

**АННОТАЦИЯ РАБОТ,  
ВЫПОЛНЕННЫХ**

По государственному контракту № П 1146 от 03 июня 2010 г  
по проблеме: ««Исследования возможностей мониторинга биогеохимических  
процессов в озере Байкал методами гидрооптики»  
по направлению «Океанология»

Исполнитель: федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего профессионального образования «Иркутский  
государственный университет» (ФГБОУ ВПО «ИГУ»)  
664003, Иркутск, ул. К. Маркса, д.1.

Озеро Байкал - объект Всемирного наследия ЮНЕСКО, является сложной уникальной водной экосистемой. Водные экосистемы составляют широкий класс природных объектов с чрезвычайно разнообразными условиями существования, определяющими их естественное функционирование, от океанских систем до небольших континентальных водоёмов и водотоков. Их изучение представляет интерес, как с чисто теоретической точки зрения, для понимания принципов и механизмов их функционирования, так и с практической, связанной с проблемами качества питьевой воды, эффективности рыболовства, марикультуры, использования для рекреационных целей.

В рамках данного проекта выполнен комплекс теоретических и экспериментальных исследований, направленных на разработку новых методов и приборов для измерения оптических свойств водной среды с целью последующего использования этих результатов для организации долговременного мониторинга биогеохимических процессов в озере Байкал в непрерывном режиме. Основой для выполнения работ по проекту являлся опыт теоретических и экспериментальных исследований процессов распространения света в воде в рамках Байкальского нейтринного эксперимента. В течение 30-ти лет для долговременного мониторинга ПГХ в пределах эффективного объема Нейтринного телескопа НТ200 разработан ряд методов восходящих к идеи В.Н.Пелевина и Т.М.Прокудиной о восстановлении коэффициента поглощения света в воде по результатам измерения светового поля, создаваемого точечным изотропным источником

За прошедшие годы нами разработаны новые методы и созданы приборы, которые позволяют осуществлять долговременный мониторинг ПГХ в пределах эффективного объема Байкальского нейтринного телескопа НТ200. В частности, был создан уникальный гидрооптический комплекс ASP-15, который позволяет измерять ПГХ в 15 точках спектра. Этот научно-методический комплекс также очень удобен для отработки новых методов гидрооптических исследований и проверки других приборов. Результаты наших наблюдений свидетельствуют об исключительном богатстве и разнообразии оптической информации, особенно интересны спектры обратного рассеяния, спектры рассеяния на фиксированные углы, включая близкий к нулю угол. В некоторых случаях мы наблюдаем т.н. «аномальные» результаты измерений, так зависимость светового потока от расстояния до квазиизотропного источника света может существенно отклоняться от ожидаемой экспоненциальной. Не находит пока должного объяснения наблюдаемое «просветление» глубинных байкальских вод (уменьшение показателя поглощения света в 2 раза и более) после вспышки численности мезоциры. Однако, ASP-15 имеет и ряд недостатков: невелико число точек спектра и велика ширина полос измерения, велико время измерений,, внешняя засветка не позволяет вести измерения днем в фотической зоне озера и т.д. В рамках данного проекта разработаны новые методы и созданы приборы ВАИКАЛ-4D и ВАИКАЛ-U, которые более приспособлены для выполнения гидрооптических исследований в интересах лимнологии и океанологии. Эти приборы реализованы на основе современной элементной базы, в качестве источников света используются мощные твердотельные светоизлучающие приборы, дифракционные решетки и модуляторы. Прибор ВАИКАЛ-4D ориентирован, в первую очередь, для долговременного мониторинга ПГХ на глубинах вне фотического слоя в стационарном режиме на буйковых станциях, связанных с берегом кабельной линией связи. Прибор ВАИКАЛ-U адаптирован для измерений во всем диапазоне глубин как в стационарном, так и в зондирующем режиме. Также в рамках проекта

проведены теоретические исследования и моделирование процессов распространения света в воде с целью поиска методов решения обратной задачи – восстановления качественного и количественного состава РОВ и взвеси в байкальской воде. Для эмпирического поиска взаимных корреляций гидрооптических характеристик среды с другими абиотическими и биотическими показателями среды, а также для верификации найденных методов восстановления «примесей» в воде оптическими методами исследования выполнены, как собственными силами, так и в сотрудничестве с (EAWAG (Швейцария), ЛИН СО РАН, ИГХ СО РАН и другими организациями.

В результате выполнения данного проекта развиты новые методы и подходы для исследования гидрофизических и биогеохимических процессов в озере Байкал и их взаимных связей методами гидрооптики, разработана аппаратура и технологии для долговременного многопараметрического мониторинга абиотических и биотических компонент экосистемы озера, проведены систематизация и анализ ранее накопленных данных о гидросфере озера Байкал, получены новые наблюдательные данные об экосистеме Байкала. Безусловно, в рамках одного проекта трудно рассчитывать на полное решение поставленной задачи, но сделан важный шаг в этом направлении. Также получен большой объем данных наблюдений о гидрооптических свойствах среды, других абиотических и биотических показателях.

К важнейшим научным результатам выполнения проекта следует отнести следующее.

- Анализ, систематизация сведений и аналитический обзор о современном мировом уровне экспериментальных методов исследований оптических свойств среды в природных водоемах.
- Модель переноса светового излучения в байкальской воде и исследование влияния рассеяния и поглощения света на результаты измерений ПГХ приборами с переменной оптической базой.

- Новые методики *in situ* измерения спектральных показателей поглощения и спектрально-угловых характеристик рассеяния света в воде, а также асимметрии рассеяния приборами с переменной базой и монохроматическим источником света на основе твердотельных излучателей и дифракционной решетки.
- Новая методика измерения мало углового рассеяния света в воде с помощью гидрооптического комплекса ASP-15.
- Методики восстановления информации об оптических свойствах байкальской воды на основе данных, получаемых с помощью лазерной системы временной синхронизации Нейтринных телескопов НТ200+ и НТ1000.
- Модель процессов рассеяния света в модельных средах приближенных к характеристикам типичных байкальских гидробионтах для исследования возможностей восстановления количественного и качественного состава биотических компонентов в водной среде по данным гидрооптических наблюдений и выявления наиболее чувствительных оптических характеристик.
- Концепция, алгоритм работы, функциональные и принципиальные схемы, экспериментальный образец прибора ВАИКАЛ-4D для измерения свойств поглощения и рассеяния света в водной среде в глубинной зоне, в том числе, в стационарном режиме на притопленной буйковой станции, связанной с береговым центром донной линией связи.
- Концепция, алгоритм работы, функциональные и принципиальные схемы, лабораторный макет универсального прибора ВАИКАЛ-1U. для измерения свойств поглощения и рассеяния света в водной среде, в том числе, в условиях высокой засветки в пределах биологически активного фотического слоя озера
- Методики анализа и обработки экспериментальных данных по рассеянию и поглощению света в байкальской воде, определения

погрешности измерений с помощью приборов с переменной базой, в том числе в случаях, когда наблюдаются рекордно малые или нетипичные значения показателей поглощения и рассеяния света в воде.

- Экспериментальные данные об абсолютных значениях спектральных показателей поглощения и рассеяния света, а также индикатрисы и асимметрии рассеяния в переднюю и заднюю полусферы.
- Экспериментальные данные о сплошных спектрах рассеяния со спектральным разрешением  $\sim 1$  нм, которые свидетельствуют о высокой изменчивости этого параметра и соответственно о его высокой чувствительности к составу воды.
- Экспериментальные данные о спектрально-угловых характеристиках рассеяния на разных глубинах в диапазоне углов  $0,060 - 50$ , в видимом диапазоне спектра.
- Экспериментальные данные о биотических и абиотических характеристиках водной среды в Южном Байкале, полученные совместно с EAWAG (Швейцария), ЛИН СО РАН, НИИ биологии ИГУ
- Совместный анализ экспериментальных данных о ПГХ биотических и абиотических характеристиках водной среды в Южном Байкале с целью поиска их корреляций и взаимозависимостей, для построения методов долговременного мониторинга биогеохимических процессов в озере Байкал по гидрооптическим данным.
- Экспериментально подтвержденная модель формирования интерференционной структуры интегральных спектров рассеяния на основе результатов измерений спектров рассеяния в малый телесный угол, вблизи фиксированных углов.

Руководитель проекта,  
С.н.с. НИИПФ ФГБОУ ВПО «ИГУ»,  
к.ф.м.н.

Таращанский Б.А.