

ИЗМЕРЕНИЕ МАЛЫХ СКОРОСТЕЙ ПОДЛЕДНЫХ ТЕЧЕНИЙ НА РАЗНЫХ ГЛУБИНАХ ТЕЛЕЦКОГО ОЗЕРА

И. А. Суторихин¹, С. А. Литвиненко¹, В. А. Соловьев², А. Р. Каменев²

¹ Институт водных и экологических проблем СО РАН, г. Барнаул

² Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, г. Барнаул

Приведено описание макета прибора для измерения малых скоростей движения воды в водоемах и водотоках. Этот макет прибора для измерения малых скоростей и направлений подледных течений на разных глубинах был опробован в ходе зимней экспедиции 2021 года на Телецком озере. Приводятся результаты проведенных измерений, обсуждаются полученные данные.

Ключевые слова: скорость движения воды, направление движения воды, схема макета прибора, блок регистрации, блок обработки данных, таблица данных.

Введение

Измерение скоростей подледных течений довольно сложная проблема, поскольку величины скоростей, как правило, имеют малые значения и стандартные гидрологические вертушки из-за большой массы и высокой инертности оказываются не применимы.

Установлено, что для проточных и бессточных водоемов в подледный период имеет место движение водных масс, что обусловлено как сейшевыми волнами, термической стратификацией [1].

Несмотря на малые скорости течений, динамические процессы играют важную роль в экосистемах покрытых льдом озер, определяя перенос и перераспределение растворенных и взвешенных веществ [2], в том числе удерживая наиболее легкие клетки фитопланктона в водной толще до начала весеннего конвективного перемешивания. Как показано в работах [1, 3], механизмы, приводящие в движение воду под ледяным покровом, разнообразны, и в результате действия этих механизмов в озерах формируется сложная структура течений. При моделировании скоростей течений подо льдом приходится использовать сложные трехмерные модели с большим количеством переменных даже для малого озера [4].

Внутренними источниками динамических процессов являются неоднородности полей плотности (бароклинность) в сочетании с бароклинной и баротропной неустойчивостью, сейшевые колебания, а также влияние морфометрии дна и берегов [5].

Среди этих механизмов наименее изученным является тепло- и массообмен на границе вода-лед. Слабость течений (в отличие от рек) и гидродинамическая неустойчи-

вость подледного слоя воды вследствие плотностной аномалии пресной воды (в отличие от океанов) ведет к тому, что поток тепла из воды в лед отличается значительной нестационарностью. Важный вклад в теплообмен вносит подледная конвекция, вызываемая объемным поглощением солнечной радиации [6].

Описание объекта

Телецкое озеро – крупнейший водоем бассейна реки Оби. Оно расположено в северо-восточной части Горного Алтая на высоте 434 м над уровнем моря и входит в единую озерно-речную систему Восточного Алтая [7]. Средняя и максимальная ширина озера равны 2,9 и 5,2 км, соответственно, площадь зеркала – 227 км². Благодаря большой глубине (средняя глубина озера 181 м, максимальная 323 м) в нем содержится 41,1 км³ пресной воды. Озеро имеет своеобразный ледовый режим, который проявляется в отсутствие ежегодного полного ледостава в субмеридиональной части и весьма затянутых периодах замерзания до 4 месяцев и вскрытия (около 2 месяцев) северной субширотной (включая Камгинский залив). По гидротермическим характеристикам Телецкое озеро относится к динамическим с двумя периодами полного конвективного перемешивания до максимальных глубин за счет термического бара (май-июль и октябрь – декабрь) [9]. Трофический уровень Телецкого озера с оценкой трофности по первичной продукции, прозрачности и содержанию биогенных веществ соответствует ультраолиготрофно-олиготрофному [10].

Экспедиционные работы проводились с 25 по 28 февраля 2021 г. на акватории озера между поселками Артыбаш и Иогач. Было

заложено два трехточечных трансекта от одного берега озера к противоположному с точкой в центральной части. Еще три точки были сориентированы относительно осевой

части акватории. Координаты точек приведены в таблице, а местоположение изображено на рисунке 1.

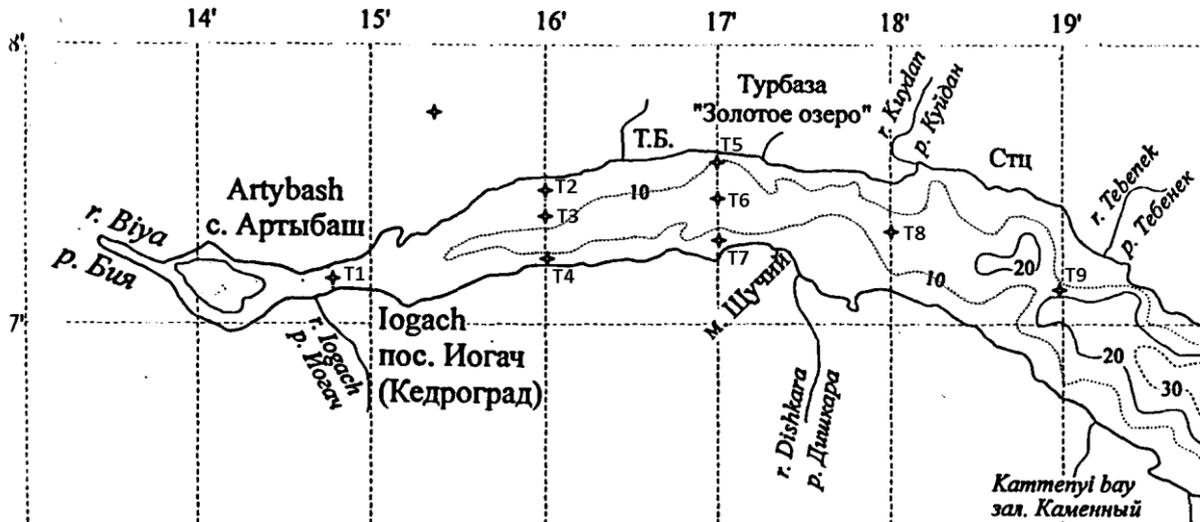


Рисунок 1 – Места проведения экспедиционных работ на оз. Телецкое

Макет прибора и методика измерений

Оригинальная конструкция прибора для измерения малых скоростей течения воды описана в [11]. Для измерения скоростей подледных течений на разных глубинах водоемов был создан макет прибора, в основе которого применен механизм от водоизмерительного устройства СГВ-15. Как показали предварительные стендовые исследования, указанные водоизмерительные устройства довольно чувствительны к малым скоростям движения воды и имеют малую инерционность. Это обусловлено тем, что крыльчатка счетчика закреплена в конусных подвесах, выполнена из пластмассы и имеет массу порядка 6 гр. Со счетным механизмом крыльчатка связана через водонепроницаемую прочную диафрагму посредством взаимодействия постоянных магнитов, что в свою очередь обеспечивает герметичность объема крыльчатки от счетного механизма.

Переделка СГВ-15 заключалась в том, что счетный механизм демонтировался и на ведущую ось устанавливался легкий четырехлопастной обтюратор. Конструкция разработанного устройства более подробно рассмотрена в [12]. Вращение обтюратора модулировало световой поток опто-электронной пары и далее модулированный сигнал обрабатывался внешним электронным блоком, в состав которого входил и элемент питания. Измеряемая скорость движения воды определялась скоростью вращения крыльчатки и

с заданным усреднением выводилась на дисплей внешнего электронного блока (рисунок 2). Кабельный шлейф, соединяющий измерительный блок с внешним электронным блоком имел длину 6 м. Измерительный блок закреплялся на пластиковой штанге длиной 4 м, что и составляло максимальную глубину его погружения. Калибровка макета прибора проводилась в стендовых условиях, когда макет погружался в бассейн с водой, а штанга с измерителем вертикально закреплялась на подвижной каретке. Скорость движения каретки задавалась электродвигателем с шестеренчатым редуктором и могла изменяться в диапазоне от 1 до 40 мм/с. Для повышения чувствительности на входной патрубке измерительного блока диаметром 20 мм устанавливалась воронка с внешним диаметром 100 мм. По результатам калибровки был получен график, который определял величину импульсно модулированного сигнала с опто-электронной пары от скорости движения воды. В ходе калибровки было установлено, что предельная чувствительность макета прибора для малых скоростей движения равна 1 мм/с. Абсолютная погрешность измерений в указанном диапазоне скоростей соответствовала 1 мм/с. Результаты калибровки были запрограммированы в блоке обработки и на экране дисплея выводились данные о скорости движения воды в мм/с. Для учета неоднородности скорости движения воды при проведении измерений было

предусмотрено введение 10, 15 и 20 с усреднение.

Измерительный блок крепится на пластиковой штанге длиной 4,5 м. На штанге фиксировали сигнальный кабель, который соединяет измерительный блок с блоком регистрации. Для определения глубины погружения измерительного блока на штанге с периодом 1 м были нанесены метки. Ориентация измерительного блока на штанге отмечалась специальным маячком. Направление

движения воды оценивалось по наличию отсчетов скорости на блоке индикации при повороте штанги на 360 град.

Результаты измерений

Результаты измерений подледных скоростей и направления движения воды в исследуемых точках на акватории озера приведены в таблице.

Измерения подледных скоростей движения воды на оз. Телецкое выполнялись в период с 25 по 27 февраля 2021.

Таблица – Результаты измерения подледных скоростей движения воды на оз. Телецкое (25-27 февраля 2021)

№ станции	Координаты	Дата	Время начала измерения	Толщина льда, см	Скорость глуб. 0М мм/с / Направ, град	Скорость глуб. 1М мм/с / Направ, град	Скорость глуб. 2М мм/с / Направ, град	Скорость глуб. 3М мм/с / Направ, град	Скорость глуб. 4М мм/с / Направ, град
T1	87 15 00 51 17 10	25.02	10.25	22	1/92	2/87	4/90	2/92	3/90
T2	87 16 00 51 07 30	25.02	11.10	45	0/-	0/-	1/95	0/-	0/-
T3	87 16 00 51 07 20	25.02	11,55	56	1/88	2/90	3/95	2/90	1/93
T4	87 16 00 51 07 10	25.02	12.45	52	0/-	0/-	1/87	0/-	1/90
T5	87 17 00 51 07 40	26.02	10.20	53	0/-	0/-	1/92	1/92	0/-
T6	87 17 00 51 07 30	26.02	11,05	51	0/-	1/92	2/95	1/98	0/-
T7	87 17 00 51 07 20	26.02	11.50	48	0/-	1/90	1/90	0/-	0/-
T8	87 18 00 51 07 20	27.02	10.40	48	0/-	0/-	2/98	1/100	0/-
T9	87 19 00 51 07 10	27.02	11.20	50	0/-	0/-	1/120	1/110	0/-

Обсуждение и выводы

Полученные результаты измерения подледной скорости движения воды в Телецком озере показали существенную неоднородность ее изменения по глубине, что подтверждает гипотезу о струйном характере течений в озере [5]. Таким образом, механизмы, приводящие в движение воду под ледяным покровом, разнообразны, и в результате действия этих механизмов в озерах формируется сложная структура течений. Непосредственно под нижней кромкой льда движение воды не было обнаружено, за исключением точки 1.

Это объясняется трением воды по нижней, довольно неоднородной, кромке льда. В точке 1 вблизи устья вытекающей из озера реки Бия скорость течения существенно повышается из-за сужения створа. Вблизи берегов, где глубина озера не превышала 6 м (точки T2, T4, T5 и T7), низкие скорости регистрировались на глубинах 1-2 м.

Приведенные натурные данные могут быть использованы при моделировании скоростей течения воды подо льдом, когда приходится использовать сложные трехмерные модели с большим количеством переменных.

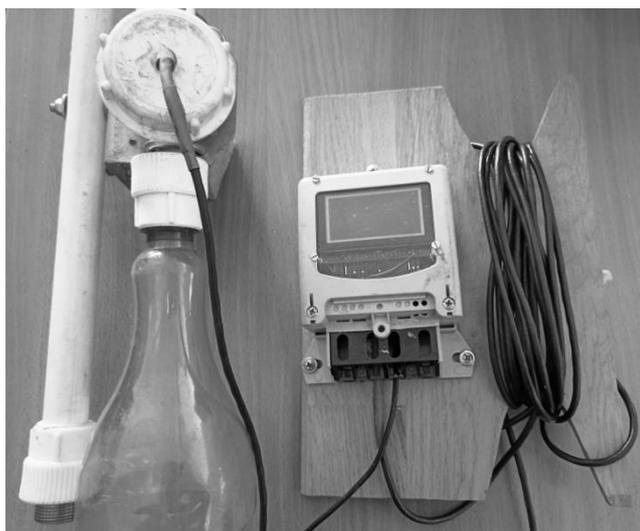


Рисунок 2 – Внешний вид датчика измерения скорости

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пальшин, Н.И. Геострофические течения в малом озере подо льдом / Н.И. Пальшин, Г.Э. Здоровеннова, С.Р. Богданов [и др.]. – Текст: электронный // Успехи современного естествознания. – 2017. – № 11. – С. 89-94. <https://natural-sciences.ru/ru/article/view?id=36587&ysclid=lnj2b2r2c k389570228> (дата обращения: 09.10.2023).
2. Гранин, Н.Г. О механизмах генерации подледных течений в Байкале / Н.Г. Гранин, М.Н. Шимараев. - Текст: непосредственный // ДАН. - 2001. – 377 (3). - С. 392-395.
3. Гранин, Н.Г. Подледные течения Байкала (на основе новых экспериментальных данных) / Н.Г. Гранин, М.Н. Шимараев. - Текст: непосредственный // География и Природные Ресурсы. - 2002. – № 1. – С. 79-83.
4. Филатов, Н.Н. Динамика озер / Н.Н. Филатов. – Ленинград: Гидрометеиздат, 1983. – 166 с. - Текст: непосредственный.
5. Филатов, Н.Н. Гидродинамика озер / Н.Н. Филатов. - Санкт-Петербург: Наука, 1991. – 196 с. - Текст: непосредственный.
6. Aslamov, I.A. Ice-water heat exchange during ice growth in Lake Baikal / I.A. Aslamov, V.V. Kozlov, G.B. Kirillin, I.B. Mizandroutsev, K.M. Kucher, M.M. Makarov, A. Yu. Gornov, N.G. Granin // Journal of Great Lakes Research. – 2014. – 40(3). P. 599-607.
7. Селегей, В.В. Телецкое озеро. Гидрометеорологический режим озер и водохранилищ СССР / В.В. Селегей, Т.С. Селегей.- Ленинград: Гидрометеиздат, 1978. – 143 с. - Текст: непосредственный.
8. Селегей, В.В. Физико-географическая и геологическая характеристика Телецкого озера / В.В. Селегей, Б. Дехандсхюттер, Я. Клеркс. - Тервютен – Бельгия: 2001.-322 с. - Текст: непосредственный.
9. Селегей, В.В. Телецкое озеро. Очерки истории. Книга первая / В.В. Селегей. - Новосибирск: Овсет, 2009. – 119 с. . - Текст: непосредственный.
10. Кириллова, Т.В. Пигментные характеристики фитопланктона Телецкого озера: специальность 03.00.16 «Экология»: диссертация на соискание ученой степени кандидата биологических наук / Кириллова Татьяна Владимировна; Красноярский государственный университет. - Красноярск, 2006. - 220 с. - Текст: непосредственный.
11. Маньковский, В.И. Прибор для определения скорости и направления медленных течений и температуры воды / В.И. Маньковский. - Текст : непосредственный //Тр. МГИ - 1961. – Т.23. – С. 122-130.
12. Каменев, А. Р. Разработка макетов приборов контроля ряда гидрофизических и гидрооптических параметров водоёма / А.Р. Каменев, И.А. Суторихин, В.А. Соловьев // Наука и молодежь: материалы XVIII Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых (19–23 апреля 2021 года, г. Барнаул): инженерно-технические науки, в 2 т. – Барнаул: АлтГТУ, 2021 – Том 1, Часть 1. – С. 111-114. - Текст: непосредственный.

Суторихин Игорь Анатольевич – д.ф-м.н, профессор, г.н.с., ИВЭП СО РАН, тел 8(3852)638997, e-mail: sia@iwep.ru.

Литвиненко Светлана Александровна – к.т.н., м.н.с. ИВЭП СО РАН, тел: 89628128643, e-mail: gsa@iwep.ru.

Соловьев Виталий Андреевич – ст. преподаватель кафедры ИТ ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова», тел.: 8(3852)290913, e-mail: solvitali@mail.ru

Каменев Артем Романович – студент кафедры ИТ ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова», тел.: 8(3852)290913, e-mail: novble@mail.ru.

Приложение

MEASURING LOW SPEED OF UNDER ICE CURRENTS AT DIFFERENT DEPTHS OF LAKE TELETSKY

I.A. Sutorikhin ¹, S.A. Litvinenko ¹, V.A. Solovyov ², A.Kamenev ²

¹Institute of Water and Environmental Problems SB RAS, Barnaul

² Polzunov Altai State Technical University, Barnaul

The description of the layout of the device for measuring low speeds of water movement in reservoirs and watercourses is given. This model of a device for measuring low speeds and directions of subglacial currents at different depths was tested during the winter expedition of 2021 on Lake Teletskoye. The results of the measurements are presented, the data obtained are discussed.

Keywords: the speed of water movement, the direction of water movement, the layout diagram of the device, the registration unit, the data processing unit, the data table.