

<sup>1</sup>К.М.Жумалиев академик, <sup>2</sup>П.О.Завьялов д.г.н, профессор

<sup>1</sup>С.А.Алымкулов д.т.н., профессор

<sup>1</sup>Институт физико-технических проблем и материаловедения НАН КР

<sup>2</sup>Институт океанологии РАН

## ИССЛЕДОВАНИЕ ГИДРОФИЗИЧЕСКИХ И ГИДРОХИМИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ ОЗЕРА ИССЫК-КУЛЬ

### SUDY OF HYDROPHYSICAL AND HYDROCHEMICAL FIELDS OF LAKE ISSYK-KUL

---

**Аннотация:** В информационной статье приведено описание измерений, выполненных на озере Иссык-Куль в двух пилотных совместных кыргызско-российских экспедициях в 2014 и 2015 гг. Выполненные измерения позволили получить на новом уровне точности и пространственного разрешения данные по структуре гидрофизических и гидрохимических полей озера, а также уточнить особенности донного рельефа. Предварительные результаты демонстрируют перспективность комплексных исследований озера с использованием современных лимнологических и океанологических методов.

**Ключевые слова:** описание измерений, донный рельеф, современные методы.

**Abstract:** In the article the description of measurements fulfilled at Lake Issyk-Kul during two joint pilot Kyrgyz-Russian expeditions in 2014 and 2015 is set forth. Due to these measurements, the data on a structure of hydrophysical and hydrochemical fields of the lake were obtained at a new level of accuracy and space resolution, and peculiarities of bottom relief were specified. Preliminary results show the perspective of complex researches of the lake with using modern limnological and oceanological methods.

**Key words:** description of the measurements, bottom topography, advanced methods.

---

#### Введение

По своим размерам и глубине, степени влияния на региональный климат, социально-экономическому и историко-культурному значению озеро Иссык-Куль вполне может считаться “среднеазиатским морем”. Иссык-Куль – большое глубокое высокогорное озеро, расположенное на территории республики Кыргызстан. Озеро протянулось с запада на восток на почти 200 км, а объем его вод составляет более 1700 км<sup>3</sup>. Чтобы сделать эту цифру более наглядной, укажем, например, что это в 6 раз больше объема вод Азовского моря или немногим менее половины объема Белого моря. Озеро оказывает смягчающее воздействие на климатические характеристики Иссык-Кульской области Кыргызстана, зимние температуры здесь на 3-5°С выше, чем на остальной территории республики, а летние – примерно на столько же ниже.

Особенно велико рекреационное значение озера. Еще в СССР Иссык-Куль приобрел статус “всесоюзной здравницы”. Сейчас, когда озеро целиком принадлежит Кыргызстану, курорты Иссык-Куля ежегодно посещают более миллиона отдыхающих не только из этой республики, но и из соседних государств Средней Азии, России и дальнего зарубежья. При этом рекреационный потенциал Иссык-Куля далеко не исчерпан – уже на ближайшее десятилетие имеются планы увеличения потока туристов в несколько раз. Это предполагает развитие экономики и инфраструктуры региона, но одновременно несет в себе угрозу экологическому благополучию уникального озера, которая усугубляется и наличием в водосборном бассейне Иссык-Куля производств горнодобывающей и химической отраслей и возможностью техногенных катастроф, таких как произошедший в мае 1998 г аварийный сброс в озеро цианидов.



Рис.1. Расположение района работ (вверху) и общая схема полигона (внизу) в северной части озера Иссык-Куль.



Рис. 2. Физическая карта озера Иссык-Куль.

Экспертная оценка и прогноз экологических рисков для Иссык-Куля является сегодня весьма актуальной задачей.

Еще одна угроза состоянию природной среды региона связана с постепенным понижением уровня озера Иссык-Куль. Этот процесс, прогрессирующий уже более 100 лет со средней скоростью около 5 см в год, привел к понижению уровня более чем на 4 м с момента начала инструментальных наблюдений в 1927 г., хотя с середины 1980-х гг темпы снижения уровня замедлились. Причины высыхания связываются как с антропогенными потерями

воды в бассейне озера, так и с общей аридизацией климата в Средней Азии. Некоторые авторы указывают и на возможный вклад со стороны тектонических процессов (субдукция дна). Соотношение между антропогенными и климатическими механизмами понижения уровня является предметом дискуссии.

Озеро Иссык-Куль представляет общий научный интерес в первую очередь в связи с тем, что его отложения хранят уникальную информацию об изменениях климата континентальной Евразии в течение многих миллионов лет. Именно внутриконтинентальное располо-

жение озера вдали от океана имеет тут большое значение, поскольку палео-реконструкции, основанные на морских осадках, не всегда дают верную информацию о климате во внутренних областях материков [см., например, Molnar and England, 1990]. Иссык-Куль является одним из очень немногих водоемов суши, которые способны такую информацию предоставить. В последние годы очень активно обсуждается возможность организации глубокого бурения на Иссык-Куле на 1000-1500 м с целью получить колонки, обеспечивающие реконструкцию климата на 200-300 тысяч лет при разрешении порядка нескольких десятилетий [Oberhansli and Molnar, 2012]. Анализ таких колонок и их сопоставление с аналогичными данными океанского бурения позволил бы проследить за откликом климата во внутриконтинентальной Евразии на изменения адвекции влаги из Атлантики, а также восстановить гляциальную историю Тянь-Шаня на протяжении нескольких гляциальных циклов [Xu et al., 2010]. Перспективам научного бурения на Иссык-Куле был посвящен ряд специальных совещаний под эгидой International Continental Scientific Drilling Program [см. <http://www.icdp-online.org/home/>], собравших участников из 12 стран. Отмечалось, в частности, что для определения наиболее перспективных точек бурения и корректной интерпретации результатов эксперимента необходимо хорошо понимать особенности гидрологии Иссык-Куля и закономерности процессов переноса осадоч-

ного материала в водной массе озера. Поэтому дорогостоящим буровым операциям должны предшествовать гидрофизические и гидрохимические исследования.

Иссык-Куль занимает видное место в сотрудничестве России и Кыргызстана. Как уже отмечалось выше, на озере вблизи порта Каракол находится объект ВМФ России, деятельность которого связана с испытаниями торпедных и противолодочных вооружений. Гидрологические и метеорологические условия озера Иссык-Куль способствуют решению этих прикладных задач. Новые данные о гидрофизических и гидрохимических характеристиках озера будут представлять интерес и в этом контексте.

Совместные исследования Иссык-Куля представляют несомненный интерес и в связи с взаимодействием между гидрометеослужбами двух государств, которое существенно расширилось за последние годы. Кыргызстан является активным участником Межгосударственного совета по гидрометеорологии стран СНГ и Северо-евразийского климатического центра, ведущая роль в которых принадлежит Росгидромету. В рамках этого сотрудничества налажен обмен текущей и прогностической гидрометеорологической информацией, а также тренинги персонала.

На первом этапе, для исследования прибрежной зоны озера Иссык-Куль и оценки уровня его антропогенного загрязнения была

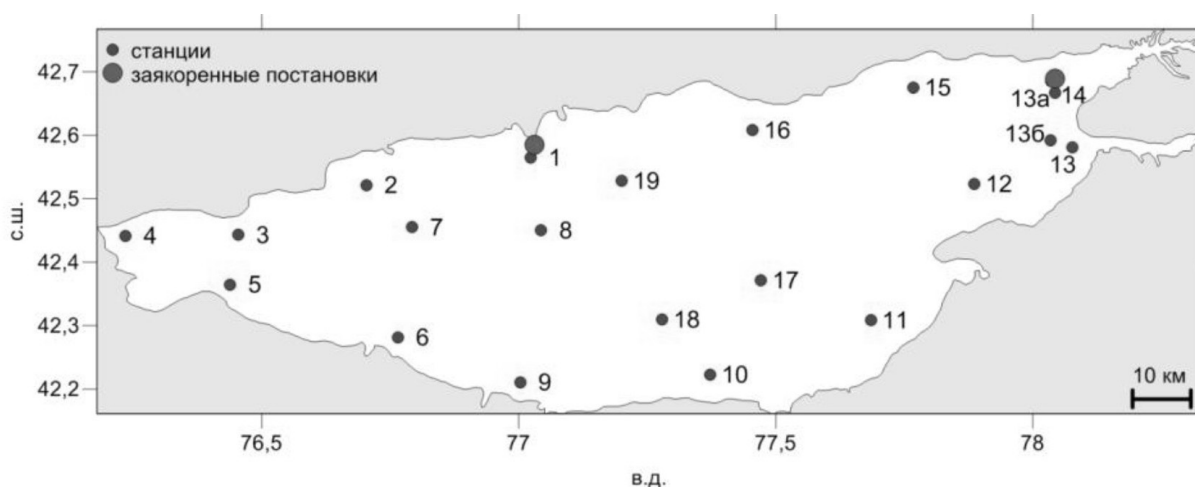


Рис. 3. Район работ, схема расположения гидрологических и заякоренных станций на полигоне.

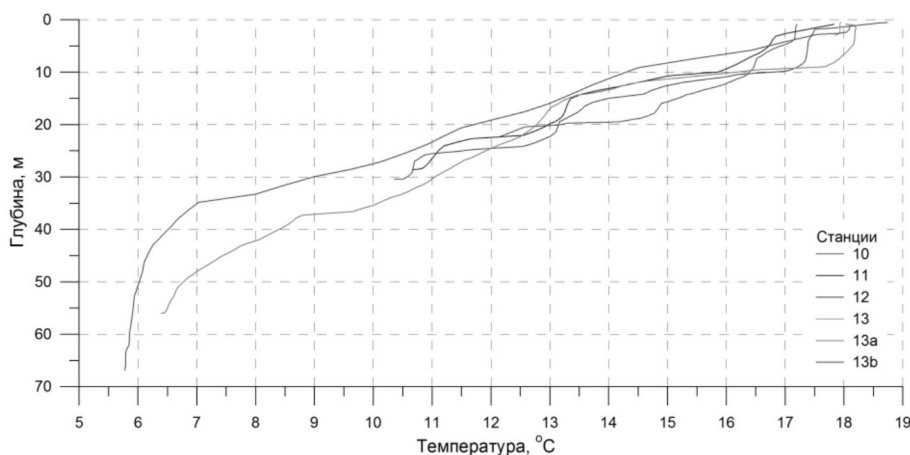


Рис. 4. Вертикальные распределения температуры на станциях 10–13б.

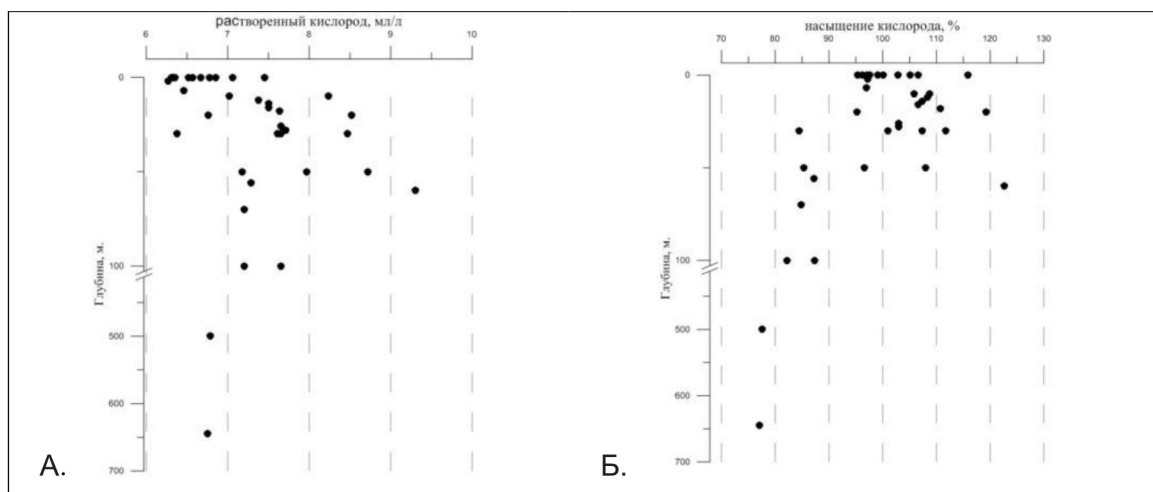


Рис. 5. Вертикальное распределение содержания растворенного кислорода (А) и степени его насыщения (Б) по результатам съемки 23 – 27 июня 2015 г.

проведена экспедиция с 10 по 13 сентября 2014 года на полигоне, расположенном в центральной части озера Иссык-Куль в районе г. Чолпон-Ата.

Измерения были организованы в форме трех однодневных выходов экспедиционного судна «Шторм» 11, 12 и 13 сентября в прибрежной зоне от с. Сары-Ой до п. Бостери (рис. 1). 11 и 13 сентября 2014 года измерения проводились на 16 станциях, расположенных вдоль берега по всему полигону. Максимальное удаление станций от берега составляло 2,5 км, минимальное – 100 м. 12 сентября измерения проводились на 20 станциях, расположенных в двух районах мелко масштабной съемки (удаление от берега от 20 м до 500 м), приуроченных к восточной части г. Чолпон-Ата

И по с. Бостери, и предположительно подверженных наибольшему антропогенному влиянию.

**Объем выполненных работ и методы исследования.** Комплексное гидрологическое изучение озера Иссык-Куль (рис. 2) проводилось в период с 23 по 27 июня 2015 г. В эти сроки был организован пятидневный рейс научно-исследовательского судна «Молтур», на борту которого проводились экспедиционные работы по исследованию гидрофизических, гидрохимических и других аспектов состояния водоема.

Измерения были проведены на равномерно покрывавших всю акваторию озера станциях, общее число которых составило 21 (рис. 3). Кроме того, измерения проводи-

лись непосредственно на переходах судна между станциями.

22 июня 2015 г. на борту НИС «Молтур» был произведен монтаж экспедиционного оборудования, были установлены и налажены основные измерительные приборы. Кроме того, в непосредственной близости от причала г. Чолпон-Ата была установлена портативная метеорологическая станция системы HeavyWeather, на которой производились непрерывные измерения основных метеорологических параметров (скорость и направление ветра, температура, влажность, атмосферное давление) с осреднением в 1 час. Станция была размещена в 10 метрах от берега озера на высоте 15 метров над уровнем воды вдали от возвышений рельефа, высоких деревьев и сооружений.

Выход НИС «Молтур» из г. Чолпон-Ата состоялся утром 23 июня. В первую очередь на глубине 14,5 м ( $42^{\circ} 35'05.8''$  с.ш.,  $77^{\circ}01'50.9''$  в.д.) была установлена заякоренная станция, оснащенная измерителем течений SeaHorse, фиксирующим скорость и направление течения в придонном слое с дискретностью 10 мин. Затем были проведены измерения на шести станциях в западной части озера (рис.3).

24 июня измерения проводились на шести станциях (7–12), расположенных в центральной части озера (7–8) и вдоль его южного берега (9–12). К вечеру судно зашло на стоянку в залив Пржевальского, г. Пристань-Пржевальск.

25 июня на глубине 17 м в районе выхода из Тюпского залива ( $42^{\circ}41'20,7''$  с.ш.,  $78^{\circ}02'34,4''$  в.д.) была установлена вторая заякоренная станция, оснащенная измерителем течений SeaHorse, фиксирующим скорость и направление течения в придонном слое с дискретностью 10 мин (рис.3). Были выполнены измерения на трех станциях в восточной части озера. Кроме того, была проведена подробная съемка полигона с использованием гидролокатора бокового обзора (ГБО).

26 июня была снята вторая заякоренная станция, общая продолжительность измерений на ней составила около 20 часов. Были выполнены измерения на шести станциях в восточной и центральной части озера, в том числе в районе наибольших глубин (ст. 18). В ночь с 26 на 27 июня была снята первая заякоренная станция, общая продолжительность измерений на ней составила около 91 часа. 27 июня также была снята метеорологическая станция, общая продолжительность измерений на ней составила около 5 суток.

Ниже приведена методика измерений, проводившихся в период научного рейса на станциях и непосредственно по ходу движения судна.

#### Гидрофизические измерения.

1) Температура, электропроводность, рН, концентрация растворенного кислорода и мутность воды измерялись вдоль курса судна в

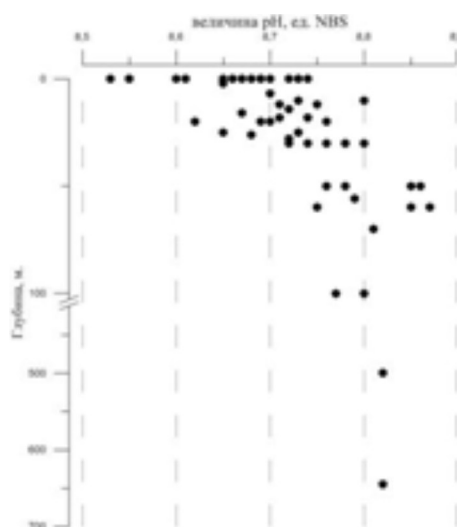
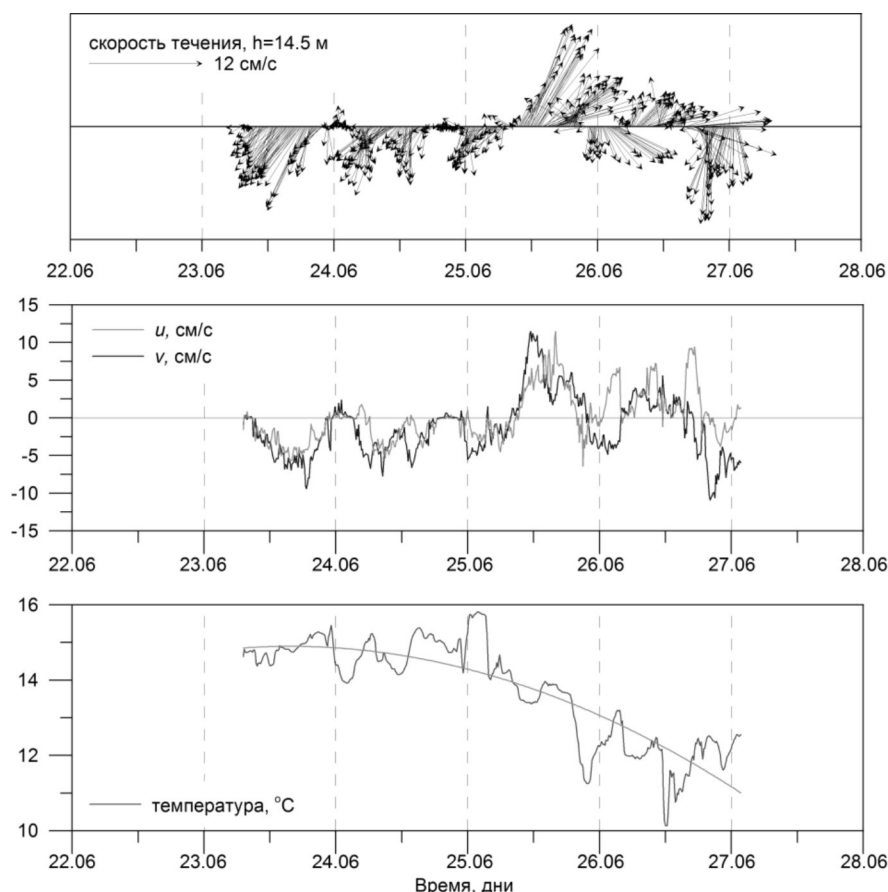
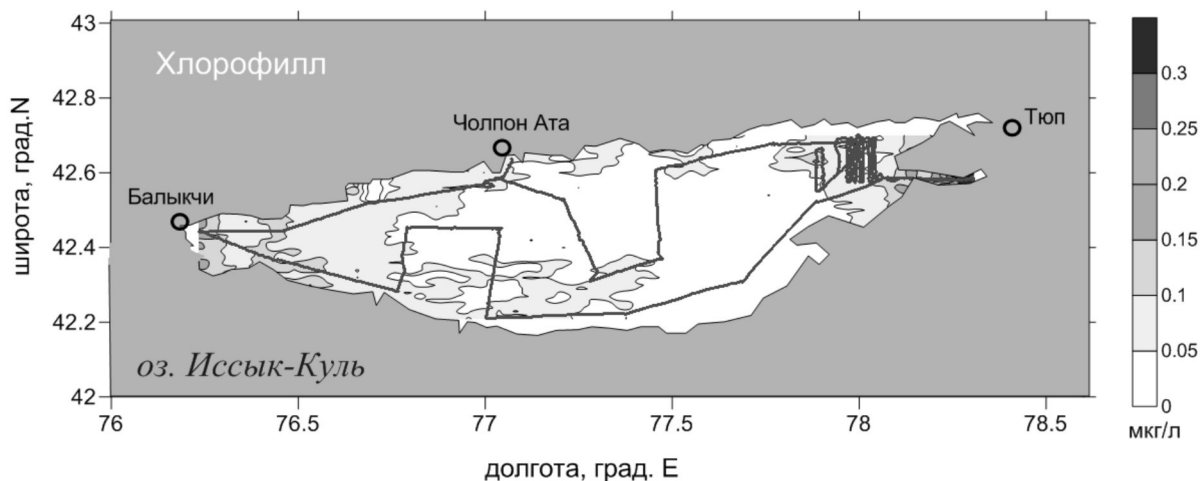


Рис.6. Вертикальное распределение величины рН (NBS) по результатам съемки 23 – 27 июня 2015 г.



**Рис.7.** Результаты измерений первой заякоренной станции, глубина 14,5 м. Сверху вниз: векторная диаграмма скоростей течения, графики изменчивости меридиональной и зональной компонент скорости течения, график колебания температуры вод придонного слоя.



**Рис.8.** Площадное распределение концентрации хлорофилла в поверхностном слое оз. Иссык-Куль, 23-26 июня 2015 г., полученное флуоресцентным лидаром УФЛ-9.

приповерхностном слое с помощью проточной зондирующей системы, состоящей из подающего забортную воду центробежного насоса производительностью около 1 л/с и уложенного в специальный контейнер емкостью 30 литров на палубе CTD зонда YSI 6600. Частота опроса

датчиков CTD зонда составляла 0.2 Гц.

2) Вертикальные распределения величин температуры (Рис.4), электропроводности, концентрации растворенного кислорода (Рис.5), рН (Рис.6) и мутности воды измерялись посредством CTD-зондирования с использованием

инструмента YSI 6600, частота 1 Гц.

3) Скорость и направление течений регистрировались на двух заякоренных станциях (Рис.7.), оснащенных механическими измерителями придонных течений системы Sea Horse [Sheremet, 2010].

**Гидрохимические измерения.** Сроки проведения работ и объем собранного материала. Отбор проб для гидрохимического анализа проводился во время выхода в озеро 23 – 27 июня.

Отбор проб проводился с 59 горизонтов отбора. Всего было выполнено 331 гидрохимический анализ, в том числе определений pH – 59, общей титруемой щелочности – 57, растворенного кремния – 59, нитритного азота – 59, нитратного азота – 59, растворенного кислорода – 38 анализов. Подготовлено для отправки в стационарные лаборатории ИОРАН 44 пробы для определения метана, 6 проб для определения солености и содержания главных ионов.

**Оборудование.** Спектрофотометр HACH Lange DR 2800, производства HACH Lange, Германия. Анализатор жидкости (pH-метр-номер 4-х канальный) ЭКСПЕРТ-001-4, производства НПП «Эконикс-Эксперт», Россия.

Многофункциональный цифровой дозатор Eppendorf Multipette/Repeater X stream, производства Eppendorf AG, Германия. Шприцевые дозаторы LABMATE, объемом 1 и 5 мл,

производства Польша.

Для проведения анализов и подготовки (консервации) проб на борту судна «Молтур» была развернута временная лаборатория.

**Методы.** Отбор проб проводился в соответствии с ГОСТ 17.1.5.05-85 “Общие требования к отбору проб поверхностных и морских вод”. Сразу после отбора пробу переливали в посуду для хранения проб по ГОСТ 17.1.5.04-81, в зависимости от определяемого компонента. Отбор проводился пластиковым батометром типа «HydroBios», объемом 5 л. Определение гидрохимических параметров осуществлялся по стандартным методикам, принятым в экспедиционной практике [Современные методы..., 1992]. Величина pH определялась потенциометрическим методом по РД 52.10.243-92 в практической шкале NBS. Определения проводились в неразведенных пробах.

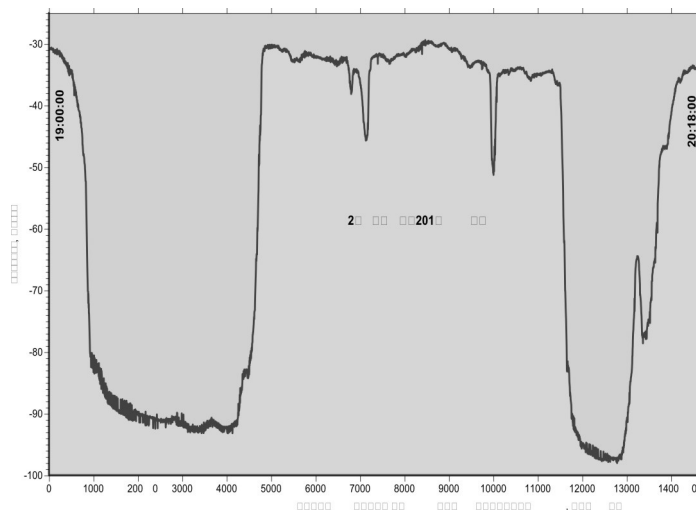
Определение общей щелочности проводилось методом прямого титрования (метод Бруевича) с цветовым окончанием.

Кислород в морской воде определяли иодометрическим методом (метод Винклера) по РД 52.10.243-92 МУ. Пробы морской воды фиксировались на борту сразу же после отбора и помещались до определения в темное место.

Определение растворенного неорганического кремния (силикатов) проводилось колориметрически по голубому кремнево-молибденовому комплексу (метод Королева)



**Рис.9.** Визуализация гидролокационных изображений поверхности дна озера Иссык-Куль на полигоне «Сухой Хребет». Темными полосами обозначены древние береговые линии палеорусел рек Жергалан и Тюп.



**Рис.10. Эхолотный профиль пересекающий палеоруслу рек Жергалан (слева) и Тюп (справа)**

в соответствии с РД 52.10.234-92, нитритного азота (нитриты) проводилось колориметрически с применением «единого цветного» реактива по РД 52.10.243-92, нитратного азота (нитраты) проводилось колориметрически после его восстановления на кадмиевых колонках до нитритного азота по РД 52.10.243-92.

Все определения осуществлялись не позднее чем через 12 часов со времени отбора. Определение содержания растворенной двуокиси углерода ( $CO_2$ ) и общего растворенного углерода ( $C_{tot}$ ) проводилось рН-Alk методом по термодинамическим уравнениям карбонатного равновесия с применением концентрационных констант диссоциации угольной кислоты Роя [Millerо, 1995] с поправками для вод со свойствами, отличными от морской воды [Бычков и др., 1989].

**Гидрооптические измерения.** На 21 станции (точках отбора проб) в поверхностном слое определены концентрации общей взвеси, её минеральной и органической составляющей и хлорофилла (Рис.8). Дополнительно на большинстве станций измерена относительная прозрачность воды (максимальная глубина видимости белого диска).

Пробы воды объемом 4 – 5 литров отбирались ведром. Взвесь отфильтровывалась на стекловолоконистые фильтры WhatmanGF/F, фильтры высушивались в присутствии силикагеля и хранились в морозильнике. Анализ содержания взвеси проводился в лабораторных

условиях.

Концентрация хлорофилла определялась по стандартной спектрофотометрической методике [ГОСТ 17.1.04.02-90..., 1990]. Методика определения суммарной концентрации взвеси и ее компонентов описана в работе [Коновалов и др., 2014].

В экспедиции Иссык-Куль-2015, как и годом ранее, принимал участие отряд дистанционного зондирования с флуоресцентным ультрафиолетовым лидаром УФЛ-9.

**Лидар** разработан в Институте Океанологии РАН и предназначен для экспрессного обнаружения загрязнений акваторий нефтепродуктами, фенолами, канализационными водами и другими органическими веществами антропогенного происхождения. Лидар устанавливается на катере экологического контроля или стационарно на надводных конструкциях.

Работает в автоматическом режиме, частота импульсов зондирования среды 2 Гц, что позволяет при использовании маломерного скоростного судна оперативно обследовать водоем на предмет загрязнений органического антропогенного характера, дать количественную оценку загрязнению, оконтурить зону распространения загрязнения, а также во многих случаях определить его источник.

Позволяет определить степень загрязненности водной поверхности и приповерхност-



ного слоя воды органическими соединениями. Измеряется концентрация растворенных и взвешенных органических веществ естественного и антропогенного происхождения в толще воды в [м-1], концентрация хлорофилла фитопланктона [мг/м<sup>3</sup>], содержание взвеси в приповерхностном слое воды [мг/л], может работать в режиме обнаружения нефтяной пленки на водной поверхности.

Принцип действия: лидар размещается на борту судна (катера) в его носовой части либо стационарно на береговых конструкциях; зондирующий луч направлен на поверхность воды под углом 5-45° к вертикали. Вошедший в воду лазерный импульс (355, 532 нм) вызывает флуоресценцию органики, находящейся на поверхности (например, нефтяная пленка) и органики, растворенной или взвешенной в толще воды, а также хлорофилла фитопланктона. Флуоресцентное излучение, проявляющееся в спектральном диапазоне 400-700 нм, принимается и анализируется в спектрофотометрической блоке лидара. Уровень принятого сигнала флуоресценции, пропорциональный концентрации органических загрязняющих веществ, сигнал обратного рассеяния, а также реперный сигнал комбинационного рассеяния воды регистрируются, запоминаются и анализируются с помощью портативного ПК.

УФЛ-9 полностью автоматизирован, управление работой прибора и запись данных измерений ведется программным путем одним оператором с помощью ПК (notebook). Оперативная информация и результаты зондирования обрабатываются в соответствии с разработанной методикой и отображаются на экране монитора.

#### **Практические применения прибора:**

Оперативный мониторинг источников загрязнения моря и пресных акваторий: заводы, канализационные стоки, порты и пр. с помощью экспрессных обследований лидаром морских береговых и речных устьевых вод, вод пресных водоемов.

Контроль количества нефтепродуктов, остающихся на морской поверхности в процессе очистки акватории от нефтяного загрязнения. Это необходимо для оконтуривания зоны морской поверхности, подлежащей очистке, выбора

способа очистки, а также для определения момента прекращения процесса очистки.

Обнаружение слабых утечек нефтепродуктов из трубопроводов, проложенных по дну моря, а также с нефтяных терминалов и буровых платформ.

Экспресс-обследование проливов, портов и контроль загрязнения вод судами, путем пересечения кильватерного следа катером с установленным на нем лидаром, фиксирующим сравнительную загрязненность воды органическими веществами и нефтепродуктами в следе судна и вне его.

Возможно использование прибора для контроля чистоты пляжей, а также других поверхностей суши для обнаружения малых утечек нефтепродуктов из нефтепроводов или с буровых платформ, стоков органических удобрений с земель сельскохозяйственного назначения, либо других веществ органического происхождения.

**Диапазоны измеряемых величин:** \*концентрация ОВ-0,01÷2,3м-1; концентрация хлорофилла фитопланктона 0,02÷5,6 мг/м<sup>3</sup>; содержание взвеси 0,1÷500 мг/л; определение пленки нефтепродуктов на поверхности ≥ 1 мкм. \*-при проведении калибровки лидара по данным контактных измерений, для каждого района работ.

Работа лидара полностью автоматизирована, обслуживается одним оператором.

В 2015 году работы имели гораздо более масштабный характер по сравнению в 2014 годом и охватили озеро практически целиком. С помощью лидара УФЛ-9 удалось исследовать структуру пространственного распределения концентраций хлорофилла, органического вещества и минеральной взвеси в масштабе акватории озера, а также тонкую субмезомасштабную структуру пятнистости на полигоне работ в восточной его части.

Лидар был установлен на левом борту НИС «Молтур» в средней части судна на 3 метра выше палубы рулевого мостика. Из-за конструктивных особенностей судна разместить лидар в носовой части для зондирования невозмущенной поверхности воды не представилось возможным, поэтому при обработке данных была сделана фильтрация и отбраковка сигналов,

полученных при зондировании водной толщи сквозь пену. Среднее относительное количество отбракованных измерений составило не более 10% для условий морского волнения >2 баллов, и не более 3% при волнении <2 баллов.

Лидар УФЛ-9 работал непрерывно на всем протяжении экспедиции. В точках расположения станций (всего 21) были получены синхронные с лидаром измерения концентраций хлорофилла, взвешенного органического вещества (ВОВ) и взвешенного минерального вещества (ВМВ) на пробах с поверхности (Коновалов Б.В., Грабовский А.Б.). При сопоставлении этих измерений показания лидара были откалиброваны и все карты пространственного распределения построены в абсолютных весовых единицах концентраций.

**Промер глубин и гидролокационная съемка.** Полигон «Торайгыр» расположен в северо-западной части оз. Иссык-Куль. Дно озера в районе полигона представляет собой долину палеоруслареки Чу. Интерес представляет морфология рельефа палеоруслара, а также возможные остатки строений древних поселений людей, живших по берегам реки. На полигоне запланирован промер глубин и съемка дна гидролокатором бокового обзора.

Полигон Сухой Хребет расположен в северо-восточной части оз. Иссык-Куль между эстуариями рек Жергалан (залив Пржевальского) и Тюп (Тюпский залив). Интерес представляет морфология рельефа палеоруслара, а также возможные остатки строений древних поселений людей, живших по берегам рек. На полигоне запланирован промер глубин и съемка дна гидролокатором бокового обзора.

На протяжении всего маршрута движения НИС планировался промер глубин.

При выполнении программы исследований использовались следующие технические средства поиска, промера и навигации.

**Гидролокатор бокового обзора.** Для выполнения панорамной съемки поверхности дна на ходу движения судна в полосе до 400 метров использовался гидролокатор бокового обзора «БлюФинн» (3 рабочие частоты 260/330/800 кГц, рабочая глубина 200м, длина буксирного кабель-троса 25м, разрешающая способность до 0,05м). Этот гидролокатор предназначен в

основном для использования с борта небольших плавсредств и катеров в районах глубинами до 50м и включает ПЭВМ с наборным электронным блоком и буксируемое тело. Для управления ГБО и регистрации данных используется персональный компьютер.

**Эхолот.** Для промера глубин при движении НИС на маршруте, а также для измерения глубин на станциях использовался гидрографический двухчастотный эхолот «Скат -300» фирмы «ФортХХI» с рабочей глубиной до 300м.

**Приемники космической системы навигации.** Для координирования НИС и обеспечения привязки гидролокационной информации (изображений) и данных промера глубин к географическим координатам использовался автономный двух-системный (GPS/ГЛОНАСС) дифференциальный приемник JavadSigma.

Для отображения навигационной обстановки, маршрута движения НИС и проводки НИС по маршруту в реальном времени использовались USB-приемники (2шт) BU-353 космической навигационной системы GPS для КПК и ноутбуков.

**Технологии исследования рельефа дна и подводных объектов.** Сбор и отображение получаемой информации ведется в реальном времени на ПЭВМ. Работой гидролокатора управляет программа «ЭхоГраф» оригинальной разработки ЛПД. Предварительная и пост обработка данных ведется с использованием оригинальной программы WinRSTR. Проводка судна по маршруту и сбор данных эхолотного промера осуществлялись с помощью управляющей ПЭВМ и специализированного программного обеспечения ScatSonarControl. Методика опознания природных и искусственных объектов по результатам гидролокационного картирования и обработка данных промера глубин проводится на основе данных полигонных исследований на ключевых участках.

На полигонах вначале производится обследование поверхности дна с использованием гидролокатора бокового обзора (Рис.9), эхолота (Рис.10) и навигационной аппаратуры.

Обследование ведется на галсах, ориентированных в меридиональном либо широтном направлении, что вызвано удобством последующей стыковки вновь обследованных площа-

дей. При выборе направления галсов конкретной съемки также учитываются метеоусловия в районе на момент работы. Расстояние между галсами (МГР) выбирается, из соотношения:

$$MGP \leq \frac{4}{3} \sqrt{L^2 - \frac{L^2}{25}}$$

где L – диапазон дальности гидролокатора бокового обзора. Это соотношение подразумевает 30% перекрытие полос обзора на соседних галсах с учетом поправки на наклонную дальность, при этом принимается, что  $L=5H$ , где H – максимальная глубина в районе работ.

Подход к точке начала маршрута буксировки должен осуществляться курсом, совпадающим с направлением первого галса буксировки. Для этого вначале судно следует в точку спуска буксируемого устройства за борт судна. Эта точка должна отстоять на 0.5 км от точки начала первого галса. Скорость движения судна в этой точке должна составлять 2 узла. За 15 минут до подхода к точке и при проходе точки спуска за борт буксируемого устройства вахтенный помощник предупреждает об этом руководителя работ или дежурного по станции.

Сотрудники экспедиции осуществляют спуск за борт буксируемого устройства. Режим движения на галсе – 2 узла.

Координаты объектов, обнаруженных в ходе съемки, оперативно фиксируются оператором с использованием специальных функций в программе сбора, обработки и представления гидролокационной информации реального времени, установленной на ПЭВМ. Для идентификации обнаруженных объектов и уточнения координат их места, после окончания основной съемки в районе может проводиться дополнительная съемка на галсах, пересекающих основной маршрут съемки в местах, где были обнаружены объекты. При этом выбираются уменьшенные диапазоны дальности работы гидролокатора, что позволяет повысить детальность съемки и с большей вероятностью правильно идентифицировать обнаруженные объекты.

Объем работ, выполненных группой гидролокации в экспедиции: Общая длина маршрута исследований 550 км; Общая длина маршрута

промера глубин 120 км; Общая длина гидролокационной съемки 40 км; Длина маршрута гидролокационной съемки на полигоне «Сухой хребет» 22,5 км; Площадь поверхности дна, обследованной с помощью гидролокатора бокового обзора на полигоне «Сухой хребет» 9 кв. км; Длина маршрута попутной гидролокационной съемки 17,5 кв км; площадь поверхности дна, обследованная попутно с помощью гидролокатора бокового обзора 7 кв. км.

### Выводы

Предлагаемая статья имеет информационный характер – в ней приводится в основном лишь техническое описание исследований, выполненных на озере Иссык-Куль в двух «пилотных» совместных экспедициях учеными Кыргызстана и России, которое иллюстрируется отдельными примерами результатов измерений. Данные экспедиций в настоящее время находятся в стадии обработки, и их более полный анализ станет предметом последующих публикаций. Тем не менее, уже на этом этапе можно говорить о полученных на новом уровне точности и пространственного разрешения данных по структуре гидрофизических и гидрохимических полей озера, уточнении особенностей донного рельефа. Как представляется авторам, даже эти предварительные результаты демонстрируют перспективность комплексных исследований озера с использованием современных методов, ранее на Иссык-Куле в полной мере не применявшихся, таких как лидарные зондирования верхнего слоя, проточные измерения свойств воды на ходу судна, измерения течений на заякоренных станциях, совместное использование буксируемых эхолота и гидролокатора бокового обзора и другие.

### Литература

1. Бажин Н.М. Метан в атмосфере // Соросовский образовательный журнал, 2000. Т.6. № 3. С. 52-57.
2. Большаков А.М., Егоров А.В. Об использовании методики фазово-равновесной дегазации при газометрических измерениях в акваториях. // Океанология 1987, Т. 27, № 5. С. 861-862.
3. Букин В.М. Водные массы озера Иссык-

- Куль. Ихтиологические и гидробиологические исследования в Киргизии. Фрунзе: «Илим». 1979. С. 3—6.
4. ГОСТ 17.1.04.02-90. «Вода. Методика спектрофотометрического определения хлорофилла а», Госкомитет СССР по охране природы. М.1990.16 С.
  5. Коновалов Б. В., Кравчишина М. Д., Беляев Н. А., Новигатский А. Н. Определение концентрации минеральной взвеси и взвешенного органического вещества по их спектральному поглощению //Океанология, 2014. Т.54. №5. С.704-711.
  6. Современные методы гидрохимических исследований океана / Ред. Бордовский О.К., Иваненков В.Н. М.: ИО АН СССР, 1992. 198 с.
  7. Millero F.J. Thermodynamics of the carbon dioxide system in oceans // *Geochim. etCosmochim. Acta*. 1995. V.59. № 4.P.661-677.
  8. Molnar, P., and England, P., 1990. Late Cenozoic uplift of mountain ranges and global climate change: Chicken or egg? *Nature*, 346:29–34. doi:10.1038/346029a0
- 
-