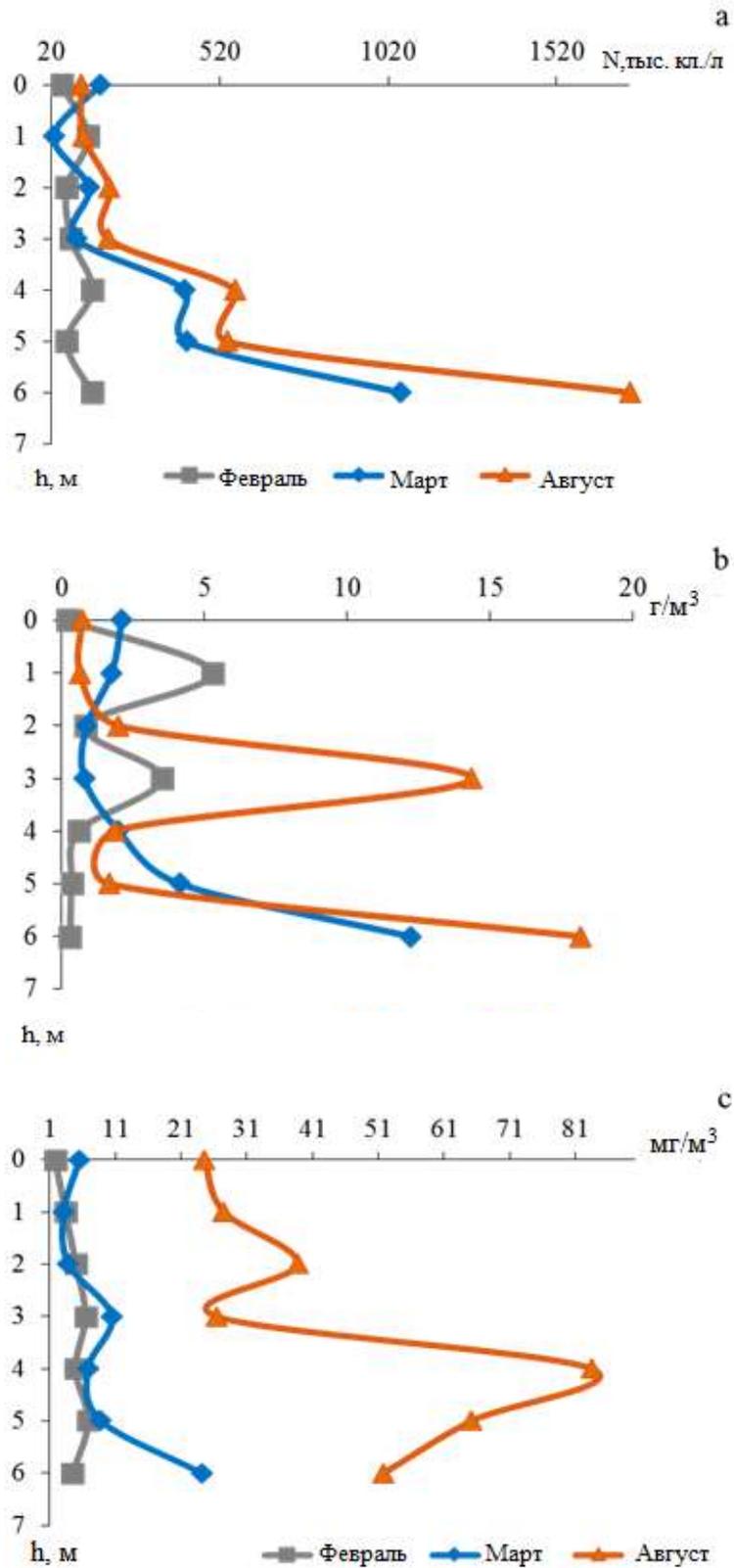


Рисунок 20 – Динамика показателей общего фитопланктона за исследуемый период (февраль, март, август (безледный)): а - концентрация водорослей [N, тыс. кл./л], б - биомасса [ $\text{г/м}^3$ ], в - концентрация хлорофилла “а” [ $\text{мг/м}^3$ ], на различных глубинах оз. Красиловское 2016 г.

Из рисунков 17-19 следует, что наибольшие значения ОИГС во всём спектральном диапазоне встречаются на оз. Большое Островное (значения в 3–4 раза больше, чем на других озерах во все сезоны года), это обусловлено морфометрическими условиями и географическим положением озера (Суторихин и др., 2017).

Геоэкологическое состояние оз. Лапа за время исследования менялось от умеренного уровня 2 к среднему уровню 2, в данный момент сложно оценивать геоэкологическое состояние и вести исследования, так как ландшафт водосборной территории этого водного объекта полностью изменен.

Существующие многочисленные классификации по определению геоэкологического состояния водных объектов ориентированы на различные фиксированные показатели, которые сложно определить за короткий промежуток времени. Используемая величина ОИГС, как геоиндикатор, дает возможность оперативно определять геоэкологическое состояние разнотипных пресноводных водоемов в местах отбора проб воды, а так же их сравнивать и классифицировать.

Таким образом, на основании результатов приведенных исследований, отраженных на рисунках 17-19, показано, что ОИГС зависит от сезонного изменения состояния водосбора.

Разработанный метод позволяет повысить точность и скорость определения состояния водоема (Sutorikhin et al., 2020). Натуральный логарифм от численного значения первичной гидрооптической характеристики (спектрального показателя ослабления света  $\epsilon(\lambda)$  на длине волны 430 нм) – является интегральной величиной для определения геоэкологического состояния пресноводных озёр в различные сезоны года при проведении экологического мониторинга водных экосистем. Используемый метод также является наиболее удобным для пространственного анализа, что будет показано в главе 4 на примере Телецкого и Красиловского озёр.

## **ГЛАВА 4. АНАЛИЗ ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПРЕСНОВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ НА ОСНОВЕ ОИГС**

Для исследования гидрооптических параметров по акватории было выбрано одно из крупнейших озер Западной Сибири – Телецкое озеро. Объект Всемирного природного наследия включено в реестр ЮНЕСКО «Золотое нагорье Алтая» (География..., 1998). Это крупный горный водоем Южной Сибири, второе в России после Байкала хранилище пресной воды. Является типичным для озер тектонического происхождения.

Чистая вода озера обеспечивает необходимые условия для жизнедеятельности его уникального животного и растительного мира, снабжения чистой водой людей. Загрязнение водоема, изменение свойств воды в процессе деятельности человека, а именно сброс в воду бытовых и производственных отходов, загрязнение от водных транспортных средств и объектов туристической индустрии приводит к уничтожению экосистемы и потере запасов чистой воды. Во время исследования наибольшее внимание было сфокусировано на участках, подверженных антропогенному влиянию.

### **4.1.Изменение оптического индекса геоэкологического состояния Телецкого озера по акватории и глубине**

В настоящее время большую актуальность приобрели вопросы оценки состояния и устойчивости водных экосистем, в том числе, многочисленных малых и крупных озёр, в связи с их использованием в хозяйственном и рекреационном направлении. Это связано как с решением задач диагностики и прогноза состояния водных объектов, так и с развитием методов и средств экологического нормирования. Чтобы осуществить геоэкологическую оценку водоема, необходимо выявить его трофический уровень. Для его определения традиционно используют показатели (биомасса фитопланктона, прозрачность по диску Секки, концентрация хлорофилла “ а ” и др.), требующие специальных

отдельных исследований, и в обычной практике геоэкологического мониторинга водных объектов применяемые довольно часто (Мусатов, 2001; Терентьева, Кашулин, Денисов, 2017).

В связи с этим возрастает значение иных, интегральных показателей определения геоэкологического состояния (особенно их пространственно-временной изменчивости), включающих информацию по трофическому уровню объекта исследования (Суторихин и др., 2019).

Исследования проводились в период летнего прогрева озера (23.07.2013, 28.08.2013, 28.07.2015, 26.07. 2016, 10.08.2017, 15.08.2018, 06.08.2019), когда оно устойчиво стратифицировано, что наблюдается в конце июля и длится до конца августа (Дучков, 1995; Селегей, 2001; Пушистов, 2013), с достижением температур поверхностного слоя воды выше 10°C. Слой перемешивания имеет толщину от 1 до 2 м.

Измерение спектральной прозрачности воды и анализ пространственного распределения спектрального показателя ослабления света для расчета ОИГС на разных участках акватории Телецкого озера производился в диапазоне длин волн 400-800 нм с шагом 30 нм. Водные пробы помещались в кварцевые (измерительные) кюветы размером 5x10 мм, измерения производились на спектрофотометре ПЭ-5400УФ, для сравнения во второй кювете находилась дистиллированная вода. Отбор проб воды проводился с борта теплохода-лаборатории ИВЭП СО РАН, для глубоководных участков применялся батометр Нискина, с лодки пробы отбирались, используя малообъемный батометр Рутнера. Схема мест отбора и координаты их центров приведены на рисунке 21, топографическая основа взята из открытого Интернет-источника (Виртуальная экскурсия..., 2012).

Первичная гидрооптическая характеристика – спектральный показатель ослабления света  $\varepsilon(\lambda)$  – рассчитывался по формуле (5), приведенной в главе 3.

Результаты полученных значений спектрального показателя ослабления света в поверхностном слое воды на длине волны 400–800 нм на исследуемых станциях в 23.07.2013, 28.08.2013, 28.07.2015 и 26.07. 2016 гг. представлены



№ места на карте	Координаты места отбора проб		Название места отбора проб
	Широта	Долгота	
1	51,35752°	87,82310°	Чири
2	51,35190°	87,84324°	Кыга
3	51,37797°	87,78595°	Чулышман
4	51,48432°	87,72960°	Челюш
5	51,57246°	87,68117°	Кокши
6	51,56671°	87,66769°	Кокши
7	51,70365°	87,66107°	Корбу
8	51,76655°	87,63532°	Окпорок
9	51,75791°	87,66034°	Камга
10	51,79655°	87,71394°	Камга
11	51,75398°	87,60415°	Яйлю
12	51,80928°	87,30256°	Окпорок-Артыбаш
13	51,78798°	87,30163°	Артыбаш
14	51,67214°	87,68828°	Аданыш
15	51,53638°	87,69930°	Саратки
16	51,45815°	87,74204°	Артал
18	51,75597°	87,40980°	Байказан
19	51,75078°	87,55366°	Нянсночь
20	51,75965°	87,37575°	Караташ

Рисунок 21 – Территориальное расположение станций отбора проб на оз. Телецкое

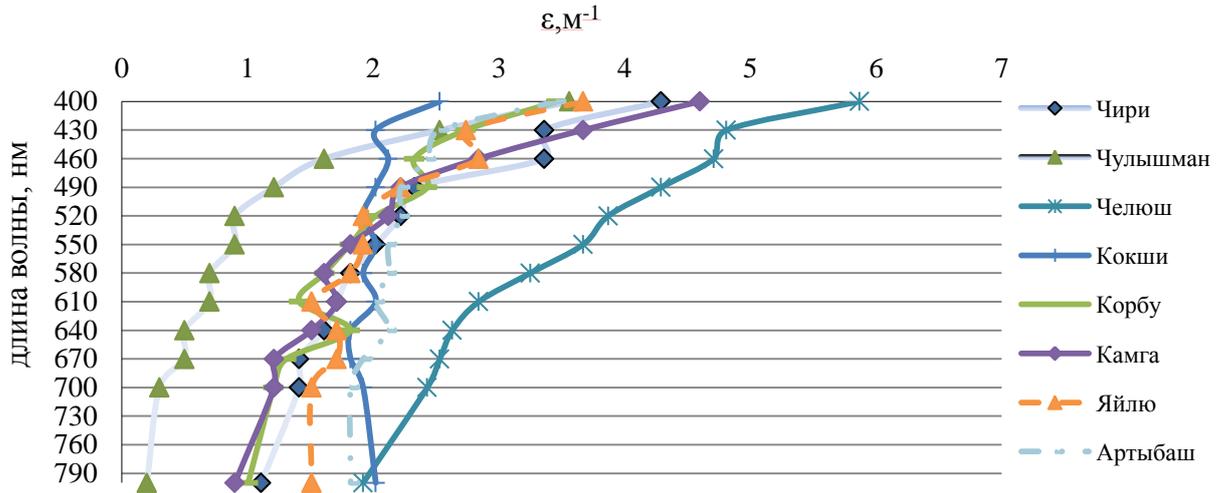


Рисунок 22 – Показатели ослабления света поверхностного слоя в местах отбора проб 23.07.2013 г.

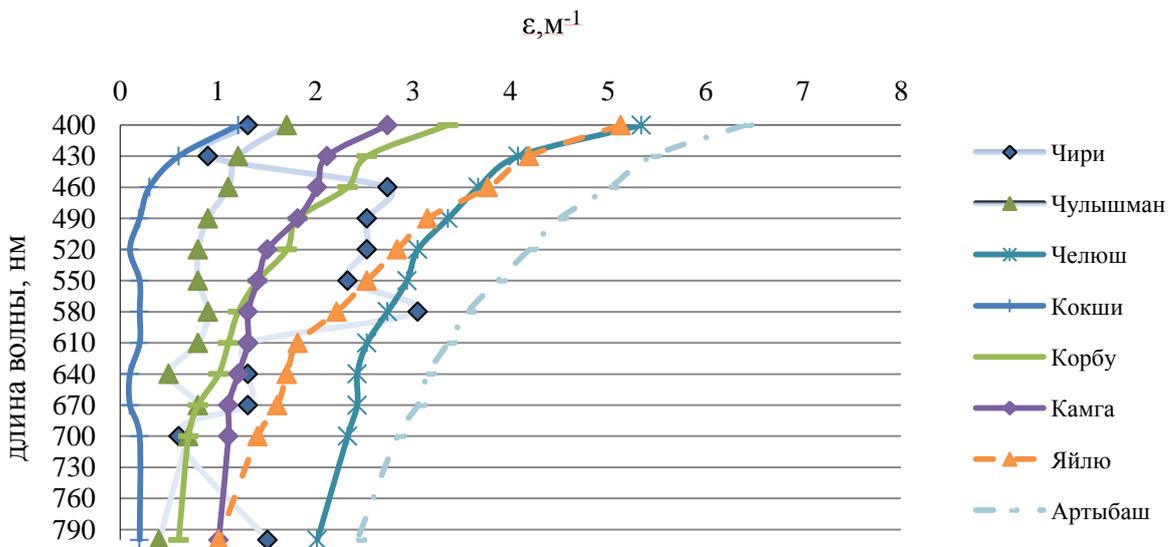


Рисунок 23 – Показатели ослабления света поверхностного слоя в местах отбора проб 28.08.2013 г.

Определение прозрачности воды проводилось для анализа воздействия рассеивающих свойств частиц. На рисунках 22-25 представлены показатели ослабления света на всех длинах волн, но для расчета ОИГС и сравнения показателей была использована длина 430 нм (фиолетовый спектр), так как она обладает наибольшей способностью регистрировать исследуемые частицы согласно явлению дифракции (Борн, 1970; Лебедев, 2004). Основные

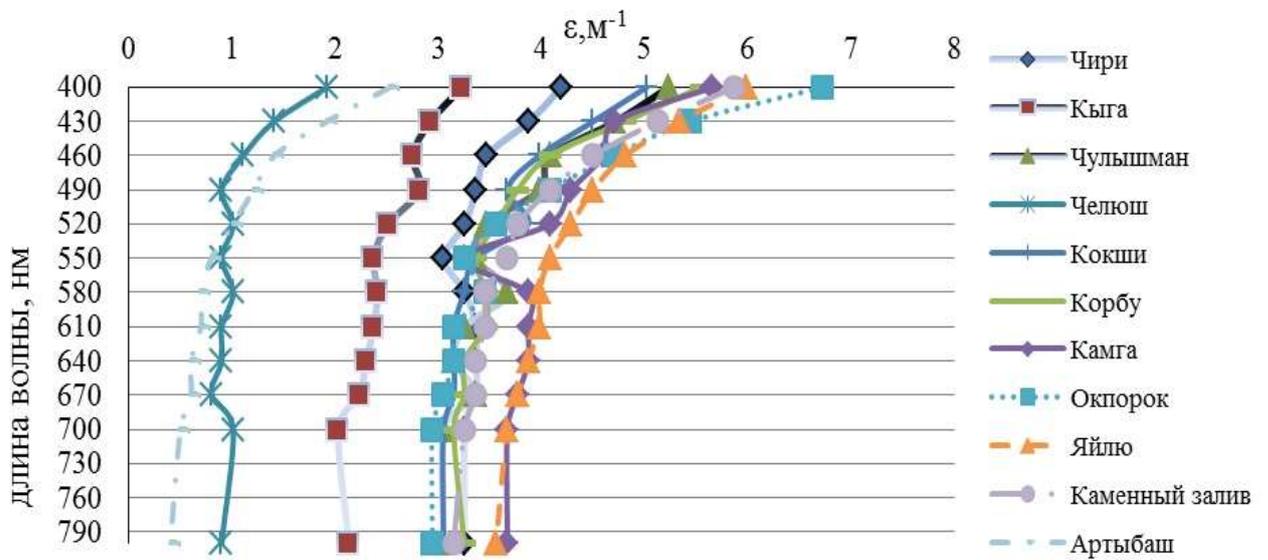


Рисунок 24 – Показатели ослабления света поверхностного слоя в местах отбора проб 28.07.2015 г.

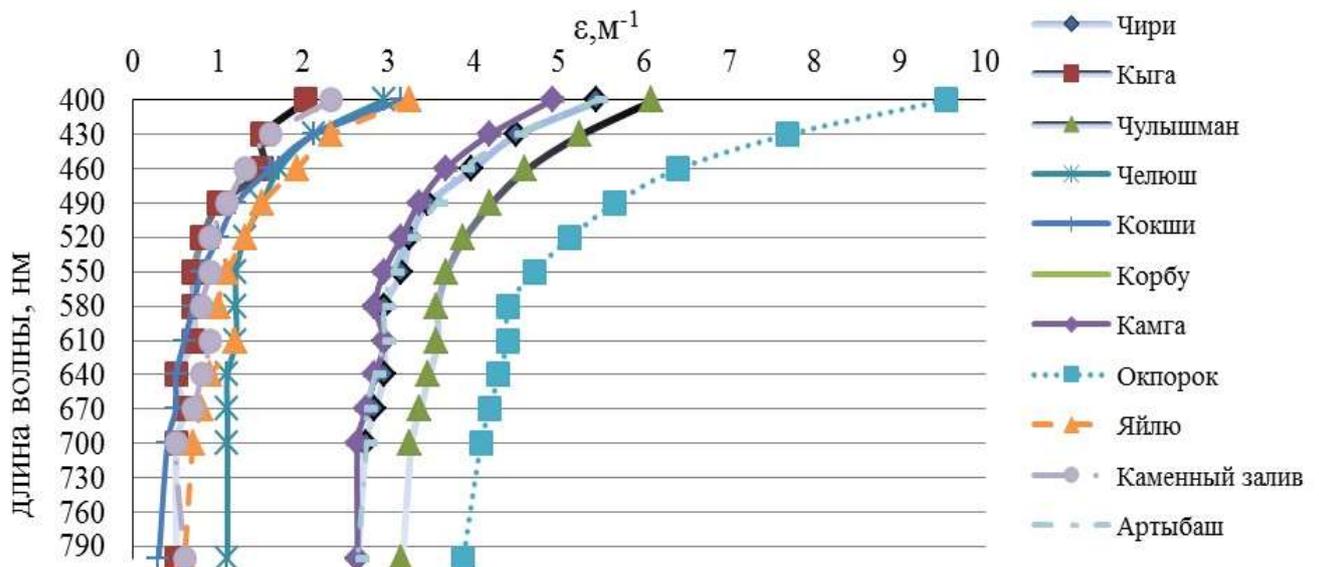


Рисунок 25 – Показатели ослабления света в поверхностном слое в местах отбора проб 26.07.2016 г.

спектральные цвета (имеющие собственное название), а также диапазоны длин волн этих цветов, представлены в таблице 10.

Таблица 10 – Основные спектральные цвета

<i>Цвет</i>	<i>Диапазон длин волн, нм</i>
Фиолетовый	380-440
Синий	440-485
Голубой	485-500
Зелёный	500-565
Жёлтый	565-590
Оранжевый	590-625
Красный	625-740

Проведенные измерения показателя ослабления света в поверхностном слое озера летом 2013-2019 гг. показали в основном плавный ход, но встречаются и резкие скачки, изменения описаны ниже. Если согласно методике рассчитать натуральный логарифм данных и сравнить показатели экспедиций за все годы исследования, то можно отметить, что максимальные значения ОИГС на станции Артыбаш варьируются в пределах от 1,7 – 2,4 в зависимости от станции обследования, на длине волны 430 нм (Суторихин, Фроленков, Литвих, 2016).

Поселок Артыбаш начинается у истока р. Бии, в поселке предоставлено большое количество баз и домов отдыха. В водах озера рядом с поселком можно наблюдать десятки прогулочных катеров, осуществляется туристический маршрут на дизельных теплоходах, которые вносят свой вклад в антропогенную нагрузку озера и показатель ослабления света (Рисунок 26; фотография предоставлена И.А. Суторихиным). Также высокие показатели отмечаются на акватории в районе села Иогач, которое находится на противоположной части с. Артыбаш ОИГС  $\approx 2,4$ . У этих двух сел одна инфраструктура и они имеют общую больницу, пункт электросвязи, отделение «Почты России», школу, детский сад, администрацию и т.д. Основное направление экономики сел составляет туристическая индустрия, есть пристань для мелких и средних катеров.



Рисунок 26 – Берег Телецкого озера вблизи п. Артыбаш

Во время экспедиции 28.08.2013 минимальные значения показателя зафиксированы вблизи впадения р. Кокши ОИГС  $\approx 0,5$ . Такие показатели обуславливаются наличием чистых и прозрачных участков вблизи притоков озера, характеризующихся незначительной минерализацией воды и низким содержанием органических веществ, подвергшиеся антропогенной трансформации в малой степени.

Проведенные экспедиционные исследования по акватории Телецкого озера в 2013-2016 гг. показали существенную оптическую неоднородность воды. Так, если на станции Челюш в 2013 г. показатель ОИГС = 1,2, то уже в 2015 и 2016 гг. он составлял 1,3 и 1,5 соответственно, что обусловлено условиями перемешивания водных слоев, влиянием впадающих рек, ветровым режимом, усилением антропогенного воздействия (Суторихин, Фроленков, 2018).

В 2015 г. максимальное значение ОИГС было зафиксировано в точке Окпорок и составило 1,7. Минимальное значение было обнаружено в точке Челюш ОИГС  $\approx 0,3$  (Суторихин и др., 2016).

Достаточно высокие показатели ОИГС в устье реки Окпорок – 2, в зоне впадения реки Чулышман – 1,6, что обусловлено большим количеством взвеси, выносимой в поверхностный слой, условиями перемешивания водных слоев, влиянием впадающих рек, ветровым режимом (Суторихин, Фроленков, 2017). Чулышман – крупнейшая река, питающая Телецкое озеро, приносит 70 % воды, вносит большое количество минеральных частиц, для которых наблюдаются мощные мутные слои.

В 2016 г. максимальное значение ОИГС составило 2. Самый низкий показатель был обнаружен вблизи впадения р. Кыга и составил 0,7 (Суторихин, Фроленков, 2017).

Все эти значения показателей свидетельствуют об общей неоднородности слоев воды озера, что обусловлено внутренними течениями и составом воды впадающих рек, оказывающих влияние на геоэкологическое состояние водоема.

Для оценки пространственного распределения ОИГС по акватории Телецкого озера в 2019 г. использовался метод интерполяции (Кошель, 2000) и применен модуль расширения из программы ArcView – SpatialAnalyst (Крамар, Менжулина, 1991), где недостающие значения определялись методом обратных взвешенных расстояний (IDW), более подробно метод описан в главе 4.2. Примеры расположения областей интерполяции для Телецкого озера в виде картосхемы приведены на рисунках 28-34.

#### **4.2. Геоинформационное обеспечение для построения картосхем пространственно-временного распределения спектрального показателя ослабления света и ОИГС**

В главах 3.2 и 4.1. приведены результаты точечных измерений, в данной главе – результаты наглядного изображения полученных данных и создания схем изучаемых процессов в целях переноса результатов на объект исследования.

Из большого количества существующих методов моделирования для оценки пространственного распределения ОИГС в поверхностном слое воды был выбран

метод интерполяции, который на первом этапе был апробирован на Телецком озере и затем применен для Красиловского озера. Интерполяция (от лат. *interpolatio* - изменение, переделка) – определение промежуточных значений величины по некоторым известным ее значениям (Кошель, 2000).

Применен модуль расширения из программы ArcView – Spatial Analyst (Крамар, Менжулина, 1991), где недостающие значения определялись методом обратных взвешенных расстояний (IDW), схема представлена на рисунке 27.

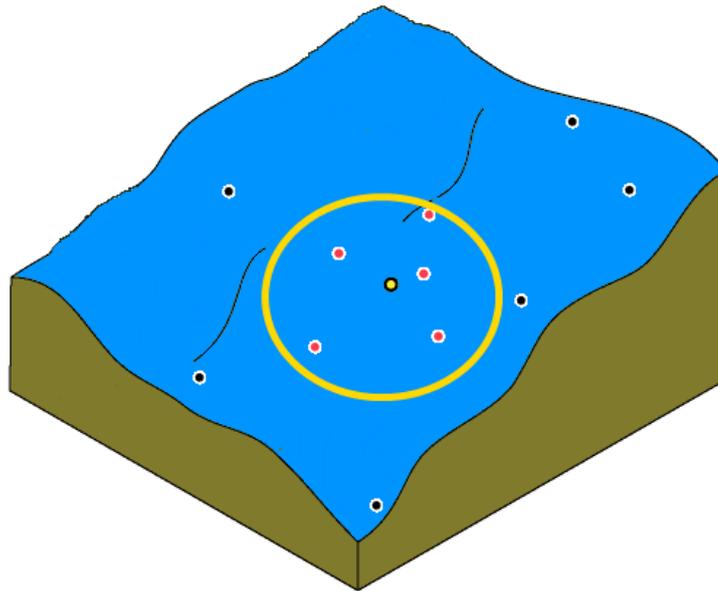


Рисунок 27 – Схема определения точек методом IDW

«Вводится максимальный радиус поиска или количество точек, ближайших по расстоянию от начальной (определяемой) точки. Затем значению высоты в каждой выбранной точке задается вес, вычисляемый в зависимости от квадрата расстояния до определяемой точки. Благодаря этому более близкие точки вносят больший вклад в определение интерполируемой высоты по сравнению с более удаленными точками», – используемый метод описан Д.В. Пановым (2014), этот подход используется для обеспечения мониторинга и анализа рельефа как фактора формирования экологической обстановки по средствам ГИС-технологий. Упомянутая выше работа указывает на возможность использования ГИС-методов

и интегрального показателя для решения задач анализа и прогноза экологической обстановки на определенной территории.

В данном исследовании этот метод использовался из-за его точности, он является очень быстрым способом построения сеточной функции и широко применяется для многих типов данных, не может сгенерировать значения, выходящие за пределы диапазона исходных данных. Уравнение интерполяции имеет следующий вид:

$$Xi = \left( \sum_{j=1}^N \frac{Xj}{r_{ij}^b} \right) \frac{1}{N}, \quad (8)$$

где  $r$  – радиус, который задавался ( $r_{\max} = 50$  км),  $N$  – количество точек, (нами использовалось 10),  $b$  – степень, равная 2.

На рисунках 28-34 показаны картосхемы расположения областей интерполяции в результате пространственного анализа с помощью метода IDW ОИГС по акватории за 2019 г., топографическая основа бралась из открытого источника 2GIS.

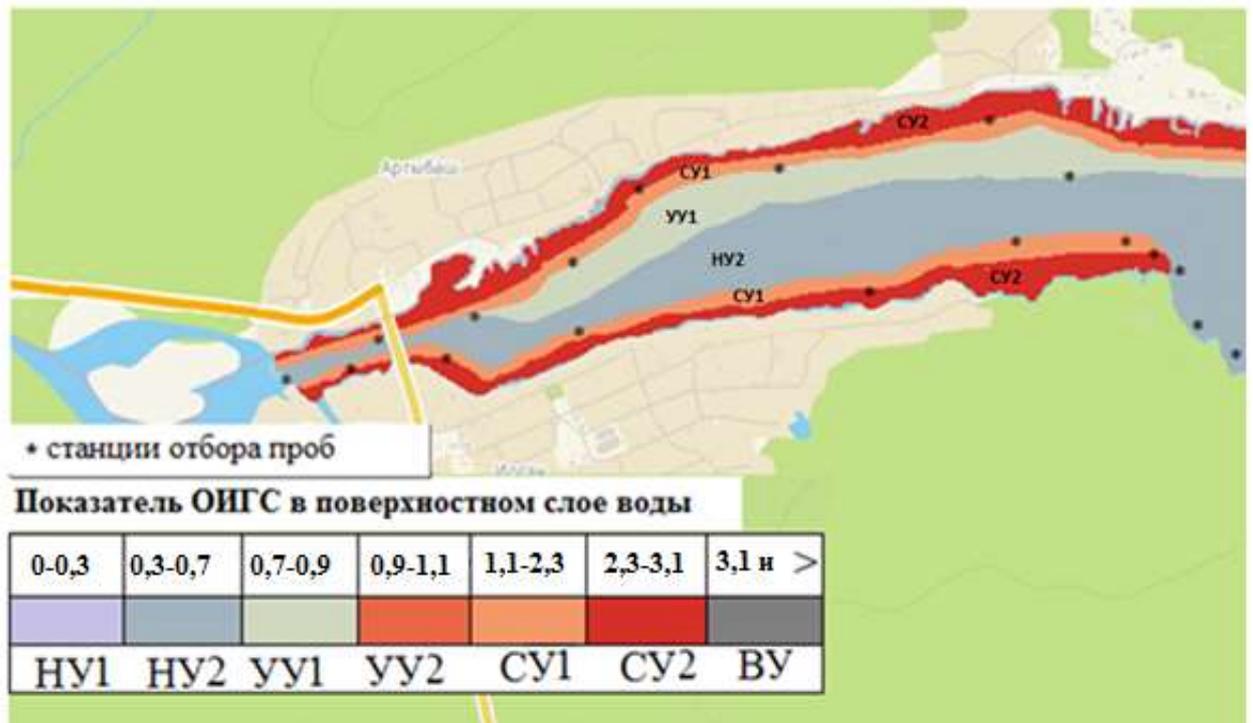


Рисунок 28 – Области интерполяции ОИГС оз. Телецкого в поверхностном слое в районе п. Артыбаш и Иогач, 2019 г.



Рисунок 29 – Области интерполяции ОИГС оз. Телецкого на глубине 10 м в районе п. Артыбаш и Иогач, 2019 г.

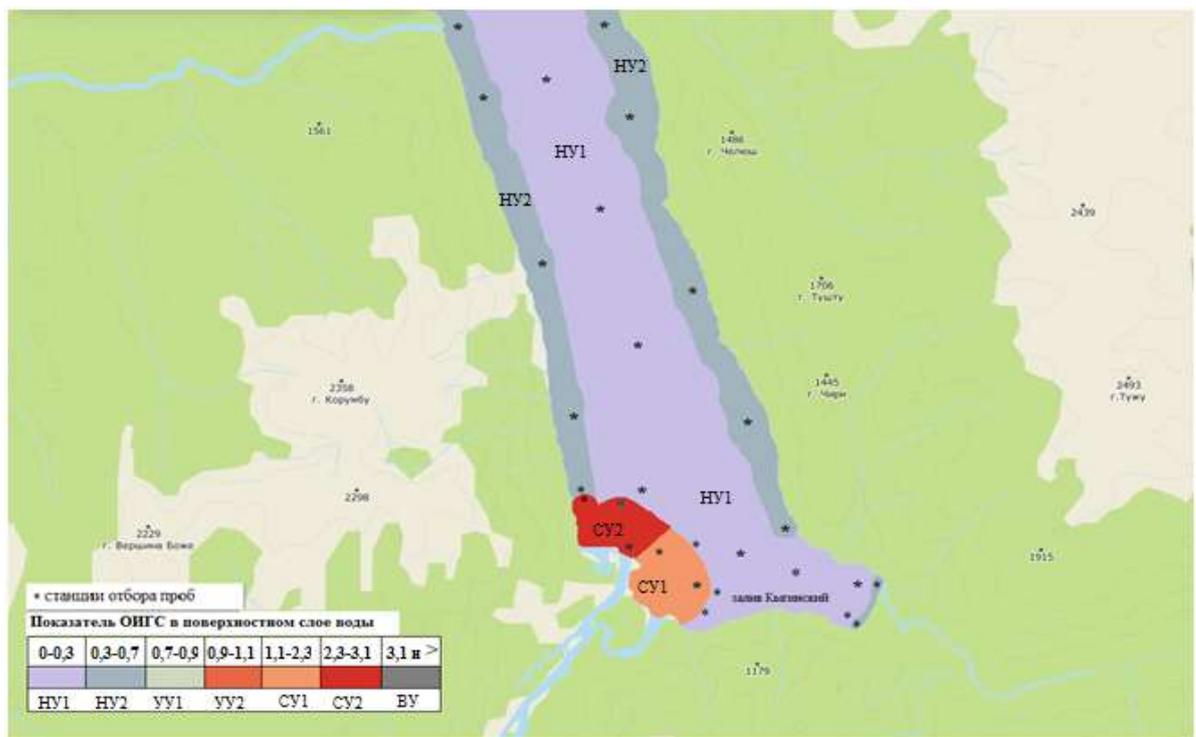


Рисунок 30 – Области интерполяции ОИГС оз. Телецкого в районе Кыгинского залива (фоновый участок) и в устьевой части р. Чулышман, 2019 г.

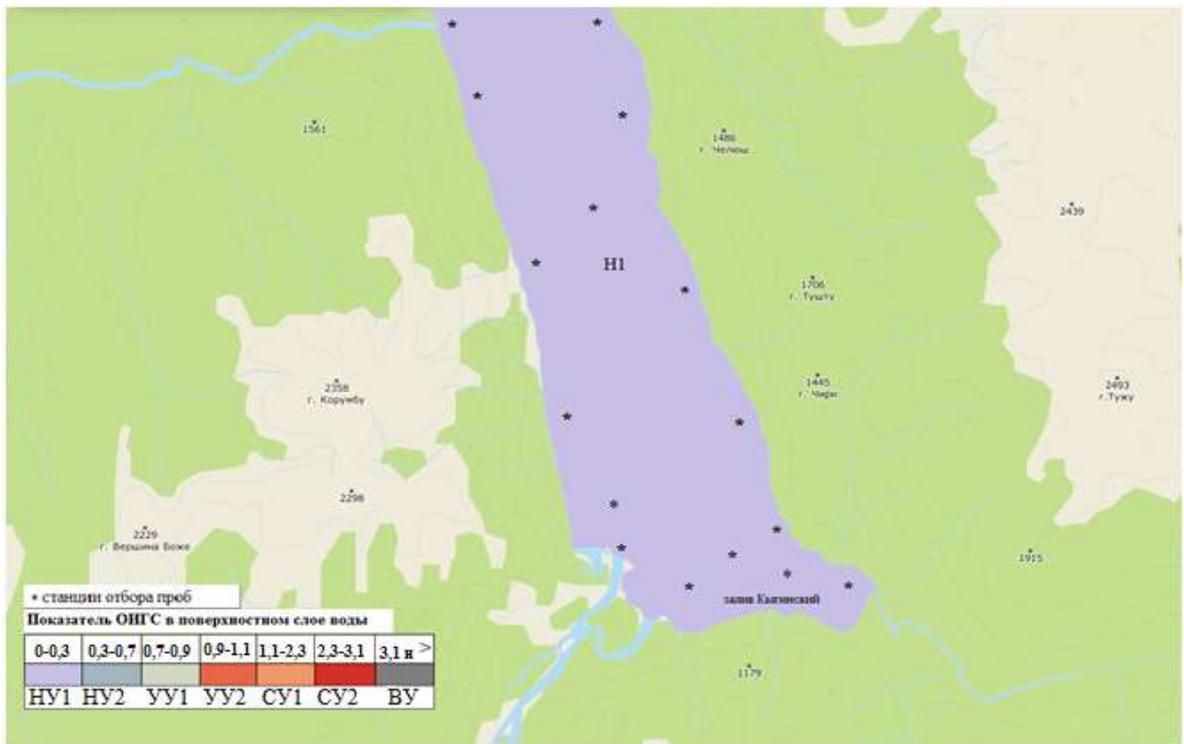


Рисунок 31 – Области интерполяции ОИГС оз. Телецкого на глубине 10м в районе Кыгинского залива (фоновый участок) и в устьевой части р. Чулышман, 2019 г.

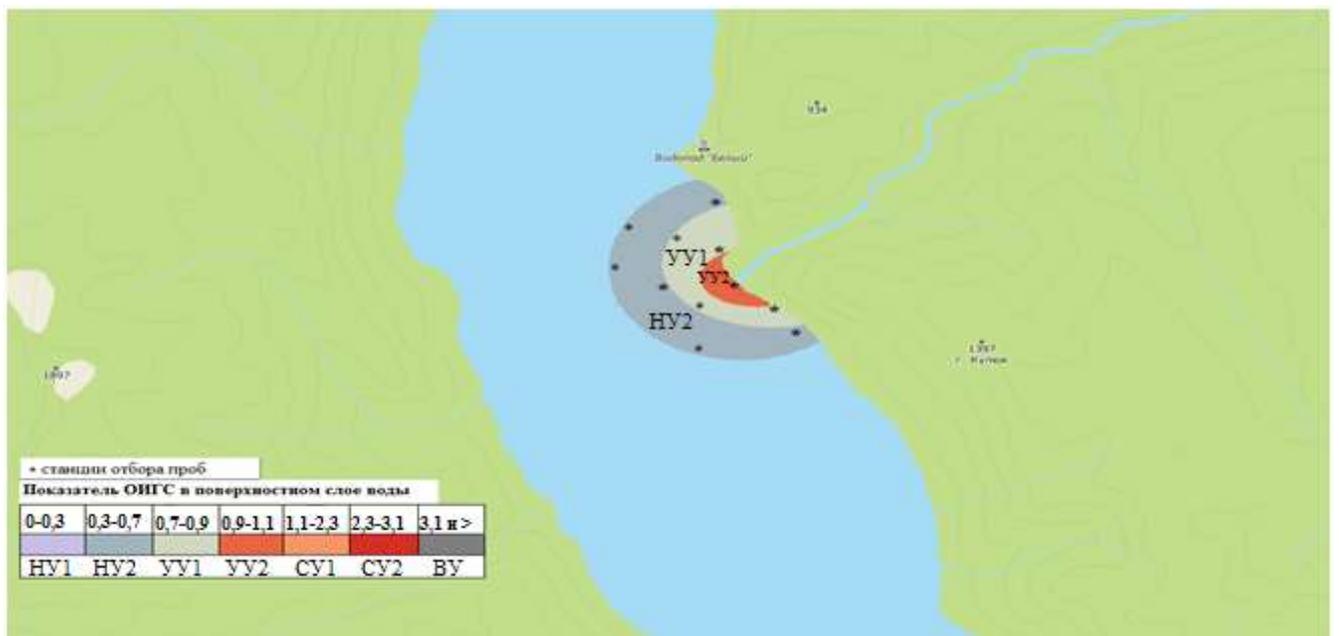


Рисунок 32 – Области интерполяции ОИГС оз. Телецкого в районе впадения реки Кокши 2019 г.



Рисунок 33 – Области интерполяции ОИГС оз. Телецкого на глубине 10 м в районе впадения реки Кокши 2019 г.



Рисунок 34 – Области интерполяции ОИГС оз. Телецкого в районе залива Камга 2019 г.

Фоновым участком на озере для дифференциации и ранжирования антропогенного воздействия, и природных факторов выбран Кыгинский залив из-за практически отсутствующего антропогенного воздействия.

Если сравнивать ОИГС в отобранных пробах за 2015-2019 гг., то они имеют сильную прямую зависимость, высокий коэффициентом корреляции Пирсона ( $r=0,85$ ), коэффициент детерминации ( $R^2=0,72$ ) на глубинах от 0-10м (Рисунок 35). Также можно сделать вывод, что за все годы исследования (2013-2019 гг.) показатели на данной станции имеют близкие значения.

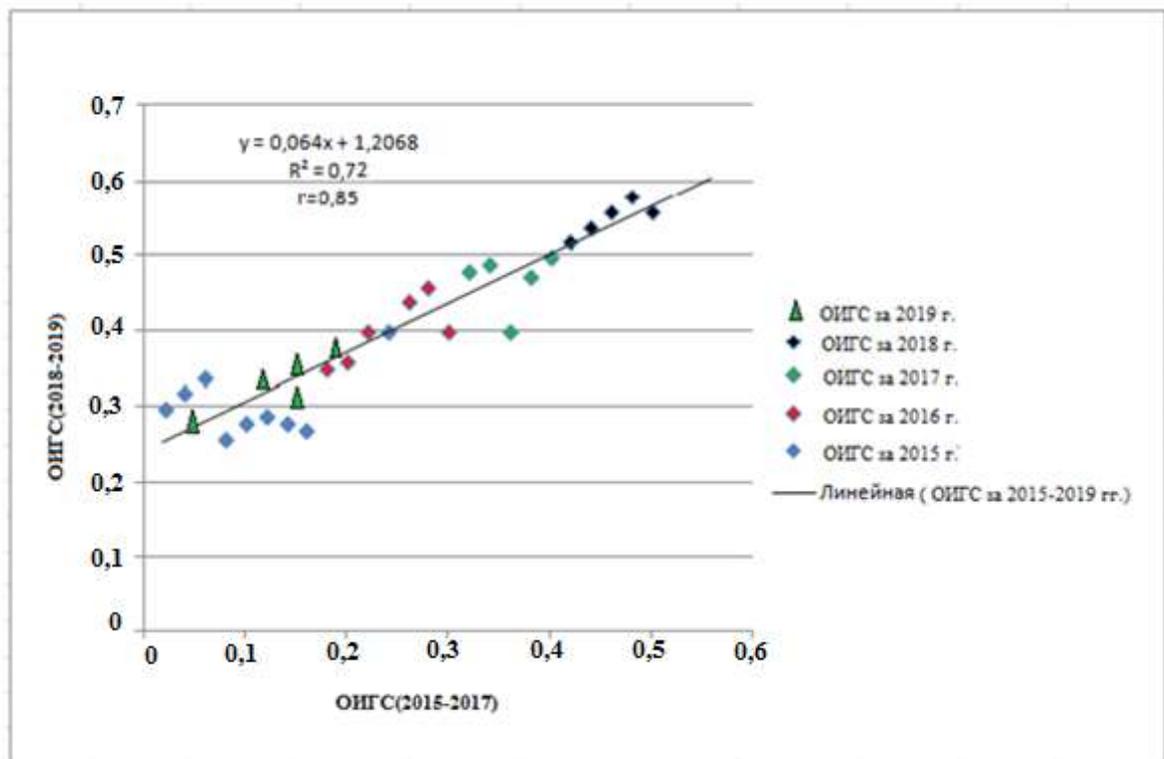


Рисунок 35 – График зависимости величин ОИГС (Кыгинский залив) за 2015-2019 гг.

Сильная корреляция между двумя сериями характеристик позволяет установить их взаимосвязь.

Была проведена проверка значимости коэффициента корреляции. В качестве нулевой гипотезы использовался коэффициент корреляции равный нулю ( $H_0: \rho=0$ ), альтернативной – не равен нулю ( $H_1: \rho \neq 0$ ). Для проверки гипотезы выборочное распределение статистики рассчитывалось по формуле (6):

$$t_{расч.} = 9,04;$$

$$t_{кр.} = 2,04.$$

Принимаем решение об отклонении или не отклонении нулевой гипотезы, если выполняются условия:

1.  $|t| > t_{кр.}$  - отклоняем  $H_0$ ;

2.  $|t| < t_{кр.}$  - не отклоняем  $H_0$ .

$t_{расч.} > t_{кр.}^{0.05}$  - нулевая гипотеза отклоняется.

$p = 0,000000001 < 0,05$  – альтернативная принимается.

Для выбранного уровня значимости ( $p = 0,000000001$ ) мы отвергаем нулевую гипотезу и принимаем альтернативную.

Натуральный логарифм от численного значения спектрального показателя ослабления света  $\varepsilon(\lambda)$  на длине волны 430 нм является наиболее объективной величиной для определения геоэкологического состояния озёр с использованием методики ОИГС, как указано выше и в работе И.А. Суторихина и др. (2013).

По итогам анализа результатов экспедиционных работ получены схемы пространственного распределения ОИГС по акватории озера, которые являются отражением влияния водосбора на различные участки водоема (Донцов и др., 2018).

В 2019 г. самые высокие показатели отмечались вблизи наиболее урбанизированных участков Артыбаш и Йогач (Рисунок 28). В центральной части исследуемого участка находятся области с наименьшими значениями, которые соответствуют 0,4-0,5 и относятся к низкому уровню 2, по ОИГС и умеренному 1(0,8). С приближением к береговой линии показатель ОИГС увеличивается и составляет в среднем 1,4, соответствуя среднему уровню 1. В прибрежной части водоема ОИГС составляет 2,4 и 2,5, что соответствует среднему уровню 2.

На изменчивость ОИГС на различных участках озера влияет состояние территории водосбора. Наибольшее антропогенное влияние связано с большим количеством водомоторных судов, осуществляющих грузовое и пассажирское судоходство. Следующим значимым фактором является рекреационная нагрузка,

оказывающая влияние со стороны водосбора. Туристические базы и неорганизованные палаточные стоянки, а также поверхностный смыв загрязняющих веществ с неорганизованных свалок вносят свой вклад в загрязнение берега и самого озера.

На глубине 10 м картина меняется в сторону уменьшения значений ОИГС исследуемого участка, пелагиальная часть озера относится к низкому уровню 2, ближе к берегу ОИГС переходит в умеренный 1 и в прибрежной части относится к умеренному 2 (Рисунок 29). Высокие показатели на этом участке связаны с вкладом иловых отложений, смываемыми с территории водосбора и аккумулирующимися на дне годами. Сравнительный анализ результатов проб за весь период исследований показал сходные значения. Вблизи достаточно крупного села Яйлю – 1,7 (средний уровень 1).

В Кыгинском заливе значения ОИГС наименьшие по озеру, причем в поверхностном слое пелагиали ОИГС=0,1–0,3 (низкий уровень 1) ниже, чем в литорали – 0,4 (низкий уровень 2) (Рисунок 30). На глубине 10 м в пелагиали ОИГС имеет значение 0,2 (низкий уровень 1) (Рисунок 31). Данный участок находится в зоне Алтайского природного биосферного заповедника, где полностью отсутствует антропогенное воздействие. На этом участке влияние оказывают только естественные процессы.

В направлении от середины озера к берегу значения ОИГС возрастают от 0,4–0,5 (низкий 2) и 0,8 (умеренный 1) до 1,36(средний 1). Самые максимальные значения в прибрежной части водоёма ОИГС составляет 2,4, что соответствует среднему уровню 2.

Залив Камга находится в северо-восточной части озера (Рисунок 34), далеко от крупных населенных пунктов, антропогенное воздействие на эту территорию минимально. В наиболее глубоководной части залива поверхностный слой относится к низкому уровню 2 (ОИГС = 0,5), в литоральной части он увеличивается до умеренного уровня 1, дно покрыто зарослями трав. «Ложе Камгинского залива занимают однородные, обширные по площади подводные илистые пустыни. Доминирующей растительностью здесь является Рдест

пронзеннолистный *Potamogeton perfoliatus*. Дно покрыто бактериально-водорослевой пленкой с жемчужными пузырьками, и испещрено отверстиями из которых иногда выходит газ» (Алтайский Государственный Природный Биосферный Заповедник..., 2019).

В самой мелководной части, где находятся заболоченные участки и плавает большое количество поваленных гниющих деревьев, влияющих на экологическое состояние поверхностного слоя воды, показатель ослабления света доходит до  $3 \text{ м}^{-1}$  и соответствует умеренному уровню 2 по ОИГС (Суторихин и др., 2019).

В месте впадения реки Кокши (Рисунок 32, 33) в озеро показатель ОИГС составляет 1 (умеренный уровень 2) вследствие поступления большого количества взвешенных и растворенных веществ. С ростом глубины и увеличением расстояния показатель ОИГС уменьшается до умеренного 1(0,8) и низкого 2 уровней (0,5). На глубине 10 метров влияние взвеси, выносимой в поверхностный слой, уменьшается и ОИГС составляет умеренный уровень 1 и низкий уровень 2.

Телецкое озеро, как горное, в целом содержит более низкие значения ОИГС. Согласно международным нормам оценки трофического уровня (по концентрации хлорофилла "а") и следуя «Единым критериям качества природных вод», принятым странами СЭВ в 1982 г., оно является олиготрофным, а его воды относятся к I классу качества вод (Сиренко, Козицкая, 1988).

Таким образом, на основе изменчивости данных спектрального показателя ослабления и уровней ОИГС, полученных на станциях исследования, в частности Артыбаш и Иогач, показано антропогенное влияние на акваторию озера (Рисунок 28-34, Суторихин и др., 2019).

Также для равнинных озер на примере озера Красиловское (Косихинский район) был предложен и апробирован метод построения картосхем пространственно-временного распределения уровней ОИГС. Поверхностные пробы воды были отобраны в 34 пунктах (Таблица 11), по трансектам показанным на рисунке 36, топографическая основа была взята из Интернет-ресурса 2GIS (Dontsov et al., 2020; Фроленков, Суторихин, 2021).

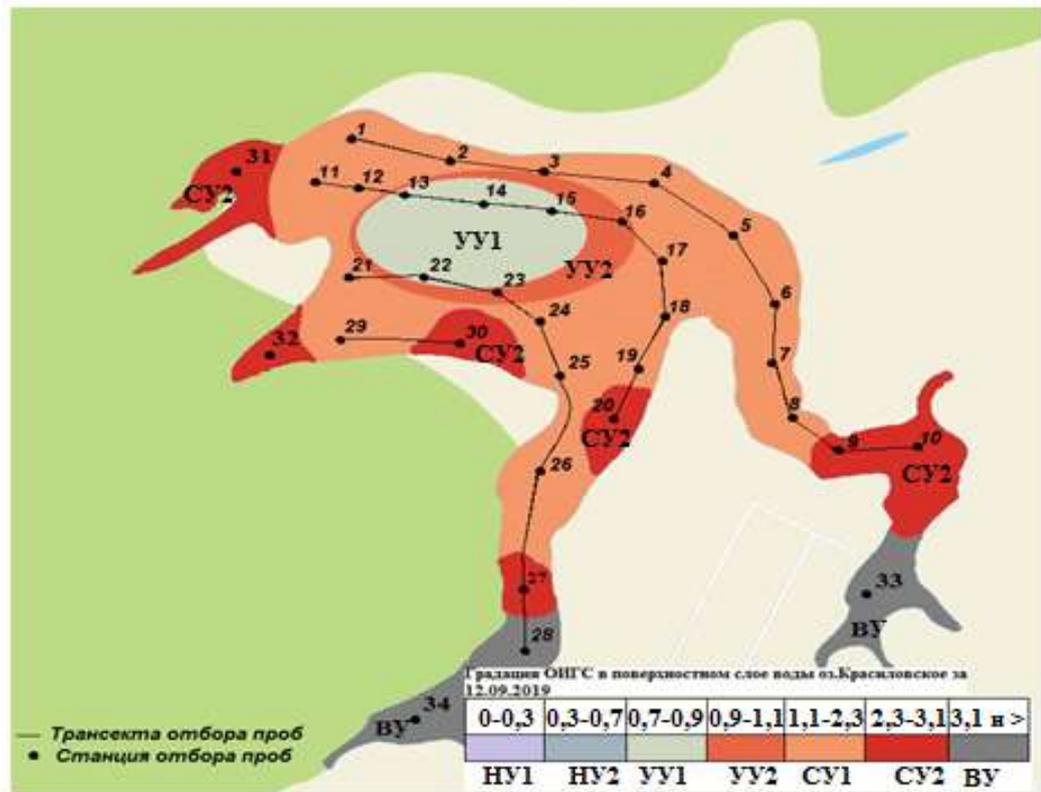


Рисунок 36 – Области интерполяции ОИГС озера Красиловского в поверхностном слое 12.09.2019 г.

Таблица 11 – ОИГС озера Красиловского в поверхностном слое за 12.09.2019 г.

№ станции	ОИГС	№ станции	ОИГС	№ станции	ОИГС
<b>1</b>	1,5	<b>13</b>	0,7	<b>25</b>	2
<b>2</b>	1,4	<b>14</b>	0,8	<b>26</b>	2,2
<b>3</b>	1,5	<b>15</b>	0,9	<b>27</b>	3
<b>4</b>	1,6	<b>16</b>	1	<b>28</b>	3,2
<b>5</b>	1,8	<b>17</b>	1,7	<b>29</b>	2,3
<b>6</b>	2	<b>18</b>	1,8	<b>30</b>	2,4
<b>7</b>	2,1	<b>19</b>	2,2	<b>31</b>	2,5
<b>8</b>	2,2	<b>20</b>	2,5	<b>32</b>	2,6
<b>9</b>	2,5	<b>21</b>	2,2	<b>33</b>	3,2
<b>10</b>	3	<b>22</b>	0,8	<b>34</b>	3,2
<b>11</b>	1,4	<b>23</b>	0,9		
<b>12</b>	1,5	<b>24</b>	1,8		

Озеро Красиловское подвержено как антропогенному воздействию (с. Озеро-Красилово, туристические комплексы и базы, садоводство), так и влиянию природных факторов. В наиболее глубокой центральной части озера (6–7 м) толщина слоя ила составляет 20–30 см, ОИГС минимальный – 0,7–0,9 (умеренный уровень 1), это обусловлено удаленностью от берегов и наименьшим антропогенным воздействием. На мелководных участках литорали на западе озера, а также заболоченных участках на юге значения ОИГС наибольшие 2,5–3 (средний уровень 2). На этих участках озера глубина составляет 1,5 м, толщина иловых отложений до 50 см.

Максимальные значения ОИГС (3,2, высокий уровень) выявлены на участках озера, прибрежная водоохранная зона которых застроена или присутствуют свалки мусора. В этих частях озера глубина достигает 0,7–1,0 м, а толщина иловых отложений – 1,5 м.

В результате комплекса осуществленных исследований согласно предложенной автором методике проранжированы участки акватории различных озер по уровню экологического воздействия со стороны водосбора. На Телецком озере выбраны участки с фоновым значением ОИГС, относительно которых определялся антропогенный вклад и влияние природных факторов.

## Выводы

1) На основании данных экспедиционных исследований и обобщения опубликованных материалов по антропогенной нагрузке (плотность населения, животноводческая и рекреационная нагрузка, распаханность территории водосбора) и природным условиям (площадь водосбора, залесенность, заболоченность и другие) проведена балльная оценка геоэкологического состояния изучаемых озер и их водосборных бассейнов. Выявлены территориальные особенности и связи между источниками загрязнения и водными объектами.

2) ОИГС, рассчитанный по спектральному показателю ослабления света на длине волны 430 нм, является наиболее объективным показателем геоэкологического состояния озера, так как чувствителен к содержанию в воде взвешенных (минеральная и органическая взвесь) и растворённых (органическое (желтое) вещество, неорганические соединения, хлорофилл водорослей) веществ.

3) Установлены достоверная положительная корреляция между ОИГС и трофическим индексом TSI (Trophic State Index) Карлсона и соответствие ОИГС с оценкой геоэкологического состояния по методу балльных оценок А.Г. Исаченко.

4) Разработанный ОИГС является комплексным геоиндикатором, позволяющим оперативно оценить геоэкологическое состояние разнотипных как горных, так и равнинных озер. Горное Телецкое озеро характеризуется более низкими показателями ослабления света в целом.

5) Проведенная на основе ОИГС геоэкологическая оценка участков акватории глубоководного Телецкого и мелководного Красиловского озер позволила проранжировать участки с разной степенью антропогенного воздействия.

6) Выявленная сезонная динамика ОИГС отражает сезонное изменение геоэкологического состояния озер, связанное с изменениями как внутриводоемных процессов, так и на водосборе.

**СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ И ЛИТЕРАТУРЫ**

Абакумов, В.А. Закономерности изменения водных биоценозов под воздействием антропогенных факторов / В.А. Абакумов // Комплексный глобальный мониторинг Мирового Океана: Труды Первого Международного симпозиума. – Л.: Гидрометеиздат, 1985. – С. 27–283.

Алимов, А.Ф. Эвтрофирование водоемов и структура сообщества гидробионтов / А.Ф. Алимов, М.С. Голубков // Биология внутренних вод. – 2014. – № 3. – С. 5–11.

Авакян, А.Б. Рациональное использование и охрана водных ресурсов / А.Б. Авакян, В.М. Широков. – Екатеринбург: Из-во «Виктор», 1994. – 320 с.

АГРИЭН [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.agrien.ru/reg/алтай.html>.

Акимова, Т. А. Экология: учебник для вузов / Т. А. Акимова, В.В. Хаскин – М. : ЮНИТИ, 1999. – 455 с.

Акулова, О.Б. Разработка методов и измерительно-вычислительного комплекса для оценки экологически значимых гидрооптических характеристик пресноводных водоёмов (на примере озер Алтайского края) : дисс. ... канд. техн. наук : 25.00.27 / Акулова Ольга Борисовна. – Барнаул, 2015. – 176 с.

Алаев, Э.Б. Социально-экономическая география: Понятийно-терминологический словарь / Э.Б. Алаев. – М.: Мысль, 1983. – 350 с.

Алекин, О.А. Терминальный источник Абаканский Аржан / О.А. Алекин // Изв. Гос. гидролог. ин-та. –1932. –№ 47. – С. 41–53.

Александрова, В.Д. Природные районы Алтайского края (без Горно-Алтайской АО) / В.Д. Александрова, Н.И. Базилевич, Г.В. Занин, Л.И. Иванина, И.И. Карманов, В.И. Кравцова, А.Н. Розанов // Природное районирование Алтайского края.– М. : Изд-во АН СССР, 1958. – Т. 1. – С. 161–202.

Алтайский Государственный Природный Биосферный Заповедник. [Электронный ресурс] – Режим доступа:

<http://www.altzapoved.ru/info/publikacii/podvodnyi-mir-ozera/podvodno-vozdushnaya-ekskursiya-po-Teletskomu-2.aspx>

Алтайский государственный университет. [Электронный ресурс] – Режим доступа: [https://www.asu.ru/structure/admin\\_edu/krasilovo/](https://www.asu.ru/structure/admin_edu/krasilovo/).

Алтайский край. 2GIS. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://2gis.ru/?m=84.366327%2C53.181991%2F13.23>.

Апонасенко, А.Д. Количественные закономерности функциональной организации водных экосистем в связи с их дисперсной структурой: дисс. ... докт. физ.-мат. наук: 03.00.02 / Апонасенко Анатолий Дмитриевич. – Красноярск, 2001. – 316 с.

Атлас Алтайского края. – М.: Новосибирск, 1991. – 37 с.

Арманд, Д.Л. Балльные шкалы в географии / Д.Л. Арманд // Изв. АН СССР. Сер. геогр., 1973. – №2. – С. 11–24.

Балацкий, О.Ф. Экономика и качество окружающей природной среды / О.Ф. Балацкий, Л.Г. Мельник, А.Ф. Яковлев. – Л. : Гидрометеиздат, 1984. – 190 с.

Безруков, Л.Б. Высокочувствительный батифотометр и исследования светового поля озера Байкал/ Л.Б. Безруков, Н.М. Буднев, Н.П. Бутин // Океанология. – 1988. – Т. 28. – Вып. 2. – С. 331–335.

Белов, Н.С. Оценка геоэкологической ситуации в речных бассейнах Калининградской области с применением геоинформационных технологий : автореф. дис. ... канд. географ. наук : 25.00.36 / Белов Николай Сергеевич – Калининград, 2011. – 24 с.

Беляев, А.Г. Об особенностях режима биогенных веществ в Таганрогском заливе на современном этапе / А.Г. Беляев // Труды аспирантов и соискателей РГУ. – Ростов-на-Дону : Изд-во РГУ, 2001. – Т. VII. – С. 106–108.

Беручашвили, Н.П. Методы комплексных физико-географических исследований / Н.П. Беручашвили, В.К. Жучкова. – М. : Изд-во МГУ, 1997. – 320 с.

Бобылев, С.Н. Экономик а природопользования: учебное пособие / С.Н. Бобылев, А.Ш. Ходжаев. – М. : Изд-во МГУ, 2003. – 567 с.

Борн, М. Основы оптики / М. Борн, Э. Вольф. – Новосибирск : Наука, 1970. – 721 с.

Бубличенко, Н.Л. Происхождение Телецкого озера / Н.Л. Бубличенко // Вест. Зап.- Сиб. геол. упр. – 1939. – №3. – С. 42–58.

Бульон, В.В. Имеет ли место естественное эвтрофирование озер? / В.В. Бульон // Водные ресурсы. – 1998. – Т. 25. – № 6. – С. 759–764.

Бульон, В.В. Связь между концентрацией планктона и прозрачностью воды в озерах и водохранилищах / В.В. Бульон // Морфология, систематика и эволюция животных. – Л. : Зоологический институт АН СССР, 1978. – С. 49–50.

Бульон, В.В. Первичная продукция и трофическая классификация водоемов / В.В. Бульон // Методические вопросы изучения первичной продукции планктона внутренних водоемов. – СПб. : Гидрометеиздат, 1993. – С. 147–157.

Веснина, Л.В. Гидробиологический мониторинг озёр Алтайского края / Л.В. Веснина // Сибирский экологический журнал. – Новосибирск, 2000. – № 3. – С. 263–269.

Веснина, Л.В. Особенности биоты мезогалинных озер Алтайского края / Л.В. Веснина // Биологическая продуктивность водоемов Западной Сибири и их рациональное использование. – Новосибирск, 1997. – С. 204–206.

Винберг, Г.Г. Первичная продукция водоемов / Г.Г. Винберг. – Минск : Изд-во АН БССР, 1960. – 330 с.

Винокурова, Г.В. Состав, структура фитопланктона, концентрация хлорофилла и гидрофизические параметры воды оз. Красиловское в начале весны при условии ледостава / Г.В. Винокурова, А.А. Коломейцев, И.А. Суторихин, И.М. Фроленков, О.М. Фроленков // Водные и экологические проблемы Сибири и Центральной Азии: труды III Всероссийской научной конференции с международным участием. – Барнаул, 2017. – Т. 1. – С. 55–63.

Винокурова, Г.В. Анализ состояния биологических сообществ континентального водоема с использованием гидрооптических характеристик /

Г.В. Винокурова, И.А. Суторихин, А.А. Коломейцев, И.М. Фроленков // Биология внутренних вод. – 2021. – №2. – С. 142–150.

Виртуальная экскурсия по берегам Телецкого озера (начало). [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://putevoditel-altai.ru/load/1314-virtualnaya-ekskursiya-po-beregam-teleckogo-ozera-nachalo.html>.

Вологдин, М.П. Гидрооптические особенности малых озёр Забайкалья (на примере Ивано-Арахлейских) / М.П. Вологдин. – Новосибирск: Наука, 1981. – 133 с.

Вологдин, М.П. Показатели ослабления светового излучения для вод Ивано-Арахлейских озёр (Забайкалье) / М.П. Вологдин, П.П. Шерстянкин // Оптические методы изучения океанов и внутренних водоёмов. – Новосибирск : Наука, 1979. – С. 281–285.

Гагина, Н.В. Методы геоэкологических исследований: курс лекций / Н.В. Гагина, Т.А. Федорцова. – Мн. : БГУ, 2002. – 98 с.

Гаев, А.Я. Экологические основы водохозяйственной деятельности (на примере Оренбургской области и сопредельных районов) / А.Я. Гаев, И.Н. Алферов, В.Г. Гацков, И.Е. Клейменова, В.П. Нагорнов, Н.Г. Беликова, А.В. Малкин, А.М. Пампушка, Т.И. Якшина, Н.С. Алферова, Д.Н. Саидова, под общ. ред. А.Я. Гаева; Перм. ун-т и др. – Пермь. : Оренбург, 2007. – 327 с.

Гаев, А.Я. Исследование экологического состояния природных вод Оренбургской области / А.Я. Гаев, Ю.М. Погосян, Н.П. Галянина, Е.Б. Савилова // Вода: химия и экология. – 2012. – № 3. – С. 3–9.

Гапоненко, О.П. Определение первичных гидрооптических характеристик по световому полю точечного источника / О.П. Гапоненко, Р.Р. Миргазов, Б.А. Таращанский // Оптика атмосферы и океана. – 1994. – Т. 9. – №8. – С. 1069–1076.

Гареев, А.М. Оптимизация водоохранных мероприятий в бассейне реки (географо-экологический аспект) / А.М. Гареев. – С.-Пб. : Гидрометеиздат, 1995. – 190 с.

Гельмерсен, Г.П. Телецкое озеро и телеуты Восточного Алтая / Г.П. Гельмерсен // Горный журнал. – 1840. – Т.1. – Кн. 1. – С. 41–61.

География и природопользование Сибири. – Барнаул : Изд-во АГУ, 1998. – 195 с.

Гершун, А.А. Световое поле / А.А. Гершун. – Л.; М. : ОНТИ, 1936. – 178 с.

Гидрогеология СССР. Кемеровская область и Алтайский край. – М. : Недра, 1972. – Т. XVII. – 400 с.

Голубев, Г.Н. Геоэкология: учебное пособие / Г.Н. Голубев. – М. : Изд-во ГЕОС, 1999. – 338 с.

Горшков, С.П. Концептуальные основы геоэкологии / С.П. Горшков. – Смоленск : СГУ, 1998. – 288 с.

ГОСТ 17.1.4.02–1990. Государственный контроль качества воды. Методика спектрофотометрического определения хлорофилла а. – М. : Изд-во стандартов, – 2003. – С. 791–804.

ГОСТ 27065–1986. Качество вод. Термины и определения. – М. : Изд-во стандартов, 1988. – 10 с.

ГОСТ Р 56257–2014 Характеристика факторов внешнего природного воздействия. Общая классификация. – М. : Стандартинформ, – 2015. – С. 1–27.

Данилов-Данильян, В.И. Дефицит пресной воды и мировой рынок / В.И. Данилов-Данильян // Водные ресурсы. – М. : Наука, 2005. –Т. 32. – № 5. – С. 625–633.

Данилов-Данильян, В.И. Водные ресурсы и качество вод / В.И. Данилов-Данильян, В.Г. Пряжинская. – М. : Российская академия наук, 2010. – 415 с.

Даценко, Ю.С. Эвтрофирование водохранилищ. Гидролого-гидрохимические аспекты / Ю.С. Даценко. – М. : ГЕОС, 2007. – 252 с.

Даценко, Ю.С. О статье В.В.Бульона «Имеет ли место естественное эвтрофирование озер?» / Ю.С. Даценко // Водные ресурсы. – 1998. – Т. 25. – № 6. – С. 765–766.

Деев, Е.В. Структурно-геоморфологический анализ района Телецкого озера / Е.В. Деев, Е.М. Высоцкий, И.С. Новиков, А.А. Мистрюков // Геология и геофизика. – 1995. – Т. 36. – №10. – С. 133–142.

Дикаревский, В.С. Отведение и очистка поверхностных сточных вод / В.С. Дикаревский, А.М. Курганов, А.П. Нечаев, М.И. Алексеев. – М. : Стройиздат, 1990. – 265 с.

Дмитриев, В.В. Подходы к интегральной оценке и ГИС-картографированию устойчивости и экологического благополучия геосистем. Ч. IV. Интегральная оценка экологического благополучия наземных и водных геосистем / В.В. Дмитриев, И.В. Федорова, А.С. Бирюкова // Вестник С.-Петербур. ун-та. Сер. 7. Геология. География. – 2016. – № 2. – С. 37–53.

Добрынин, В.И. Спектральное поглощение света глубинной байкальской водой / В.И. Добрынин, Р.Р. Миргазов, К.А. Почейкин, Б.А. Таращанский // Оптика атмосферы и океана. – 1976. – Т. 10. – N. 3. – С. 234–244.

Доклад о состоянии и об охране окружающей среды Республики Алтай в 2005 году. – Горно-Алтайск, 2008. – 192 с.

Доклад о состоянии и об охране окружающей среды Республики Алтай в 2002 г. – Горно-Алтайск, 2003. – 192 с.

Доклад о состоянии и об охране окружающей среды Республики Алтай в 2003 г. – Горно-Алтайск, 2004. – 184 с.

Донцов, А.А. Геопортальная система мониторинга параметров внутриконтинентальных водных объектов / А.А. Донцов, И.А. Суторихин, А.В. Котовщиков, И.М. Фроленков // Тезисы доклада на Международную научную конференцию «Информационные технологии в исследовании биоразнообразия» г. Иркутск 11-14 сентября 2018 г. – Иркутск : ИДСТУ СО РАН, 2018 г. – С. 67–68.

Драбкова, В.Г. Эволюция озер под влиянием развития их экосистем: кн.: История озер СССР. / В.Г. Драбкова. – Л. : Наука, 1986. – С. 27–33.

Дучков, А.Д. Тепловой поток Телецкого озера / А.Д. Дучков, Ж. Клерке, С.А. Казанцев // Геология и геофизика. – 1995. – Т. 36. – № 10. – С. 143–153.

Дьяконов, К.Н. Современные методы географических исследований / К.Н. Дьяконов, Н.С. Касимов, В.С. Тикунов. – М. : Просвещение, 1996. – 207 с.

Единые критерии качества вод. – Л. : Госстандарт, 1982. – 69 с.

Единый государственный реестр почвенных ресурсов России [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://atlas.mcx.ru>.

Ерлов, Н.Г. Оптика моря: пер. с англ / Н.Г. Ерлов. – Л. : Гидрометеиздат, 1980. – 248 с.

Жидкова, А.Ю. Геоэкологическая оценка эвтрофирования вод Таганрогского залива : дис. ... канд. геогр. наук : 25.00.36 / Жидкова Алена Юрьевна – Таганрок, 2017. – 210 с.

Жукинский, В.Н. Принципы и опыт построения экологической классификации качества поверхностных вод суши / В.Н. Жукинский, О.П. Оксийук, Г.Н. Олейник, С.И. Кошелева // Гидробиологический журнал. – 1981. – 17. – № 2. – С. 38–49.

Жучкова, В.К. Организация и методы комплексных физико-географических исследований / В.К. Жучкова. – М. : Изд-во Московского ун-та, 1977. – 184 с.

Занин, Г.В. Геоморфология Алтайского края / Г.В. Занин // Природное районирование Алтайского края. – М. : Изд-во АН СССР, 1958. – Т. 1. – С. 62–98.

Иванов, А. Введение в океанографию / А. Иванов. – М. : Мир, 1978. – 576 с.

Игнатов, П.Г. Исследование Телецкого озера на Алтае летом 1901 г. Алтайский сборник / П.Г. Игнатов. – Барнаул : Общества любителей исследования Алтая, 1907. – Т. 6. – 24 с.

Игнатов, П.Г. Исследование Телецкого озера на Алтае летом 1901 года / П.Г. Игнатов. – СПб. : Русск. Геогр. Об-во, 1902. – Т. 38. – С. 171–205.

Израэль, Ю.А. Экология и контроль состояния природной среды / Ю.А. Израэль. – Л. : Гидрометеиздат, 1984. – 560 с.

Ильмаст, Н.В. Гидробиология костомукшского водохранилища (бассейна Белого моря) в условиях техногенного загрязнения / Н.В. Ильмаст, О.П. Стерлигова, Я.А. Кучко, С.А. Павловский // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2013. – Т. 15. – № 3(3). – С. 916–920.

Исаченко, А.Г. Экологическая география России / А.Г. Исаченко. СПб. : Издательский дом СПбГУ, 2001. – 328 с.

Кадышевич, Е.А. Общая характеристика матриц рассеяния света морской водой / Е.А. Кадышевич, Ю.С. Любовцева // Гидрофизические и гидрооптические исследования в Атлантическом и Тихом океанах. – М. : Наука, 1974. – С. 310–317.

Кадышевич, Е.С. Матрицы рассеяния света водами Тихого и Атлантического океанов / Е.С. Кадышевич, Ю.С. Любовцева, Г.В. Розенберг // АН СССР. Физика атмосферы и океана. –1976. –Т.12. – № 2. – С. 186–195.

Казакова, А.С. Анализ туристской деятельности на территории Турочакского района Республики Алтай / А.С. Казакова, Н.Г. Прудникова // Ломоносовские чтения на Алтае: Фундаментальные проблемы науки и образования. Сборник научных статей международной конференции. – Барнаул: АлтГУ, 2015. – С. 1350-1357.

Калецкая, М.С. Развитие рельефа Северо-Восточного Алтая / М.С. Калецкая. – М. : Тр.ин-та географии АН СССР. – 1948. – Вып. 39. – С. 71–81.

Карабашев, Г.С. Спектральная прозрачность байкальских вод в ультрафиолетовой и видимой частях спектра / Г.С. Карабашев, А.Ф. Кулешов, П.П. Шестянкин // Доклады АН СССР. – 1989. – Т. 306. – №5. – С. 1091–1094.

Кириллов, В.В. Сравнительный анализ экосистем разнотипных озер Касмалинской и Кулундинской долин древнего стока / В.В. Кириллов, Е.Ю. Зарубина, Д.М. Безматерных, Н.И. Ермолаева, Т.В. Кириллова, Л.В. Яныгина, Л.А. Долматова, А.В. Котовщиков, О.Н. Жукова, М.И. Соколова // Наука – Алтайскому краю, 2009.– Барнаул: АлтГТУ, 2009. – Выпуск 3. – С. 311–333.

Кириллова, Т.В. Пигментные характеристики фитопланктона Телецкого озера : дис. ... канд. биол. наук : 03.00.16 / Кириллова Татьяна Владимировна – Красноярск, 2006. – 220 с.

Китаев, С.П. Основы лимнологии для гидробиологов и ихтиологов / С.П. Китаев. – Петрозаводск : Карельский научный центр РАН, 2007. – 395 с.

Козин, В.В. Геоэкология и природопользование. Понятийно-терминологический словарь / В.В. Козин, В.А. Петровский.– Смоленск : Изд-во «Ойкумена», 2005. – 576 с.

Козлянинов, М.В. О некоторых основных вопросах гидрооптики / М.В. Козлянинов // Труды ИОАН. –1965. –Т. 77. – С. 7–16.

Козырева, Ю.В. Растительный покров окрестностей оз. Красилово (Алтайский край) / Ю.В. Козырева // Известия Алтайского государственного университета. – 2011. – № 3–1. – С. 27–32.

Колчинский, И.Г. Астрономы: Биографический справочник / И.Г. Колчинский, А.А. Корсунь, М.Г. Родригес. – 2-е изд., перераб. и доп. – Киев : Наукова думка, 1986. – 512 с.

Комарова, Н.Г. Основы экологии и геоэкологии: учебник для студентов учреждений высш. проф. Образования / Н.Г. Комарова.– М. : Издательский центр «Академия», – 2012. – 272 с.

Коробкова, Г. В. Иткуль – озеро на границе Троицкого и Зонального районов / Г.В. Коробкова // Энциклопедия Алтайского края. – Барнаул, 1996. – Т. 2. – С. 161.

Коронкевич, Н.И. Изменение удельного водопотребления в России в последние десятилетия / Н.И. Коронкевич, И.С. Зайцева // Водные ресурсы. –1994. – Т. 26. – № 1. – С. 90–95.

Котляков, В.М. География : понятия и термины : пятиязычный академический словарь : русский – английский – французский – испанский – немецкий / В.М. Котляков. – М. : Наука, 2007. – 860 с.

Кочуров, Б.И. Развитие геоэкологических терминов и понятий / Б.И. Кочуров // Проблемы региональной экологии. – 2000. – № 3. – С. 5–8.

Кошель, С.М. Цифровое моделирование и анализ геополей с помощью пакета «МАГ» / С.М. Кошель // Взаимодействие картографии и геоинформатики. – М. : Научный мир, 2000. – С. 41–49.

Крамар, В.Ф. Об особенностях использования оптимальной интерполяции для мезомасштабного объективного анализа в области сложного рельефа /

В.Ф. Крамар, Т.В. Менжулина // Метеорология и гидрология. – 1991. – № 12. – С. 20–28.

Красноярова, Б.А. Отчет по теме «Организация экспедиционного исследования поверхностного водного объекта – озера Телецкое – обследование его водоохраной зоны» / Б.А. Красноярова, И.В. Жерелина, Н.В. Стоящева и др.. – Барнаул, ИВЭП СО РАН, 2004.

Кривопускова, Е.В. Геоэкологическая характеристика водосборного бассейна озера Виштынецкого (Калининградская область) / Е.В. Кривопускова, А.В. Соколов // Вестник молодежной науки. – 2017. 1(8). – С. 1–6.

Кузнецова, О.В. Роль почв в устойчивости ландшафтов бассейна Телецкого озера к загрязнению тяжелыми металлами / О.В. Кузнецова, О.А. Ельчинова, А.В. Пузанов // География и природные ресурсы, 2014. – № 3. – С. 48–52.

Кукса, В.И. Южные моря (Аральское, Каспийское, Азовское и Черное) в условиях антропогенного стресса / В.И. Кукса. – СПб. : Гидрометеиздат, 1994. – 317 с.

Кузьмин, С.Б. Геоэкологическая оценка опасных геоморфологических процессов и риска природопользования : автореф. дис. ... д-ра геогр. наук : 25.00.36 / Кузьмин Сергей Борисович. – Барнаул, 2014. – 42 с.

Ландшафтная карта Алтайского края [Карта]. – Масштаб: 1:500 000 / науч. ред. Ю.И. Винокуров. – Барнаул: ИВЭП СО РАН, 2016.

Лебедев, М.К. Импульсный метод в решении задач дифракции и интерференции. I. Дифракция ультракороткого импульса / М.К. Лебедев, Ю.А. Толмачев // Лазерные исследования в Санкт-Петербургском государственном университете. Третий выпуск. – СПб. : НИИ «Российский центр лазерной физики», 2004. – С. 81–153.

Левин, И.М. Корреляционные соотношения между первичными гидрооптическими характеристиками в спектральном диапазоне около 550 нм / И.М. Левин, О.В. Копелевич // Океанология. – 2007. – Т. 47. – № 3. – С. 374–379.

Леонтьева, Д.С. Андроновский керамический комплекс поселения Коровья Пристань-III на оз. Иткуль / Д.С. Леонтьева // Известия Алтайского

государственного университета. Серия: Исторические науки и археология. – 2015. – № 4/2. – С. 106–111.

Лепнева, С.Г. Термика, прозрачность, цвет и химический состав воды Телецкого озера, в кн. / С.Г. Лепнева // Исследование озёр СССР. – Л. : Гидрометеиздат, 1937. – Вып. 9 – С. 3–105.

Лузгин, Б.Н. Происхождение Красиловского озера / Б.Н. Лузгин // Известия АлтГУ. – 1998. – №4. – С. 113–116.

Малолетко, А.М. Озеро Иткуль в Верхнем Приобье по исследованиям 1981–1982 гг. / А.М. Малолетко, А.Я. Селезнев. – Томск, 2006. – 159 с.

Маньковский, В.И. Многолетняя изменчивость экосистемы Черного моря по оптическим данным / В.И. Маньковский // Устойчивость и эволюция океанологических характеристик экосистемы Черного моря. – Севастополь, 2011. – С. 223–241.

Маньковский, В.И. Основы оптики океана : методическое пособие / В.И. Маньковский – Севастополь : Изд-во МГИНАУ, 1996. – 119 с.

Маньковский, В.И. Спектральный вклад компонентов морской воды в показатель ослабления направленного света в поверхностных водах Средиземного моря / В.И. Маньковский // Морской гидрофизический журнал. – 2011. – № 5. – С. 14 – 29.

Маньковский, В.И. Характеристики индикатрис рассеяния света в водах оз. Байкал / В.И. Маньковский // Автоматизация лимнологических исследований и световой режим водоемов. – Новосибирск: Наука. – 1984. – С. 125–137.

Маньковский, В.И. Связь показателя ослабления излучения с концентрацией взвеси в водах Черного моря / В.И. Маньковский, М.В. Соловьев // Морской гидрофизический журнал. – 2003. – № 2. – С. 60–65.

Матишов, Г.Г. Экосистемные исследования Азовского моря и побережья / Г.Г. Матишов, Ю.А. Жданов, Н.В. Лебедева, Д.Г. Матишов, Ю.А. Федоров, С.В. Бердников, В.Н. Думбай, А.Д. Чинарина. – Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 2002. – Т. IV. – 94 с.

Матишов, Г.Г. Эколого-географический анализ морского побережья Ростовской области / Г.Г. Матишов, О.В. Ивлиева, Л.А. Беспалова, Л.В. Кропянко // Докл. АН. – 2015. – Т. 460. – № 1. – С. 53–57.

Меншуткин, В.В. Гидрофизика и экология озер / В.В. Меншуткин, К.В. Показеев, Н.Н. Филатов. – М. : Физический факультет МГУ, 2004. – 280 с.

Милиус, А.Ю. Индекс трофии малых озер по зимнему фосфору / А.Ю. Милиус // Изв. АН ЭССР. Биология. –1986. – Т. 35. – № 1. – С. 75–78.

Милиус, А.Ю. Оценка трофического состояния малых озер с применением индекса трофии по весеннему фосфору / А.Ю. Милиус // Изв. АН ЭССР. Биология. – 1984. –Т. 33.– С. 297– 298.

Милиус, А. Определение трофического состояния малых озер с применением индекса трофии по биомассе фитопланктона / А. Милиус, В. Кываск // Изв. АН ЭССР. –1984. –Т. 33. – № 2. – С. 148–150.

Милиус, А.Ю. Определение трофического состояния малых озер с применением индекса трофии по фосфору / А.Ю. Милиус // Изв. АН ЭССР. –1984. –Т.33– №2. – С.144–147.

Мильков, Ф.Н. Ландшафтная сфера Земли / Ф.Н. Мильков. – М. : Мысль, 1970. – 208 с.

Министерство лесного хозяйства Республики Алтай. [Электронный ресурс]. – Режим доступа : [http://oopt.aari.ru/...files...Respubliki...N221\\_13-05-2013.pdf](http://oopt.aari.ru/...files...Respubliki...N221_13-05-2013.pdf).

Министерство сельского хозяйства Алтайского края. [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.altagro22.ru/apk/>.

Михеева, Т.М. Направленные изменения в структуре фитопланктонного сообщества озер разного трофического типа под влиянием хозяйственной деятельности человека / Т.М. Михеева // История озер СССР: Тез.докл. VI Всесоюз. Совещ. – Таллин: РИСО АН ЭССР, 1983. – Т.2. – С. 9–12.

Михеева, Т.М. Отношение численности к биомассе фитопланктона как возможный показатель эвтрофирования вод / Т.М. Михеева // Антропогенное эвтрофирование природных вод: Материалы III Всесоюз. Симпоз.. – Черноголовка: ОИХФ АН СССР, 1983. – С. 69–72.

Модина, Т.Д. Фены и климат Горного Алтая / Т.Д. Модина. – Томск: Изд. ТГУ, 1981. – С. 78–81.

Модина, Т.Д. Фены и климат Алтая / Т.Д. Модина, М.Г. Сухова, В.Г. Сухов // Сб. День Земли научные и педагогические проблемы. – Бийск, 1995. – 37 с.

Моисеенко, Т.И. Оценка биопродуктивности водоемов с помощью ГИС / Т.И. Моисеенко, М.В. Гапеева, А.В. Рогов. [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://zhurnal.ape.relarn.ru/articles/2006/114.pdf>.

Мусатов, А.П. Оценка параметров экосистем внутренних водоемов / А.П. Мусатов. – М. : Научный мир, 2001. – 192 с.

Науменко, М.А. Озеро Ильмень: определение морфометрических характеристик на основе цифровой модели / М.А. Науменко, С.Г. Каретников, В.В. Гузиватый, А.М. Крючков, Ш.Р. Поздняков // Водные ресурсы. – 2015. – Т. 42. – № 5. – С. 467–475.

Неверова-Дзиопак, Е.В. Об экологической безопасности водных объектов / Е.В. Неверова-Дзиопак, Л.И. Цветкова, С.В. Макарова, А.В. Киселев // Современные проблемы науки и образования. [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://science-education.ru/ru/article/view?id=6303>.

Нестеренко, Ю.М. Влияние рельефа на сток поверхностных и подземных вод на Южном Урале / Ю.М. Нестеренко // Бюллетень Оренбургского научного центра УрО РАН. – 2017. – 4. – 9 с. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://elmag.uran.ru:9673/magazine/Numbers/2017-4/Articles/YMN-2017-4.pdf>.

Неуймин, Г.Г. Некоторые результаты оптических исследований в северной части Атлантического океана / Г.Г. Неуймин, Н.А. Сорокина, А.Н. Парамонов, В.Н. Прошин // Труды Морского гидрофизического института АН СССР. – 1964. – Т. 29. – С. 32–39.

Николаев, В.А. Ландшафты азиатских степей / В.А. Николаев. – М. : Изд-во МГУ, 1999. – 288 с.

Озеро Большое Островное в Мамонтовском районе. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://posibiri.ru/ozero-bolshoe-ostrovnoe-v-mamontovskom-rajone/>.

Официальный сайт Алтайского края. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.altairegion22.ru/territory/info/>.

Оксиюк, О.П. Комплексная экологическая классификация качества поверхностных вод суши / О.П. Оксиюк, В.Н. Жукинский, Л.П. Брагинский // Гидробиологический журнал. –1993. –Т. 29. – № 4. – С. 62–76.

Олишевская, Ю.А. Методика геоэкологического районирования территории Украины : дис. ... канд. географ. наук : 11.00.11 / Олишевская Юлия Анатольевна – Киев, 2004. – 170 с.

Осипов, А.Г. Интегральная оценка устойчивости ландшафтов при создании сельскохозяйственных угодий природно-аграрных систем / А.Г. Осипов // Вестник С.-Петербур. ун-та. – СПб. : Изд-во Санкт-Петербургского университета, 2016. – Вып. 3 (7). – С. 150–162.

Отто, О.В. Оценка антропогенной нагрузки на водные объекты Алтайского края / О.В. Отто, О.А. Оточкина // География и природопользование Сибири. – Барнаул, 2016. – Вып. 21. – С. 125–135.

Панов, Д.В. Совершенствование информационного обеспечения мониторинга городских земель на основе учета особенностей рельефа : автореферат дис. ... канд. техн. наук : 25.00.26 / Панов Дмитрий Владимирович – Новосибирск, 2014. – 24 с.

Петров, К.М. Геоэкология : учебное пособие / К.М. Петров. – СПб. : СПбГУ, 2004. – 274 с.

Петрова, Н.А. Сукцессия фитопланктона при антропогенном эвтрофировании больших озёр / Н.А. Петрова. – М. : Наука, 1990. – 200 с.

Пианка, Э.Э. Эволюционная экология (пер. с англ. А. М. Гилярова, В. Ф. Матвеева) / Э.Э. Пианка. – М. : Мир, 1981. – 399 с.

Постановлением АКЗС № 169 и Федеральным Законом «Об объектах культурного наследия (памятниках истории и культуры) народов Российской Федерации» от 25.06.2002 г. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_37318/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_37318/).

Постникова, П.В. Оценка Экологического состояния водоемов Алтайского края с применением гидрооптических методов и биотестирования / П.В. Постникова, В.С. Филимонов, С.Е. Медведева // Вода: химия и экология. – 2016. – № 4. – С. 56–63.

Бурлакова, Л. М. Почвы Алтайского края: учебное пособие / Л. М. Бурлакова, Л. М. Татаринцев, В. А. Рассыпнов // Алт. с.-х. ин-т. – Барнаул : Алт. СХИ, 1988. – 69 с.

Прошина, Н.Н. Озера и болота Бие-Чумышской лесостепи / Н.Н. Прошина // Изв. Алт. Отд. ГО СССР. – 1967. – Вып. 8. – С. 100–102.

Пузанов, А.В. Современное состояние, экологические проблемы и перспективы изучения Телецкого озера (Республика Алтай) / А.В. Пузанов, Д.М. Безматерных, Ю.И. Винокуров, В.В. Кириллов, А.Т. Зиновьев // Озера Евразии: проблемы и пути их решения. Материалы 1-й Международной конференции (11–15 сентября 2017 г.). – Петрозаводск : Карельский научный центр РАН, 2017. – 648 с.

Пушистов, П.Ю. Информационно-вычислительные комплексы водных объектов бассейна Оби. Ч. 1: ИВК «Северная Сосьва». Ч. 2: ИВК «Телецкое озеро» / П.Ю. Пушистов, В.Н. Данчев. – Saarbrücken : LAP Lambert Academic Publishing, 2013. – 160 с.

Проектная документация на электроснабжение туристической базы «Самыш» в Турочакском районе Республики Алтай. Раздел 7 «Перечень мероприятий по охране окружающей среды». – ИВЭП СО РАН, 2013. – 63 с.

Республика Алтай. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://altai-republic.ru/about-the-region/geographical-position/>.

Расулова, М.М. Содержание хлорофилла –а в озерах Приморской низменности Дагестана и их трофический статус / М.М. Расулова, А.А. Гаджиева, А.А. Радабанова // Юг России: экология, развитие. – М. : Каметрон, 2012. – С. 100–102.

РД 52.24.620-2000. Методические указания. Охрана природы. Гидросфера. Организация и функционирование подсистемы мониторинга антропогенного

эвтрофирования пресноводных экосистем / Федеральная служба России по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. – СПб.: Гидрометеиздат, 2001.

Ревякин, В.С. Горный Алтай / В.С. Ревякин. – Томск: Издательство Томского Университета, 1971. – 252 с.

Ревякин, В.С. Снежный покров Алтае-Саянской области / В.С. Ревякин и др. // М. : МГИ.– 1979. – Вып. 35. – С. 109–120.

Ревякин, В.С. Горноледниковые бассейны Алтая / В.С. Ревякин, В.П. Галахов, В.П. Голещихин. – Томск: Изд-во ТГУ, 1979. – 308 с.

Ревякин, В.С. Снежный покров и лавины Алтая / В.С. Ревякин, В.И. Кравцова. – Томск : Изд-во ТГУ, 1977. – 216 с.

Ревякин, В.С. Полюс снежности Алтая / В.С. Ревякин, В.И. Попов // Известия ВГО. – 1976. –Т. 108. – Вып. 6. – С. 550–554.

Ревякина, Н.В. Атлас-определитель растений окрестностей озера Красилово / Н.В. Ревякина, Т.В. Антюфеева, Ю.В. Козырева // Федер. агентство по образованию РФ, Алт. гос. ун-т, Геогр. фак. – Барнаул: Изд-во АГУ, 2005. – 95 с.

Реймерс, Н.Ф. Природопользование: словарь-справочник / Н.Ф. Реймерс. – М : Мысль, 1990. – 640 с.

Республика Алтай. 2GIS. [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://2gis.ru/gornoaltaysk?m=87.251434%2C51.786648%2F15.69>.

Розенберг, Г.В. Луч света (К теории светового поля) / Г.В. Розенберг // УФН. – 1977. – Т. 121.1. – Вып. 1. – С. 97– 138.

Россолимо, Л. Л. Типология озер / Л. Л. Россолимо. М. : Наука, 1967. – 174 с.

Россолимо, Л.Л. Озерное накопление органического вещества и возможности его типизации / Л.Л. Россолимо // Типология озерного накопления органического вещества. – М. : Наука, 1976. – С. 3–10.

Россолимо, Л.Л. Изменение лимнических экосистем под воздействием антропогенного фактора / Л.Л. Россолимо. – М. : Наука, 1977. – 143 с.

Рудой, А.Н. Новые данные о возрасте ледниковых и озерных отложений в бассейне Телецкого озера / А.Н. Рудой // Изв. РГО. 2013. – Т. 145. – Вып. 1. – С. 36–41.

Рыбкина, И.Д. Оценка антропогенной нагрузки на водосборную территорию Верхней и Средней Оби / И.Д. Рыбкина // Мир науки, культуры и образования. – 2010. – № 6 (25). – Ч. 2. – С. 295–299.

Рыбкина, И.Д. Методика зонирования территории речного бассейна по совокупной антропогенной нагрузке (на примере Обь-Иртышского бассейна) / И.Д. Рыбкина, Н.В. Стоящева, Н.Ю. Курепина // Водное хозяйство России. – 2011. – №4. – С. 42–52.

Гидрооптические параметры водоёма Западной Сибири : Свидетельство о государственной регистрации базы данных 2018621910 Рос. Федерации. №2018621374 : заявл. 04.10.18; опубл. 03.12.18. 6 с.

Севастьянова, Л.М. Фены Горного Алтая : автореф. дис. ... канд. географ. наук : 11.00.09 / Севастьянова Людмила Михайловна. – М. , 1991. – 23 с.

Селегей, В.В. Телецкое озеро: очерки истории: в 3 кн. / В.В. Селегей – Барнаул: Пять плюс, 2011. – Кн. 3. – 244 с.

Селегей, В.В. Телецкое озеро / В.В. Селегей, Т.С. Селегей. – М. : Гидрометеиздат, 1978. – 142 с.

Селиверстов, Ю.П. Эколого-географическая оценка: понятия и проблемы / Ю.П. Селиверстов // Проблемы эколого-географической оценки состояния природной среды. – СПб. : Изд-во РГО, 1994. – С. 518.

Семёнов, Ю.М. Ландшафтно-экологический подход к выявлению закономерностей распределения загрязнителей в бассейне оз. Байкал / Ю.М. Семёнов, М.Ю. Семёнов, В.А. Снытко, А.В. Силаев // География и природные ресурсы. – 2019. – № 2. – С. 69–76.

Сиренко, Л. А. Биологически активные вещества водорослей и качество воды / Л. А. Сиренко, В. Н. Козицкая. – Киев: Наук. думка, 1988. – 256 с.

Смирнов, Н.П. Геоэкология: учебное пособие / Н.П. Смирнов. – СПб. : Изд-во РГГМУ, 2006. – 307 с.

Способ определения трофического уровня пресноводного водоема : пат. 2695154 Рос. Федерация. №2018134895 : заявл. 02.10.18 : опубл. 22.07.19, Бюл. № 21. 7 с.

Способ определения уровней геоэкологического состояния пресноводного водоема с использованием оптического индекса геоэкологического состояния ОИГС : пат. 2750141 Рос. Федерация. №2020140847 : заявк. 10.12.20 : опубл. 22.06.21, Бюл. № 18. 12 с.

Суторихин, И.А. Климатические условия и гидрооптические характеристики пресноводных озёр Алтайского края / И.А. Суторихин, В.И. Букатый, Н.Ф. Харламова, О.Б. Акулова; отв. ред. В.Н. Седалищев; Рос. акад. наук, Сиб. отд-ние, Ин-т вод. и экол. проблем; М-во образования и науки РФ, Алт. гос. ун-т. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2016. – 162 с.

Суторихин, И.А. Изменение спектральной подводной освещенность пресноводных озер по глубине / И.А. Суторихин, А.А. Коломейцев, И.М. Фроленков // Тезисы докладов XXV Международного симпозиума. Томск 1-5 июля 2019. – Томск : Изд-во ИОА СО РАН, 2019. – С. 57.

Суторихин, И.А. Определение трофического статуса пресноводных озёр Алтайского края в период 2013–2016 гг. по гидрооптическим характеристикам / И.А. Суторихин, О.Б. Акулова, В.И. Букатый, И.М. Фроленков // Известия АлтГУ. – 2017. – №1/1. – С. 58–61.

Суторихин, И.А. Сезонные изменения спектральной прозрачности и концентрации хлорофилла в пойменном озере Алтайского края / И.А. Суторихин, В.И. Букатый, О.Б. Акулова // Аэрозоли Сибири, XIX Рабочая группа: тезисы докладов. – Томск, 2012. – 80 с.

Суторихин, И.А. Сезонная изменчивость спектрального показателя ослабления света в озере Красиловское в 2012–2014 гг. / И.А. Суторихин, В.И. Букатый, О.Б. Акулова, У.И. Залаева // Изв. АлтГУ. – 2014. – № 1/2 (81). – С. 228–233.

Суторихин, И.А. Влияние водной взвеси на суточный ход спектральной прозрачности озерной воды / И.А. Суторихин, В.И. Букатый, О.М. Фроленков, И.М. Фроленков // Ползуновский Альманах. –2016. – № 2. – С. 108–111.

Суторихин, И.А. Измерение концентрации хлорофилла "а" в разнотипных озерах Алтайского края / И.А. Суторихин, В.И. Букатый, О.М. Фроленков, И.М. Фроленков // Измерение, контроль, информатизация: материалы XVI международной научно-технической конференции. – Т. 2. – Барнаул : Изд-во АлтГТУ, 2015. – С. 76–80.

Суторихин, И.А. Концентрация хлорофилла "а" в разнотипных озерах Алтайского края в 2012-2015 гг. / И.А. Суторихин, В.И. Букатый, О.М. Фроленков, И.М. Фроленков // Ползуновский вестник. – Барнаул, 2015. – № 4. – Т.1. – С. 99–101.

Суторихин, И.А. Изменение концентрации хлорофилла и спектральной прозрачности воды на различных глубинах акватории Телецкого озера / И.А. Суторихин, И.М. Фроленков // Ползуновский Альманах. – Барнаул, 2016. – №2. – С. 96–101.

Суторихин, И.А. Оценка трофического статуса Телецкого озера по данным гидрооптических измерений в видимом диапазоне / И.А. Суторихин, И.М. Фроленков // Известия АлтГУ. – Барнаул, 2017. – №4(88). – С. 67–71.

Суторихин, И.А. Пространственный анализ изменения спектрального показателя ослабления света в поверхностном слое воды Телецкого озера в период летнего прогрева / И.А. Суторихин, И.М. Фроленков // Естественные и технические науки. – 2018. – №11. – С. 221–224.

Суторихин, И.А. Спектральная прозрачность воды Телецкого озера в летний период 2015-2016 гг. / И.А. Суторихин, И.М. Фроленков // Труды IX Всероссийской конференции «Современные проблемы оптики естественных вод». – 2017. – С. 16–19.

Суторихин, И.А. Спектральная прозрачность поверхностного слоя воды Телецкого озера в летний период 2015-2016 гг. / И.А. Суторихин,

И.М. Фроленков // Шаг в науку: материалы XVII конференции молодых ученых ИВЭП СО РАН (7 февр. 2017г.). – Барнаул, 2017. – С. 146–154.

Суторихин, И.А. Гидрооптические параметры Телецкого озера в оценке его геоэкологического состояния / И.А. Суторихин, И.М. Фроленков, А.А. Коломейцев, С.А. Литвиненко // II Международная конференция «озера Евразии: проблемы и пути их решения» Казань, 19 – 24 мая 2019 г. – Екатеринбург, 2019. – С. 328–333.

Суторихин, И.А. Спектральная прозрачность воды на различных глубинах акватории Телецкого озера / И.А. Суторихин, И.М. Фроленков, М.Е. Литвих // Естественные и технические науки. – 2016. – №11(101). – С. 110–113.

Суторихин, И.А. Спектральная прозрачность воды Телецкого озера / И.А. Суторихин, И.М. Фроленков, У.И. Янковская под ред. Л.И. Сучковой // Измерение, контроль, информатизация: материалы XVII международной научно-практической конференции. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2016. – С. 189–194.

Сухоруков, Б.Л. Оценка трофности водных объектов по данным дистанционной спектроскопии высокого разрешения видимого диапазона / Б.Л. Сухоруков, Т.Е. Ковалева, И.В. Новиков // Водные ресурсы. – М. : Наука, 2017. – Т. 44. – № 1. – С. 79–90.

Трофимов, В.Т. Парадоксы современной геоэкологии / В.Т. Трофимов // Вестник МГУ. Сер. 4. Геология. – 2009. – № 4. – С. 3–13.

Терентьева, И.А. Оценка трофического статуса субарктического озера Имандра / И.А. Терентьева, Н.А. Кашулин, Д.Б. Денисов // Вестник МГТУ. – 2017. – Т. 20. – № 1/2. – С. 197–204.

Тимофеева, В.А. К изучению поляризационных характеристик светового поля в мутных средах / В.А. Тимофеева // ДАН СССР. – 1961. – Т. 140. – № 2. – С. 361–363.

Фруммин, Г.Т. Динамика трофического состояния озера Тайху / Г.Т. Фруммин, Хуан Жань-Жань // Ученые записки РГГМУ. – 2011. – №21. – С. 32–37.

Тимченко, В.М. Экологическая гидрология водоёмов Украины / В.М. Тимченко. – Киев : Наукова Думка. – 2006. – 384 с.

Ирисова, Н. Л. Фауна птиц окрестностей оз. Красилово (Алтайский край) и ее изменение за 20-летний период конца XX - начала XXI века / Н. Л. Ирисова и др. // Актуальные вопросы изучения птиц Сибири : материалы Сиб. орнитол. конф., посвящ. памяти и 75-летию Э.А. Ирисова. – Барнаул, 2010. – С. 131–141.

Физико-географическая и геологическая характеристика Телецкого озера / под ред. В. Селегея, Б. Дехандсхюттера, Я. Клеркса, Е. Высоцкого. – Тервюрен (Бельгия), 2001. – Т. 105. – 310 с.

Филимонов, В.С. Оптические характеристики поверхностных и подземных вод / В.С. Филимонов, А.Д. Апонасенко, В.Н. Лопатин, В.В. Шестаков // Материалы научных исследований «Ядерные испытания, окружающая среда и здоровье населения Алтайского края». – Барнаул, 1993. – Т. II. Книга 2– С. 63–79.

Франк, Н.А. Некоторые результаты гидрооптических и гидробиологических исследований южной и средней части озера Байкал / Н.А. Франк, Л.А. Щур, А.Д. Апонасенко // Тезисы докладов Второго семинара молодых учёных и специалистов по рациональному использованию и охране природных ресурсов Сибири «Продуктивность экосистем, охрана водных ресурсов и атмосферы». – Красноярск, 1975. – С. 28–30.

Фроленков, И.М. Оценка трофического состояния пресноводных озёр по гидрооптическим характеристикам / И.М. Фроленков, О.М. Фроленков, И.А. Суторихин // Шаг в науку : материалы XVI конф. молодых ученых ИВЭП СО РАН (10 февр. 2016 г.). – Барнаул, 2016. – С. 85–92.

Фроленков, И.М. Гидрооптический метод оценки геоэкологического состояния пресноводных водоемов / И.М. Фроленков, И.А. Суторихин // Тезисы докладов XXI научной онлайн-конференции молодых ученых «Водные и экологические исследования в Западной Сибири» (4 февраля 2021г.). – Барнаул, 2021. – С.29.

Хендерсон, С.Б. Умиряющие озёра. Причины и контроль антропогенного эвтрофирования / С.Б. Хендерсон, Х.Р. Марклэнд. – Л. : Гидрометеиздат, – 1990. – 279 с.

Хрисанов, Н.И. Управление эвтрофированием водоемов / Н.И. Хрисанов, Г.К. Осипов. – СПб. : Гидрометеиздат. –1993. – 278 с.

Хуан, Ж.-Ж. Геоэкологическая оценка трофического статуса пресноводных озер Китая : дис. ... канд. геогр. наук : 25.00.36 / Жань-Жань Хуан. – Санкт-Петербург, 2014. –149 с.

Чибилев, А.А. Бассейн Урала: история, география, экология / А.А. Чибилев. – Екатеринбург : УрО РАН, – 2008. – 312 с.

Чигарки, А.В. Геоэкология и охрана природы Казахстана: Учебное пособие для студентов экологических и географических специальностей университетов / А.В. Чигаркин. – Алматы : Казак университеті. – 2003. – 338 с.

Шварц, С.С. Теоретические основы глобального экологического прогнозирования / С.С. Шварц // Всесторонний анализ окружающей природной среды. Труды II Советско-американского симпозиума. – Л. : Гидрометеиздат, 1976. – С. 181–191.

Шевченко, Г.А. Геоэкологическое состояние акватории и прибрежной зоны Телецкого озера: Горный Алтай : дис. ... канд. геол.-мин. наук : 25.00.36 / Шевченко Геннадий Александрович – Томск, – 2010. – 149 с.

Шифрин, К.С. Введение в оптику океана / К.С. Шифрин. – М. : Гидрометеиздат, 1983. – 280 с.

Шулькин, В.М. Изменчивость химического состава речных вод Приморья как индикатор антропогенной нагрузки и ландшафтной структуры водосборов / В.М. Шулькин // Вестн. ДВО РАН. – 2009. – № 4. – С. 103–114.

Шифрин, К.С. Рассеяние света в мутной среде / К.С. Шифрин. –Л. : ГИТТЛ, 1951. – 288 с.

Экодело [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://ecodelo.org/8496-teletskoe\\_ozero\\_problemy\\_turizma](https://ecodelo.org/8496-teletskoe_ozero_problemy_turizma).

Романенко, В.Д. Экологическая оценка воздействия гидротехнического строительства на водные объекты / В.Д. Романенко, О.П. Оксюк, В.Н. Жукинский, Ф.В. Стольберг, В.И. Лаврик // Ин-т гидробиологии АН УССР. – Киев : Наук. думка, 1990. – 256 с.

Экологический клуб. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://ecoclub.nsu.ru>.

Энциклопедия Алтайского края: В двух томах. – Барнаул: Алт. кн. изд-во, 1995. – Т. 1. – 368 с., ил., карты, схемы.

Яковенко, Н.В. Геоэкологический подход в сохранении и использовании водных ресурсов в вододефицитном регионе / Н.В. Яковенко, И.Н. Алферов. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.science-education.ru/120-16665>.

Яковенко, Н.В. Качество питьевой воды в Ивановской области: проблемы и оптимизация системы водообеспечения / Н.В. Яковенко, Е.П. Туркина // Современные исследования социальных проблем (электронный научный журнал) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.sisp.nkras.ru> <http://sisp.nkras.ru/issues/2012/1/yakovenko.pdf>.

Alm, G. Limnologisch-fischereiliche Untersuchungen in dem Kälarne-Seen / G. Alm // Inst. Freshwater Res. Rep., Lund. – 1960. – № 41. – P. 5–148.

Arst, H. Optical properties of boreal lake waters in Finland and Estonia / H. Arst, A. Erm, A. Herlevi, T. Kutser, M. Lepparanta, A. Reinart, J. Virta // Boreal Environment Research 13. – 2008. – P. 133–158.

Boronina, L. Effectiveness of the automation selection of water treatment technology in a particular water source / L. Boronina, P. Sadchikov, S. Tazhieva et al. // Advanced Materials Research. – 2014. – Vols. 1073–1076. – P. 1039–1042.

Boyce, P.R. Is equivalent sphere illuminance the future? / P.R. Boyce // Lighting and Technology. – 1978. – V.10. – №4. – P. 179–183.

Carlson, R.E. A trophic state index for lakes / R.E. Carlson // Limnol. Oceanogr. – 1977. – V. 22, – № 2. – P. 361–369.

David, M. Livingstone. Ice break-up on southern Lake Baikal and its relationship to local and regional air temperatures in Siberia and to the North Atlantic Oscillation / M. David // Limnology and oceanography. – 1999. – Vol 44. – Is. 6. – P. 1486–1497.

Dontsov, A.A. Geographic information system for bloom monitoring inland water bodies / A.A. Dontsov, I.A. Sutorikhin, I.M. Frolenkov // *Limnology and Freshwater Biology*. – 2020. – Vol. 4 (SI: 7VBC). – P. 914–915.

Duntley, S.Q. Light in the sea / S.Q. Duntley // *J. Opt. Soc. Amer.* – 1963. – V. 53. – № 2. – P. 214–233.

Falkner, K.K. The major and minor element geochemistry of Lake Baikal / K.K. Falkner, C.I. Measures, S.E. Herbelin, J.M. Edmond, R.F. Weiss // *Limnology and Oceanography*. – 1991. – № 36(3). – P. 413–423.

Ficek, D. Remote sensing reflectance of Pomeranian Lakes (northern Poland) / D. Ficek, T. Zapadka, J. Dera // *Proceedings of VI International Conference «Current problems in optics of natural waters»*. – St.-Petersburg, September 6–9, – 2011. – P. 163–167.

Forsberg, A. Algal assay studies of polluted lakes / A. Forsberg, A. Clacsson // *Arch. Hydrobiol.* – 1980. – T. 89. – P. 208–224.

Goldberg, E.L. Application of synchrotron X-ray fluorescent analysis to studies of the records of paleoclimates of Eurasia stored in the sediments of Lake Baikal and Lake Teletskoye / E.L. Goldberg, M.A. Gracheva, M.A. Phedorina, A. Kalugina, O.M. Khlystova, S.N. Mezentseva, I.N. Azarova, S.S. Vorobyeva, T.O. Zheleznyakova, G.N. Kulipanova, V.I. Kondratyev, E.G. Miginsky, V.M. Tsukanov, K.V. Zolotarev, V.A. Trunov, Yu.P. Kolmogorov, V.A. Bobrov // *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment*. – 2001. – Vol. 470. – Is. 1–2. – P. 388–395.

Google Earth. [Электронный ресурс] / URL: <https://www.google.com/earth/>.

Hakanson, L. Use of ecometric analysis to establish load diagrams for nutrients in coastal areas / L. Hakanson, M. Wallin // *Nord.* – 1991. – T. 22. – P. 9–23.

Hampton, S.E. Sixty years of environmental change in the world's largest freshwater lake—Lake Baikal, Siberia / S.E. Hampton, L.R. Izmet'eva, M.V. Moore, S.L. Katz, B. Dennis, E.A. Silow // *Global Change Biology*. – 2008. – № 14. – P. 1–12.

Harper, D. Eutrophication of freshwaters / D. Harper. // Principles, problems and restoration. – United Kingdom, Chapman & Hall. – 1992. – 327 p.

Huovinen, P.S. Spectral attenuation of solar ultraviolet radiation in humic lakes in Central Finland / P.S. Huovinen, H. Penttilä, M.R. Soimasuo // Chemosphere. – 2003 – P. 205–214.

Hutchinson, G.D. The prospect before us. Limnology in North America / G.D. Hutchinson // University of Wisconsin Press, Madison. – 1963. – P. 683–690.

Lonnerblad, G. Über den Sauerstoffhaushalt der dystrophen Seen / G. Lonnerblad // Lunds Univ. Arsskrift. NF avd. –1931b. – 2 bd. 27. – 14 p.

Mackay, A.W. Assessing the vulnerability of endemic diatom species in Lake Baikal to predicted future climate change: a multivariate approach / A.W. Mackay, D.B. Ryves, D.W. Morley, D.H. Jewson, P. Rioual // Global Change Biology. – 2006. – N 12. – S. 2297–2315.

Membrillo-Abad, A.-S. Trophic State Index estimation from remote sensing of lake Chapala, México / A.-S. Membrillo-Abad, M.-A. Torres-Vera, J. Alcocer, R.Ma. Prol-Ledesma, L.A. Oseguera, J.R. Ruiz-Armenta // Revista Mexican de ciencias geológicas. – 2016. – Vol. 33. – № 2. – P. 183–191.

Platt, T. Biological production of the oceans: the case for a consensus / T. Platt, W.G. Harrison, M.R. Lewis, W.K.W. Li, S. Sathyendranath, R.E. Smith, A.F. Vezina // Marine Ecology Progress Series. Inter-Research. – 1989. – P. 77–88.

Platt, T. Photo-inhibition of photosynthesis in natural assemblages of marine phytoplankton / T. Platt, C.L. Gallegos, W.G. Harrison // J. Mar. – 1980. – Res. 38. – P. 687–701.

Richardson, T.L. Temperature, growth and seasonal succession of phytoplankton in Lake Baikal, Siberia / T.L. Richardson, C.E. Gibson, S.I. Heaney. – 2000. – Vol. 44. – Issue 3. – P. 431–440.

Shindler, D.W. Liquid scintillation technique. In: Vollenweider R.A. Methods of measuring primary production in aquatic environments / D.W. Shindler, I. Moore, R.A. Vollenweider. – Backwell, Oxford. – P. 76–79.

Sutorikhin, I.A. Hydro-optical method for assessing geocological state of reservoirs / I.A. Sutorikhin, A.A. Kolomeitsev, S.A. Litvinenko, I.M. Frolenkov // *Limnology and Freshwater Biology* 2020. – Vol. 4 (SI:7VBC). – P. 630–631.

Todd, M.C. Large-scale climatic controls on Lake Baikal ice cover / M.C. Todd, A.W. Mackay // *Journal of Climate*. – 2003. – № 16. – P. 3186–3199.

Troll, C. Lufbinplan und ecologische Boden Forschung / C. Troll // *Zeitschrift der Gesellschaft für Erdunge zu Berlin*. –1939. – № 7–8. – 362 p.

Vinokurova, G.V Analysis of the State of Biological Communities in a Continental Water Body using Hydrooptical Characteristics / G.V. Vinokurova, I.A. Sutorikhin, A.A. Kolomeitsev, I.M. Frolenkov // *Inland Water Biology*. – 2021. – Vol. 14. – №2. – P. 159–167.

Vinokurova, G.V. Comparative analysis of ecological state of winter and summer phytoplankton in drainless mesotrophic lake (Altai krai, Russia) / G.V. Vinokurova, I.A. Sutorikhin, A.A. Kolomeitsev, I.M. Frolenkov // *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences*. – 2018. – T.9. – №5. – P. 1285–1297.

Xu, Fu-Liu. , Shu Tao, Dawson R.W., Li Beng-Gang. A GIS-based method of lake eutrophication assessment/ Fu-Liu Xu , Tao Shu, R.W. Dawson, Beng-Gang Li // *Ecological Modell*. – 2001. – Vol. 144. – P. 231–244.

## **ПРИЛОЖЕНИЯ**

## Приложение А

## Свидетельство о государственной регистрации базы данных

**РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ**



**СВИДЕТЕЛЬСТВО**  
о государственной регистрации базы данных  
**№ 2018621910**

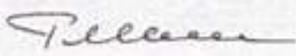
**Гидрооптические параметры водоёмов Западной Сибири**

Правообладатель: *Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт водных и экологических проблем Сибирского отделения Российской академии наук (ИВЭП СО РАН) (RU)*

Авторы: *Суторихин Игорь Анатольевич (RU), Донцов Александр Андреевич (RU), Коломейцев Андрей Алексеевич (RU), Литвиненко Светлана Александровна (RU), Фроленков Игорь Михайлович (RU)*

Заявка № **2018621374**  
Дата поступления **04 октября 2018 г.**  
Дата государственной регистрации  
в Реестре баз данных **03 декабря 2018 г.**

*Руководитель Федеральной службы  
по интеллектуальной собственности*

 **Г.П. Наизев**



## Приложение Б

Способ определения трофического уровня пресноводного водоема



## Приложение В

## Способ определения уровней геологического состояния пресноводного водоема с использованием оптического индекса геологического состояния ОИГС

