

УДК 535.31  
ББК 22.3

**Павел Юрьевич Лукьянов,**  
кандидат технических наук, ведущий программист,  
Институт природных ресурсов, экологии и криологии  
Сибирского отделения Российской академии наук  
(672014, Россия, г. Чита, ул. Недорезова, 16а) e-mail: lgc255@mail.ru

**Олег Игоревич Петров,**  
аспирант, Институт природных ресурсов, экологии и криологии  
Сибирского отделения Российской академии наук  
(672014, Россия, г. Чита, ул. Недорезова, 16а) e-mail: lgc255@mail.ru

**Александр Александрович Гурулёв,**  
кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник,  
Институт природных ресурсов, экологии и криологии  
Сибирского отделения Российской академии наук  
(672014, Россия, г. Чита, ул. Недорезова, 16а), e-mail: lgc255@mail.ru

**Алексей Олегович Орлов,**  
младший научный сотрудник, Институт природных ресурсов, экологии и криологии  
Сибирского отделения Российской академии наук  
(672014, Россия, г. Чита, ул. Недорезова, 16а) e-mail: Orlov\_A\_O@mail.ru

### Сезонные изменения гидрофизических параметров оз. Доронинское<sup>1</sup>

В работе приведены результаты натурных измерений гидрофизических параметров меромиктического оз. Доронинское, расположенного в Забайкальском крае. Показаны сезонные вариации параметров по глубине. Выявлена сезонная динамика пограничных зон тепломассобмена, связанная с биохимическими процессами в озере.

*Ключевые слова:* озеро Доронинское, меромиктический водоём, термоклин, хемоклин.

**Pavel Yurievich Lukyanov,**  
Candidate of Technical Sciences, Leading Programmer,  
Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology  
the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences  
(16a Nedorezov St., Chita, Russia, 672014) e-mail: lgc255@mail.ru

**Oleg Igorevich Petrov,**  
Postgraduate Student, Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology  
the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences  
(16a Nedorezov St., Chita, Russia, 672014) e-mail: lgc255@mail.ru

**Alexandr Alexandrovich Gurulev,**  
Candidate of Physical and Mathematical Sciences,  
Researcher, Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology  
the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences  
(16a Nedorezov St., Chita, Russia, 672014) e-mail: lgc255@mail.ru

**Aleksey Olegovich Orlov,**  
Researcher, Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology  
the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences  
(16a Nedorezov St., Chita, Russia, 672014) e-mail: Orlov\_A\_O@mail.ru

### Seasonal Changes of Hydro-Physical Parameters of the Lake Doroninskoye<sup>1</sup>

The paper presents the results of field measurements of hydro-physical parameters Meromictic Lake Doroninskoye, located in the Trans-Baikal region. The seasonal variations of parameters in depth are given. The seasonal dynamics of border zones of heat mass exchange, connected with biochemical processes in the lake is revealed.

*Keywords:* Doroninskoye lake, meromictic basin, thermocline, chemocline.

<sup>1</sup>Работа выполнена при поддержке Интеграционного проекта СО РАН № 56.

<sup>1</sup>The work is performed with the support of the Integrated Project SB of RAS № 56.

Содовое оз. Доронинское (Улётовский район Забайкальского края, Россия) относится к редкому типу меромиктических водоёмов (водоёмов, в которых за исключением особых случаев, ни в один из сезонов года не происходит перемешивания воды до дна). Для меромиктических водоёмов характерны вертикальная стратификация с образованием достаточно тонких слоев воды с существенно различающимися физико-химическими свойствами, а также своеобразная биота. Природа и причины возникновения меромиксии водоёмов в настоящее время активно исследуются учёными [1; 2; 3].

Основные характеристики оз. Доронинское: глубина – до 6,3 м, площадь водной поверхности – до 480 га, минерализация воды изменяется в пределах от 15 до 35 промилле. Состав солей в основном представлен (в порядке убывания) карбонатами, гидрокарбонатами, хлоридами и сульфидами натрия, кальция и калия. Толщина ледяного покрова в конце зимнего периода может в некоторые годы достигать 1,5 м.

Гидрофизические наблюдения на оз. Доронинское проводились сотрудниками ИПРЭК СО РАН в течение ряда лет [4; 5]. Однако цикл систематических измерений сезонной динамики основных гидрофизических параметров с высоким пространственным разрешением был выполнен в период с ноября 2012 г. по март 2014 г. В зимний и летний сезоны измерения параметров проводились с интервалом около 1 месяца, однако во время деструкции ледяного покрова и ледостава интервал между измерениями составил более 2 месяцев. При измерениях использовались в том числе и разработанные в ИПРЭК СО РАН аппаратные комплексы ПС-3 и ХВ-7 [6].

Значительная часть измерений гидрофизических параметров в зависимости от глубины с отбором проб для лабораторных исследований была проведена в «Точке 31», расположенной в северо-восточной оконечности озера, в которой была зафиксирована наибольшая глубина (в июне 2013 г. – 6,3 м). Также в целях исследования вариаций гидрофизических параметров по акватории озера измерения проводились в «Точке 27», соответствующей геометрическому центру озера, и точках «База» и «Точка 28», которые были выбраны произвольно со смещением к береговой линии относительно геометрического центра озера.

На рис. 1 приведены графики изменения температуры воды в зависимости от глубины в зимний (нижняя группа кривых) и летний (верхние кривые) периоды.

На приведённых графиках следует отметить, что в зимний период температура воды практически постоянна до глубины около 3 м, где наблюдается термоклин, ниже термоклина температура возрастает до  $+1,5^{\circ}\text{C}$  в придонном слое, причём скорость роста температуры уменьшается с глубиной. Также следует отметить, что глубина термоклина увеличивается весь зимний период на 0,1–0,2 м в месяц. (Глубина в зимний период отсчитывалась от уровня воды в лунке, что на 4–11 см ниже поверхности ледяного покрова).

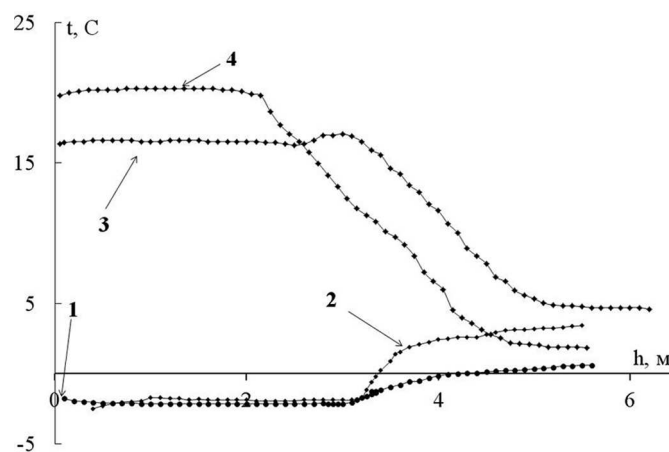
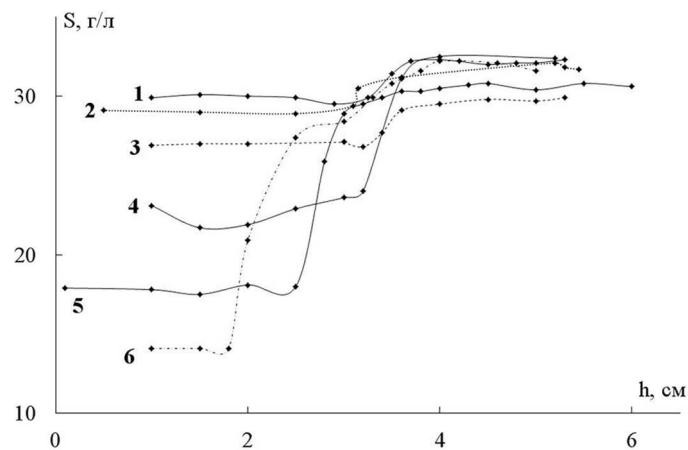


Рис. 1. Температура воды ( $t$ ) в зависимости от глубины ( $h$ ).

Дата: 1 – 29 марта 2014; 2 – 20 декабря 2013; 3 – 11 июля 2013; 4 – 6 сентября 2013

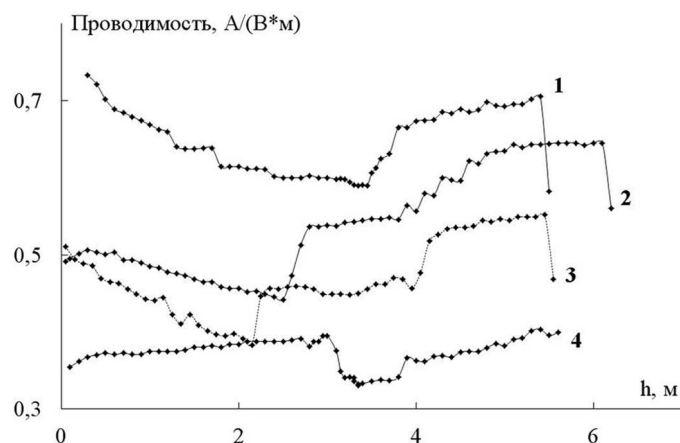
В летний период верхние слои озера прогреваются до  $+15^{\circ}\text{C}$  –  $+20^{\circ}\text{C}$ , температура незначительно понижается до глубины около 2 м, где на кривых имеются характерные «изломы». На

глубинах от 2 до 3,5 м температура быстро падает, причём на нижней границе этой зоны самый характер кривых изменяется, и в придонном слое сохраняется «зимняя» температура в  $+1,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Таким образом, в летний период зона термоклина охватывает глубины от 2 до 3,5 м. Смещение вниз верхних «изломов» на температурных кривых, т. е. верхней границы зоны термоклина в начале лета происходит со скоростью до 1 см в день.



**Рис. 2.** Солёность воды в зависимости от глубины.  
Дата: 1 – 25 марта 2014; 2 – 29 марта 2014; 3 – 12 февраля 2014;  
4 – 20 декабря 2013; 5 – 6 сентября 2013; 6 – 7 июля 2013

На рис. 2 приведены графики солёности воды в зависимости от глубины в зимний (верхние кривые) и летний (нижние кривые) периоды. На графиках, соответствующих зимнему периоду, следует отметить практически неизменную солёность до глубины около 3 м, где наблюдается её резкое увеличение (хемоклин), глубже солёность также медленно возрастает вплоть до самого дна озера. В летний период кривая солёности имеет 4 характерных участка. В верхних слоях озера солёность практически неизменна до глубины около 2 м, где наблюдается зона 1 хемоклина. На глубинах от 2 м до 3 м солёность быстро возрастает от 15–18 % до 28–30 %, на глубинах от 3 до 4 м наблюдается зона 2 хемоклина. На глубинах более 4 м солёность медленно растёт (до 32 %) или постоянна.



**Рис. 3.** Приведённая проводимость воды в зависимости от глубины.  
Дата: 1 – 25 марта 2014; 2 – 6 сентября 2013; 3 – 11 июля 2013; 4 – 29 марта 2014

Проводимость воды на переменном токе частотой 1000 Гц является чувствительным индикатором изменения параметров среды. Конструкция датчика проводимости аппаратурного комплекса

ХВ-7 имеет особенность, которая позволяет определять по изменению проводимости не только вариации температуры и солёности – главных параметров, от которых зависит проводимость воды, но также и изменения в основных химических параметрах среды. На всех графиках проводимости (рис. 3) отчётливо проявляется положение «летнего» (верхнего) хемоклина. Более того, на кривой от 06.09.13 заметно выражено положение «зимнего» (нижнего) хемоклина, который уже невозможно обнаружить другими методами, например, по изменению солёности.

Проведённые практически одновременно измерения в различных точках озера выявили, что глубинная структуризация универсальна для всего водоёма, и характерные особенности вертикальной стратификации (зоны термо-, хемо-, кондукто- и диаклина) располагаются на одинаковых глубинах с точностью до ошибки измерения (т. е. для ХВ-7 – 1 – 2 см). Однако абсолютные значения гидрофизических параметров могут существенно различаться по акватории озера.

Как видно из представленных графиков гидрофизических параметров, в водоёме активно происходят динамические процессы, имеющие сезонные особенности, которые определяются внешними и внутренними факторами.

В летний период в озере наблюдаются два хемоклина: «зимний» хемоклин, постепенно рассеивающийся на глубине более трёх метров, и летний хемоклин на глубине 1,5–2,5 м, образовавшийся в результате таяния ледяного покрова и продвигающийся вниз за счет размывания пограничного слоя конвективными течениями миксолимниона (верхней зоны).

Приведённые данные измерений гидрофизических параметров оз. Доронинское охватывают все сезоны года и могут быть использованы для понимания природы меромиксии водоемов и анализа причин её возникновения.

#### *Список литературы*

1. Рогозин Д. Ю. [и др.]. Тонкослойное вертикальное распределение пурпурных серных бактерий в зонах хемоклина меромиктических озёр Шира и Шунет (Хакасия) // Доклады Академии наук. 2005. Т. 400. № 3. С. 426–429.
2. Boehrer B., et al. Chemocline erosion and its conservation by freshwater introduction to meromictic salt lakes // *Limnologia*. 2014. V. 44. P. 81–89.
3. Picazo A., et al. Spectrophotometric methods for the determination of photosynthetic pigments in stratified lakes: a critical analysis based on comparisons with HPLC determinations in a model lake // *Limnetica*. 2013. V. 3. Issue: 1. P. 139–157.
4. Замана Л. В., Борзенко С. В. Элементная сера в рапе озера Доронинское (Восточное Забайкалье) // Доклады Академии наук. 2011. Т. 438. № 4. С. 515–518.
5. Бордонский Г. С. [и др.]. Анизотропия микроволнового затухания в ледяном покрове содового озера // Радиотехнические и телекоммуникационные системы. 2012. № 3 (7). С. 39–44.
6. Лукьянов П. Ю., Гурулёв А. А., Орлов А. О., Цыренжапов С. В. Измерительные приборы для исследования параметров воды меромиктических водоёмов // Учёные записки Забайкал. гос. гум.-пед. ун-та им. Н. Г. Чернышевского. 2013. № 3. С. 60–64.

#### *References*

1. Rogozin D. Yu. [i dr.]. Tonkosloinoe vertikal'noe raspredelenie purpurnykh sernykh bakterii v zonakh khemoklina meromikticheskikh ozer Shirai Shunet (Khakasiya) // *Doklady Akademiinauk*. 2005. T. 400. № 3. S. 426–429.
2. Boehrer B., et al. Chemocline erosion and its conservation by fresh water introduction to meromictic salt lakes // *Limnologia*. 2014. V. 44. P. 81–89.
3. Picazo A., et al. Spectrophotometric methods for the determination of photosynthetic pigments in stratified lakes: a critical analysis based on comparisons with HPLC determinations in a model lake // *Limnetica*. 2013. V. 3. Issue: 1. P. 139–157.
4. Zamana L. V., Borzenko S. V. Elementnaya sera v rape ozera Doroninskoe (Vostochnoe Zabaikal'e) // *Doklady Akademii nauk*. 2011. T. 438. № 4. S. 515–518.

5. Bordonskii G. S. [i dr.]. Anizotropiya mikrovolnovogo zatukhaniya v ledyanom pokrove sodovogo ozera // Radiotekhnicheskie i telekommunikatsionnye sistemy. 2012. № 3(7). S. 39–44.

6. Luk'yanov P. Yu., Gurulev A. A., Orlov A. O., Tsyrenzhapov S. V. Izmeritel'nye pribory dlya issledovaniya parametrov vody meromikticheskikh vodoemov // Uchyonye zapiski Zabaikal. gos. gum.-ped. un-ta im. N. G. Chernyshevskogo. 2013. № 3. S. 60–64.

*Статья поступила в редакцию 29.04.2014*