**УДК 535.31**
**ББК 22.3**

***Павел Юрьевич Лукьянов***
*кандидат технических наук, ведущий программист,*
*Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН*
*(Чита, Россия), e-mail: lgc255@mail.ru*
***Александр Александрович Гурулёв***
*кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник,*
*Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН*
*(Чита, Россия), e-mail: lgc255@mail.ru*
***Алексей Олегович Орлов***
*младший научный сотрудник,*
*Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН*
*(Чита, Россия), e-mail: Orlov_A_O@mail.ru*
***Сергей Васильевич Цыренжапов***
*младший научный сотрудник,*
*Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН*
*(Чита, Россия), e-mail: lgc255@mail.ru*

## Измерительные приборы для исследования параметров воды меромиктических водоёмов[1]

В работе приведено описание разработанных авторами измерительных приборов для исследования физико-химических параметров воды меромиктических водоёмов в натурных условиях, а также для отбора химико-биологических проб воды из тонких слоёв с разрешением по глубине до 5 см. Также обсуждаются наиболее интересные результаты исследований оз. Доронинское Забайкальского края, полученные с использованием разработанных приборов в летний и зимний периоды.

*Ключевые слова:* меромиктический водоём, хемоклин, погружной зонд.

***Pavel Yur'evich Luk'yanov***
*Candidate of Engineering Science, Leading Programmer,*
*Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology, Siberian Branch,*
*Russian Academy of Sciences (Chita, Russia), e-mail: lgc255@mail.ru*
***Aleksandr Aleksandrovich Gurulev***
*Candidate of Physics and Mathematics Science, Senior Researcher,*
*Institute of Natural Resources,*
*Ecology and Cryology, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences*
*(Chita, Russia), e-mail: lgc255@mail.ru*
***Aleksey Olegovich Orlov***
*Junior Researcher,*
*Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology, Siberian Branch,*
*Russian Academy of Sciences (Chita, Russia), e-mail: Orlov_A_O@mail.ru*
***Sergey Vasil'evich Tsyrenzhapov***
*Junior Researcher,*
*Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology, Siberian Branch,*
*Russian Academy of Sciences (Chita, Russia), e-mail: lgc255@mail.ru*

## Measuring Devices for Water Parameters Investigation of Meromictic Water Bodies

The description of measurement devices developed by the authors for investigation of physical and chemical parameters of meromictic water bodies in natural conditions, as well as for the chemical and biological sampling from the thin layers of water with depth resolution up to 5 cm is given in this paper. The most interesting results obtained with the use of the

[1]Работа выполнена при поддержке Интеграционного проекта СО РАН №56.

 © Лукьянов П. Ю., Гурулёв А. А., Орлов О. О., Цыренжапов С. В.

developed devices at Lake Doroninskoe (Trans-Baikal territory) during the summer and winter periods are discussed here.

*Keywords:* meromictic water body, chemocline, immersion probe.

***Введение.*** Меромиктические водоёмы являются уникальными природными объектами, для которых характерны особые гидрологические и физико-химические условия, что также предопределяет своеобразную биоту таких водоёмов. В частности, для меромиктических водоёмов характерно образование слоистых структур как в водной толще, так и в донных отложениях. Толщины таких слоёв в некоторых случаях могут варьироваться от сантиметров (водные слои) до долей миллиметров (донные отложения) [1; 3; 4]. Также некоторые меромиктические водоёмы (в частности, озеро Доронинское Улетовского района Забайкальского края) отличаются малым запасом устойчивости по отношению к перемешиванию слоёв [5], что необходимо учитывать при отборах проб и исследованиях аппаратурными физическими и химическими методами.

Указанные особенности меромиктических водоёмов не позволяют использовать стандартные аппаратурные физико-химические методы, заимствованные из океанологии, без соответствующей адаптации [2]. Кроме того, по спектру поглощения видимого света можно косвенно судить об особенностях бактериального фотосинтеза, а также о наличии тех или иных видов бактерий в исследуемой воде [6].

Для исследования гидрологических и физико-химических условий меромиктических водоёмов, на примере озера Доронинское, а также для забора биологических проб из интересующих слоёв нами были разработаны следующие аппаратурные комплексы: комплекс ПС-3 – для исследования изменений характеристик придонного слоя воды по акватории водоёма с целью выявления зон, вода в которых по каким-либо причинам имеет отличающиеся от средних по водоёму характеристики; и комплекс ХВ-7 – для измерения 7 характеристик подлёдной воды в натурных условиях при помощи погружаемого в воду зонда специальной конструкции, а также для отбора проб воды с различных глубин в целях дальнейших исследований в лабораторных условиях.

***Описание установок.*** Комплекс ПС-3 был создан на основе надувной резиновой лодки (использование плавучих средств большей размерности исключалось по условиям измерений). На штативе специальной конструкции закреплялись источники электропитания и электронное оборудование, соединённое тросом и гибким кабелем с придонным зондом и донными санями (рис. 1).

***Рис. 1.*** Фото измерительной установки ПС-3, установленной на лодку

Измерялись следующие характеристики: глубина от поверхности, температура придонного слоя и удельное электрическое сопротивление воды на переменном токе частотой 1000 Гц. Также определялись географические координаты в точке измерений при помощи системы GPS. Оператором проводилась фотофиксация показаний измерительных приборов с периодом в 1–10 секунд, что соответствует пространственному разрешению комплекса до 1 метра.

Комплекс ХВ-7 состоит из блока с электронным оборудованием и погружаемого зонда с электродами и датчиками специальной конструкции (рис. 2).

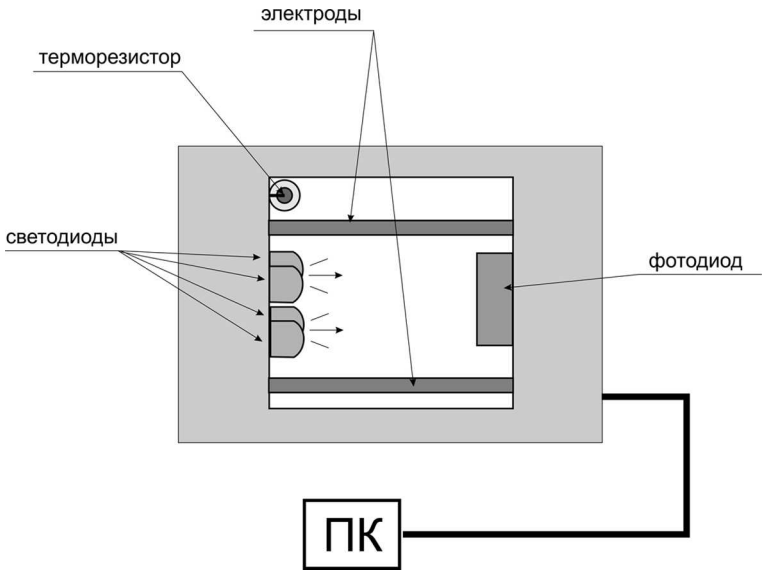


***Рис. 2.*** Схема погружного зонда установки ХВ-7

Комплекс ХВ-7 производит измерение следующих характеристик воды в натурных условиях с разрешением по глубине до 2,5 см: температура воды; удельная электрическая проводимость воды на переменном токе частотой 1000 Гц; естественная освещённость на поверхности и на глубине; коэффициент поглощения видимого света в красной, жёлтой, зеленой и синей частях спектра. Предусмотрен вывод результатов измерений на цифровой прибор (в ручном режиме измерений) и на систему сбора данных Agilent (в полуавтоматическом режиме). Также по результатам измерений расчётным путем могут быть определены коэффициенты поглощения воды для синтезированного белого света и коэффициенты относительной прозрачности воды в красной, жёлтой, зеленой и синей частях спектра.

Учитывая, что удельная проводимость воды определяется главным образом двумя факторами – её соленостью и температурой, по полученным ХВ-7 данным возможно косвенно определить солёность воды, а также её плотность.

Погружаемый зонд ХВ-7 подсоединен к блоку с электронным оборудованием посредством кабеля с двойной герметизацией. Герметизация электронных компонентов зонда осуществлена путем заливки битумной мастикой марки МБП. Также на мачте зонда может закрепляться заборная трубка вакуумного отборника проб воды, позволяющая проводить отбор проб из интересующих слоёв с разрешением по глубине до 5 см для химических и биологических исследований в лабораторных условиях.

***Обсуждение полученных результатов.*** При помощи комплекса ПС-3 было выявлено, в частности, что в летнее время по сочетанию своих физико-химических свойств вода оз. Доронинское образует два четко выраженных кластера на диаграмме «температура – электрическое сопротивление» (рис. 3), что связано с особенностями гидрологического режима этого водоёма.

Кластер с более высокими значениями температуры соответствует верхним слоям водоёма, а низкими – глубинным слоям. Такой вид диаграммы «сопротивление – температура» свидетельствует о наличии в озере двух относительно обособленных друг от друга зон, между которыми практически отсутствует массообмен.

При помощи прибора ХВ-7 в зимний период 2013 г. было обнаружено, в частности, существование в оз. Доронинское на глубине около 3 м тонкого (5–10 см) мигрирующего слоя воды с особыми оптическими, физическими и химико-биологическими свойствами (рис. 4).

Как видно из данного графика, прозрачность воды в тонком слое на глубине 3 м в синтезированном белом свете на 10–15 % ниже, чем вышележащих слоёв. Также выявлены спектральные особенности поглощения света в слоях воды. В области хемоклина наблюдается увеличение относительной прозрачности в красном свете на 2–3 %, сохраняющееся и на больших глубинах.

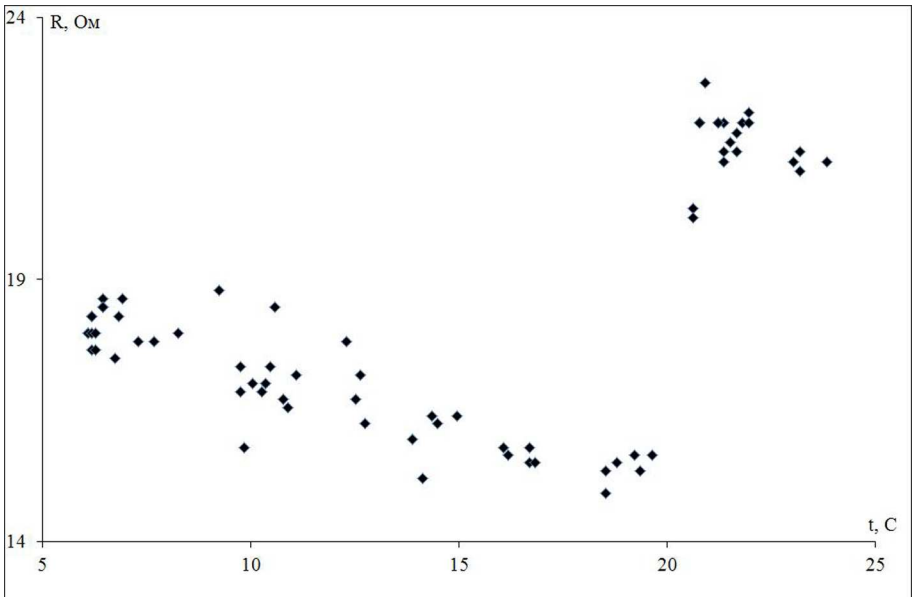


***Рис. 3.*** Зависимость сопротивления воды от температуры для оз. Доронинское. 17 августа 2012 год

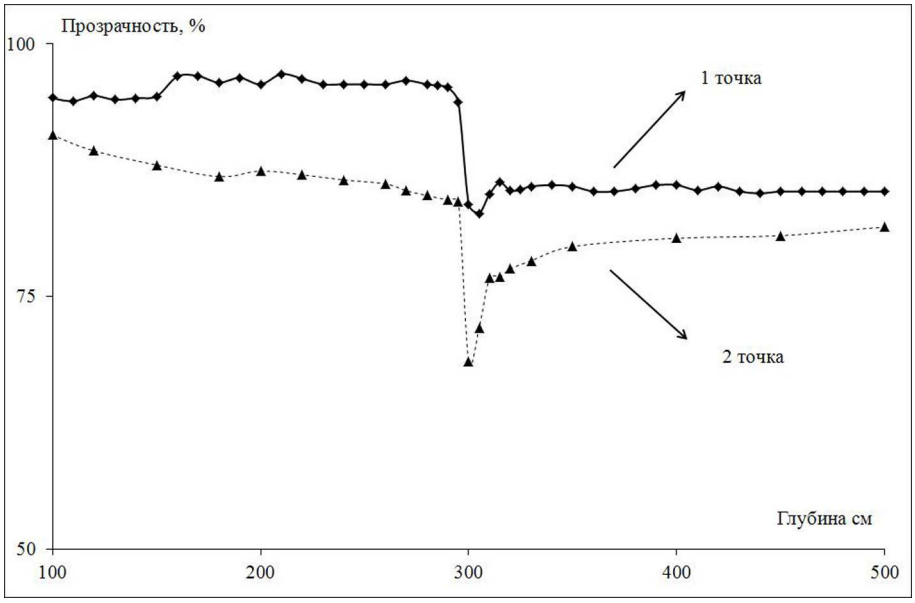


***Рис. 4.*** Прозрачность воды в зависимости от глубины в синтезированном белом свете на двух участках

Таким образом, разработанные приборы хорошо зарекомендовали себя при исследованиях гидрологического режима, физико-химических и биологических особенностей оз. Доронинское и могут быть использованы для аналогичных исследований других меромиктических водоёмов.

### *Список литературы*

1. Рогозин Д. Ю. Тонкослойное вертикальное распределение пурпурных серных бактерий в зонах хемоклина меромиктических озер Шира и Шунет (Хакасия) /Д. Ю. Рогозин, Н. В. Пименов, Д. Б. Косолапов, Ю. В. Чаньковская,А. Г. Дегерменджи // Доклады Академии наук. 2005. Т. 400. № 3. С. 426–429.

2. Rogozin D. Y., Degermendzhi A. G.Hydraulically-operated thin-layer sampler for sampling heterogeneous water columns // Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Биология. 2008. Т. 1. № 2. С. 111–117.

3. Tonolla M., Peduzzi S., Hahn D., Peduzzi R.Spatio-temporal distribution of

phototrophic sulfur bacteria in the chemocline of meromictic Lake Cadagno (Switzerland) // 2003. FEMS. Microbiol. Ecol. 43: 89–98.

4. Overmann J.Mahoney Lake: a case study of the ecological significance of phototrophic sulphur bacteria // Adv. Microb. Ecol. 1997. V. 15. P. 251–288.

5. Борзенко С. В., Замана Л. В. Восстановленные формы серы в рапе содового озера Доронинское (Восточное Забайкалье) // Геохимия. 2011. № 3. С. 268–276.

6. Joseph W Lengeler; G Drews; Hans Gunter Schlegel Biology of the prokaryotes. Stuttgart. New York: Thieme. Malden. MA: Distributed in the USA by Blackwell Science. 1999. 955 p.

### *References*

1. Rogozin D. Yu. Tonkosloynoye vertikalnoye raspredeleniye purpurnykh sernykh baktery v zonakh khemoklina meromikticheskikh ozer Shira i Shunet (Khakasiya) / D. Yu. Rogozin, N. V. Pimenov, D. B. Kosolapov, Yu. V. Chankovskaya, A. G. Degermendzhi // Doklady Akademii nauk. 2005. T. 400. № 3. S. 426–429.

2. Rogozin D. Y., Degermendzhi A. G. Hydraulically-operated thin-layer sampler for sampling heterogeneous water columns // Zhurnal Sibirskogo federalnogo universiteta. Seriya: Biologiya. 2008. T. 1. № 2. S. 111–117.

3. Tonolla M., Peduzzi S., Hahn D., Peduzzi R. Spatio-temporal distribution of phototrophic sulfur bacteria in the chemocline of meromictic Lake Cadagno (Switzerland) // 2003. FEMS. Microbiol. Ecol. 43: 89–98.

4. Overmann J.Mahoney Lake: a case study of the ecological significance of phototrophic sulphur bacteria // Adv. Microb. Ecol. 1997. V. 15. P. 251–288.

5. Borzenko S. V., Zamana L. V. Vosstanovlennye formy sery v rape sodovogo ozera Doroninskoye (Vostochnoye Zabaykalye) // Geokhimiya. 2011. № 3. S. 268–276.

6. Joseph W Lengeler; G Drews; Hans Gunter Schlegel Biology of the prokaryotes. Stuttgart. New York: Thieme. Malden. MA: Distributed in the USA by Blackwell Science. 1999. 955 p.

***Статья поступила в редакцию 18.04.2013***