

## **ОТЗЫВ**

официального оппонента  
доктора географических наук Ходжер Тамары Викторовны  
на диссертационную работу Фроленкова Игоря Михайловича

«Оценка геоэкологического состояния пресноводных озер Алтайского региона с использованием гидрооптических характеристик» представленную на соискание кандидата географических наук по специальности 1.6.21 – Геоэкология (географические науки).

### **Актуальность диссертационного исследования**

Алтайский край – один из крупнейших сельскохозяйственных регионов в Сибирском федеральном округе и Российской Федерации, крупнейший производитель зерна, а также входит в число российских субъектов - лидеров по развитию животноводческой отрасли. Для успешной работы растениеводства применяются различные минеральные и органические удобрения, поставляющие в почву и поверхностные воды биогенные вещества - азот, фосфор. Источником поступления этих веществ в воды региона является и смыв с животноводческих ферм. Территория региона характеризуется, высоким туристско-рекреационным потенциалом. Здесь находится Телецкое озеро – уникальный водоем, являющийся объектом Всемирного природного наследия ЮНЕСКО, который ежегодно посещают тысячи туристов. Кроме него, на Алтае расположено еще около 13 тыс. озёр, которые содержат большие запасы пресной воды и рыбы, являются источником водоснабжения, используются в различных отраслях хозяйства и в рекреационных целях.

За последние годы вследствие возрастающего антропогенного воздействия в регионе произошло снижение качества воды в озерах, снизилось биоразнообразие, началось заболачивание в прибрежной зоне. Поэтому в настоящее время большую актуальность приобрели вопросы по оценке состояния и устойчивости водных экосистем, в том числе, различных типов озер в этом большом крае, что связано как с решением задач диагностики и прогноза состояния водных объектов, так и с развитием методов и средств экологического нормирования.

Чтобы определить геоэкологическое состояние водоема, необходимо выявить его трофический уровень. Оценка трофического уровня водоема осуществляется с учетом биологических, физических и химических характеристик, а также показателей функционирования экосистемы. Для его определения традиционно используются такие показатели, как биомасса фитопланктона, прозрачность по белому диску Секки, концентрация хлорофилла «а», содержание общего фосфора, азота и др., требующих специальных и, в большинстве своем, немалых финансовых затрат, оборудования, персонала, длительных по времени обработки полученных данных. В связи с этим возрастает значение других, интегральных показателей определения геоэкологического состояния водоемов, их пространственно-временной изменчивости, включающих информацию по их трофическому уровню. Выявление геоиндикаторов, позволяющих оперативно оценивать экологическое состояние различных водных экосистем, ранжировать уровни воздействия антропогенной деятельности и природных условий на водосборе и в водоеме, становится актуальной задачей фундаментальной и прикладной геоэкологии.

Данная работа направлена на решение этой актуальной задачи – разработку и применение новых геоиндикаторов с целью определения геоэкологического состояния различных типов водоемов. Геоэкологическая оценка состояния водных объектов с применением новых геоиндикаторов, способная служить основой для проведения оперативного мониторинга, проведена автором с помощью гидрооптических параметров и разработанного оптического индекса геоэкологического состояния (ОИГС).

Диссертация, общим объемом 123 страницы, состоит из введения, четырех глав, заключения, включает 11 таблиц, 36 рисунков, 3 приложения, списка литературы из 252 наименований, из которых 31 источник на иностранном языке.

**Цель исследования** – 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** стали разнотипные пресноводные озёра Алтайского края и Республики Алтай.

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

**В работе поставлены и решены 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.

**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 озёр, 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.

**Научная новизна диссертационной работы** состоит в разработке и апробировании экспресс-метода определения геоэкологического состояния разнотипных пресноводных озёр по гидрооптическим характеристикам; определении диапазона изменения спектрального показателя ослабления света по глубинам в разные сезоны года на пяти озерах региона: Красиловское, Большое Островное, Лапа, Иткуль, Телецкое. Соискателем предложен новый индикатор геоэкологического состояния пресноводных озёр равнинных и горных территорий – оптический индекс геоэкологического состояния – ОИГС; построены картосхемы пространственного распределения этого индикатора в озёрах разного типа, различающиеся по морфометрическим показателям, трофическому статусу. На основании построенных картосхем распределения ОИГС выявлена пространственная динамика геоэкологического состояния исследованных озёр.

**Теоретическая значимость работы** - на большом фактическом материале доказана возможность с использованием гидрооптических показателей воды и рассчитанных на их основе индексов определять геоэкологическое состояние различных типов озёр; на основе разработанного метода экспресс-оценки – ОИГС и доказанности его использования по спектральному показателю ослабления света водой при  $\varepsilon(\lambda) = 430$  нм анализировать пространственно-временную динамику и оценивать состояние пресноводных водоемов.

**Практическая значимость работы** не вызывает сомнений. Разработанные патенты по экспресс-оценке геоэкологического состояния различных типов водоемов по гидрооптическим показателям могут использоваться на водных объектах, различающихся по морфометрическим показателям и нахождению в разных климатических зонах. Материалы работы

включены в курсы подготовки специалистов в высших учебных заведениях по направлению «Экология и природопользование».

### **Обоснованность и достоверность научных положений, выводов**

Положения, выносимые на защиту, обоснованы, отражают результаты диссертационного исследования и согласуются с научной новизной. Выводы работы соответствуют поставленным задачам. Высокий уровень достоверности полученных результатов обеспечен большим объемом исходных данных: материалы, собраны автором в экспедициях 2013–2019 гг., проведена их камеральная обработка, измерена спектральная прозрачность 4731 пробы воды, определена концентрация хлорофилла «а» в 1356 пробах, концентрация общего фосфора в 532 пробах, измерена прозрачность воды по белому диску Секки (861 измерение). Все анализы выполнены по методикам ГОСТа, изучены картографические материалы и аэрокосмические снимки для составления карт. Полученные результаты проанализированы с применением современных статистических методов обработки, таких как корреляционный анализ, анализ интерполяции (ОВР) с использованием программного обеспечения ArcView и др. Результаты работы доложены и обсуждены на тринадцати областных и всероссийских конференциях. Основные положения диссертации нашли отражение в 21 публикации, 4 – в изданиях, входящих в перечень ВАК РФ, 1 – в журнале из перечня международной базы Web of Science, получено свидетельство о государственной регистрации базы данных, два патента на изобретение.

### **Краткая характеристика содержания диссертации.**

Во **введении** представлена актуальность темы, дан обзор изученности проблемы, поставлены цель и задачи исследования, сформулированы защищаемые положения, научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы. Приведены сведения о публикациях, подготовленных в рамках диссертационного исследования, показана апробация результатов на научных мероприятиях и структура диссертации.

**В первой главе** представлен литературный обзор по определению научного направления, даны основные понятия, показаны методы исследования, проведена оценка геоэкономического состояния различных водоёмов с использованием разных методических подходов. Показаны естественные и антропогенные факторы, влияющие на изменение экологического состояния водных объектов, проанализированы работы по исследованию гидрооптических характеристик в озёрных экосистемах, которые могут быть использованы как индикаторы геоэкологического состояния.

**Во второй главе** дана физико-географическая характеристика районов исследования, описан рельеф, климат, даны морфометрические характеристики пяти исследуемых озёр. Приведены картосхемы озёр с указанием станций отбора проб, фотографии с отдельными нарушениями экологического состояния водоемов, показана схема расположения объектов отходов производства и потребления на территории региона, основных источников антропогенного воздействия на водосборный бассейн оз. Телецкого. Проанализированы естественные и антропогенные факторы, влияющие на изменение геоэкологического состояния анализируемых пресноводных озёр.

**В третьей главе** показан материал и методы исследования, результаты экспериментальных данных по определению трофического уровня исследуемых озёр с помощью двух методов - индекса Карлсона и ОИГС, рассчитываемого по спектральному показателю ослабления света  $\varepsilon(\lambda)$ . Проведено сравнение результатов, полученных двумя методами на изучаемых озёрах, приведены корреляционные зависимости, которые показали статистически достоверный результат ( $r = 0,92$ ). Предложенный метод ОИГС подтвержден также экспериментом, проводимым на оз. Иткуль, приведена динамика ОИГС для всех исследуемых озёр в зависимости от глубины и сезона года. Соискатель делает заключение о том, что разработанный метод позволяет повысить точность и скорость определения геоэкологического

состояния водоема и является наиболее удобным методом для пространственного анализа пресноводных водоемов.

В **четвертой главе** представлены результаты исследования гидрооптических параметров по акватории одного из крупнейших озер Западной Сибири – Телецкого озера, второго в России после Байкала хранилища пресной воды. Определение спектрального показателя ослабления света воды проводилось во время устойчивой стратификации в летний период с 2013 по 2019 гг. по всей акватории озера на разных участках в поверхностных и глубинных зонах на длинах волн от 400 до 800 нм с шагом 30 нм, на основании которого рассчитан ОИГС. Показана существенная оптическая неоднородность воды, зависящая от многих факторов, в том числе, антропогенного. Для оценки пространственного распределения ОИГС по акватории озера использовался метод интерполяции, построены картосхемы распределения спектрального показателя ослабления света и ОИГС по акватории озера и глубинам, проведено ранжирование с разной степенью антропогенного воздействия.

На основании всего полученного материала делаются выводы, отображающие основные этапы исследования и защищаемые положения.

### **Достоинства и замечания к диссертационному исследованию.**

#### **Достоинства работы**

К достоинствам работы следует отнести большой объем проведенных полевых измерений, выполненных на озерах непосредственно соискателем, а также их обработка с применением различных современных методов статистического анализа. Одним из значимых результатов работы является разработка комплексного геоиндикатора ОИГС, с помощью которого можно оперативно оценивать геоэкологическое состояние разнотипных озер Алтайского края, ранжировать отдельные участки водоема по уровню антропогенного и природного воздействия со стороны водосбора. Это имеет важное практическое применение при проведении оперативного мониторинга

водных объектов на других территориях без больших финансовых затрат с использованием запатентованного способа определения трофического уровня пресноводного водоема. С использованием оптического индекса ОИГС появляется возможность за короткий промежуток времени отследить геоэкологическое состояние водоема и дать рекомендации природоохранным ведомствам по выявлению нарушений антропогенного или природного характера на отдельных его участках. Несомненным достоинством работы является глубокая литературная проработка вопроса об геоэкологическом состоянии пресноводных водоемов мира с помощью различных методов, анализ естественных и антропогенных факторов, влияющих на изменение их состояния.

### **Замечания к работе**

1. В первой главе, где дается обзор геоэкологического состояния пресноводных водоемов не всегда корректно цитируется используемая литература. Ссылки на цитируемую литературу приводятся в произвольной форме, в одних местах указывается только один автор и год, хотя это коллективный труд и много авторов, в других все авторы одной статьи перечислены в ссылке, хотя существуют определенные правила по цитируемой литературе. В этой же главе есть ссылки на цитируемые источники, но в списке использованных источников в конце работы, они не приведены. Например, на стр. 20 делается ссылка на работу Дж. Хатчинстона (1963), Лайкенса (1975) которых нет в списке. Особенно это повторяется там, где делаются ссылки на большой список источников в одном абзаце (стр. 23) Филатов и др, 2004, Шерстянкин и др, 1979, Таращанский, 1994 отсутствуют в списке источников, (стр. 28) цитируется Б.И. Кочуров, 1997, 1999, 2003, но ни одной из этих работ нет в списке литературы, а приведена другая работа этого автора 2002 г, которая не цитируется вообще и т.д.

2. Вторая глава работы посвящена физико-географическим характеристикам объектов исследования, выбраны 5 пресноводных озер. В данной части работы, изложение материала несистемное. Для различных озер

приводятся различные их характеристики, например, только для двух озер приведены значения минерализации. Некорректно приведена информация о морфологических характеристиках озер: площадь водного зеркала, объем воды, глубины. Например, для озеро Большое Островное (стр. 36) указаны площадь водного зеркала (19-32 м<sup>2</sup>), объем воды (17,7-44,3 м<sup>3</sup>), а в таблице №3 (стр.54) указана уже другая площадь 28,6 км<sup>2</sup>.

3. Представленные картосхемы из сервиса «Google Планета Земля» по анализируемым озерам мало информативны, особенно по станциям отбора проб для 4 озер, по которым не проставлены координаты. Нагляднее и логичнее было показать батиметрические карты, которые позволяют лучше продемонстрировать морфометрические особенности выбранных озер.

4. Таблица №3 (стр. 54) оформлена небрежно и ее стоило дополнить гидрохимическими показателями, такими как растворенный кислород, минерализация, взвешенные вещества, биогенные элементы.

5. В третьей главе необходимо было выделить отдельным разделом материал и методы исследования, в котором показать по каждому водоему, какие параметры анализировались на месте, какие в аналитическом центре, сколько сделано анализов? К сожалению, такая информация отсутствует, используемые в работе аналитические методы вод представлены фрагментарно, не показан в полной мере тот большой объем экспериментальных данных, полученных соискателем, как заявлено во введении работы.

6. Таблица 4 (стр.58) по отобраным пробам на исследованных озерах недостаточно информативна, в ней нет разъяснений по представленным цифрам, а в тексте, размещенном ниже таблице, только сказано, что пробы по 4 озерам отбирались в каждый сезон, начиная с 2013 г. В таблице 7 (стр. 64), где представлены материалы, полученные по индексу Карлсона (пигмент хлорофилла, «а», прозрачность, общий фосфор) следовало указать количество проб, выполненных анализов на основании которого рассчитано среднее их

значение, приведенное в таблице, что повысило бы значимость большого объема полученного материала.

7. На стр.63 соискатель приводит формулу для расчета оптического индекса геоэкологического состояния – ОИГС, не приводя убедительных фактов необходимости взятия натурального логарифма от спектральной характеристики ослабления света и собственно выбора длины волны 430 нм. В диссертации делается ссылка на работу Акулова 2015г., хотя в работе этого же автора 2020г. подробно представлены измеренные показатели спектральной характеристики ослабления для исследуемых озер в разные сезоны года и в диапазоне длин волн от 400 до 800 нм. Материал, полученный в диссертации, был бы убедительнее представлен при сравнительных графиках спектральной характеристики ослабления света для разных длин волн из работы Акулова О.Б., и работы соискателя. Таким образом, выбор длины волны 430 нм, как определяющую оптический индекс геоэкологического состояния водоема был бы более аргументирован.

8. На рисунках 18, 19 (стр. 69, 70) по горизонтальной шкале допущены ошибки в цифрах при обозначении ОИГС. Из мелких замечаний следует обратить внимание на терминологию, используемую в работе, особенно в части гидрологии. Так по тексту диссертационной работы встречается термин «соленость», в отношении пресных озер, и в том же предложении далее используется термин «минерализация». В работе встречаются стилистические неточности при изложении материала, ошибки в окончаниях слов, которые присутствуют и в выводах (стр. 93, второй вывод).

Вышеприведённые замечания не снижают общую положительную оценку работы Фроленкова Игоря Михайловича. Диссертационная работа представляет собой логически последовательное, завершённое научное исследование с новыми результатами и практическими рекомендациями. Диссертация написана грамотно, стиль изложения ясен и доступен, иллюстрации информативны. Автореферат соответствует содержанию диссертации.

