

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК  
ИНСТИТУТ ВОДНЫХ ПРОБЛЕМ РАН  
РОССИЙСКИЙ ФОНД ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ВОДНЫХ РЕСУРСОВ  
ПАО «РусГидро»  
ВНИИГ имени Б.Е. ВЕДЕНЕЕВА  
РГАУ-МСХА имени К.А. ТИМИРЯЗЕВА  
ФГБОУВО «ВлГУ имени А.Г. и Н.Г. СТОЛЕТОВЫХ»



# ТРУДЫ

## V ВСЕРОССИЙСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ

### «ЛЕДОВЫЕ И ТЕРМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ НА ВОДНЫХ ОБЪЕКТАХ РОССИИ»



11–14 октября 2016 г.  
г. Владимир, Россия

Москва 2016

**Труды V Всероссийской конференции «Ледовые и термические процессы на водных объектах России», 11–14 октября 2016 г., г. Владимир: Сборник / Коллектив авторов. М.: Изд-во РГАУ-МСХА, 2016. 468 с.**

В труды включены доклады V Всероссийской конференции «Ледовые и термические процессы на водных объектах России». Основная задача конференции – представление и обсуждение наиболее важных и значимых результатов исследований в области ледовых и термических процессов на водных объектах России, полученных в последние три года, определение приоритетных направлений исследований в ближайшие годы и их координация.

*Организатор конференции* – ФГБУН «Институт водных проблем Российской академии наук».

*При поддержке* Российской академии наук, Российского фонда фундаментальных исследований, Федерального агентства водных ресурсов, ПАО «РусГидро», Всероссийского научно-исследовательского института гидротехники имени Б.Е. Веденеева, РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, ФГБОУВО «ВлГУ имени А.Г. и Н.Г. Столетовых».

ISBN 978-5-9675-1541-5

© Коллектив авторов, 2016

© Издательство РГАУ-МСХА, 2016

# ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ДЕЙТЕРИЯ В ВОДАХ ОЗЕРА ТРЕХЦВЕТНОГО В МАРТЕ 2016 ГОДА МЕТОДОМ ЯМР СПЕКТРОСКОПИИ<sup>1</sup>

А.В. Косенков<sup>\*</sup>, М.В. Мардашова<sup>\*\*</sup>, И.В. Изъюров<sup>\*\*\*</sup>,  
Ф.А. Балабин<sup>\*</sup>, М.В. Гуляев<sup>\*\*\*\*</sup>, В.И. Лобышев<sup>\*</sup>, Е.Д.  
Краснова<sup>\*\*\*</sup>

<sup>\*</sup> МГУ им. М.В. Ломоносова, Физический факультет,  
Москва, Россия

<sup>\*\*</sup> Центр морских исследований МГУ им. М.В. Ломоносова,  
Москва, Россия

<sup>\*\*\*</sup> Институт водных проблем Российской академии наук,  
Москва, Россия

<sup>\*\*\*\*</sup> Лаборатория Магнитной Томографии и  
Спектроскопии ФФМ МГУ, Москва

<sup>\*\*\*\*\*</sup> МГУ им. М.В. Ломоносова, Биологический  
факультет, Москва, Россия

e-mail: av.kosenkov@physics.msu.ru

## ВВЕДЕНИЕ

Трехцветное озеро, расположенное на северном берегу Ругозерской губы Кандалакпского залива Белого моря (координаты 66°35,53' 32°59,97'), является меромиктическим водоемом со специфическим гидрологическим режимом. Протяженность озера с востока на запад составляет 340 м, с севера на юг – 150 м, максимальная глубина 8 м, что значительно превышает глубины аналогичных окрестных озер. Водоем сообщается с морем через один порог. В норме происходит постоянный сток пресных поверхностных вод из

---

<sup>1</sup> Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант 16-05-00548-а)

озера, возможен обратный ток, требующий совпадения многих факторов, таких как сизигийных прилив, ветровой нагон морской воды и т. д. В результате поднятия берега, происходящего в беломорском регионе, озеро, бывшее проливом между материком и островом, постепенно отделилось от моря (Краснова и др., 2013; 2014). На данный момент структура водной массы озера содержит три стабильных слоя, кардинально отличающиеся по таким характеристикам как соленость, содержание газов и органических веществ и т. д., которые не перемешиваются между собой. Верхний метровый слой, соответствующий миксолимниону (слою, которым ограничивается вертикальное перемешивание) образован пресной болотной водой, окрашенной в бурый цвет гуминовыми веществами, ниже начинается зона резкого соленостного градиента (пикноклин), упирающаяся в тонкий (15 см) слой обитания зеленых серобактерий (Krasnova et al., 2015). Далее, до самого дна, простирается соленый, насыщенный сероводородом, монимолимнион (слой, не подверженный перемешиванию) окрашенный в лимонно-желтый цвет за счет полисульфидов. Исследования изотопно-кислородного состава воды показали, что в монимолимнионе вода обогащена тяжелым изотопом кислорода  $^{18}\text{O}$  (Лисицын и др., 2013). По некоторым данным в зимнее время в этом водоеме возможны аномальные концентрации дейтерия (Васильчук и др., в печати). Цель нашего исследования – проверить существование дейтериевой аномалии зимой 2016 г.

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

В марте 2016 г. работы на озере проводились в рамках комплексного исследования отделяющихся водоемов в окрестностях ББС МГУ. Над самой глубокой точкой озера воды с помощью погружного насоса были отобраны пробы с разных горизонтов (0 м; 1,5 м; 1,6 м; 1,7 м; 1,8 м, 1,9 м, 2 м, 3 м, 4 м, 5 м, 6 м, 6,5 м и 7 м). Образцы были доставлены в Москву и

проанализированы в ЛМТС ФФМ МГУ на томографе BioSpec 70/30 USR. Данный анализ заключался в определении концентрации ядер дейтерия в образцах отобранных в озере на разных глубинах (от поверхности до глубины 7 метров). Все образцы помещались в пробирки объемом 24 мл. Из теории ядерного магнитного резонанса (ЯМР) известно, что концентрация вещества (или количество ядер) прямо пропорциональна площади под пиком линии спектра. Поэтому площадь под пиком эталонного образца нормировалась на его известную концентрацию 142 ppm, а остальные значения площадей вычислялись с учетом этой нормировки (Рис. 1). Для определения концентрации ядер дейтерия снимался спектр ЯМР с каждого образца. При анализе использовалась поверхностная приемо-передающая катушка, настраиваемая на Ларморовскую частоту ядер дейтерия 46,17 МГц в постоянном магнитном поле 7 Т. В анализе использовался эталонный образец с относительной концентрацией дейтерия 142 ppm.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

Результаты измерения концентрации дейтерия методом магнитного ядерного резонанса приведены на рис. 1 и рис. 2 и в табл. 1.

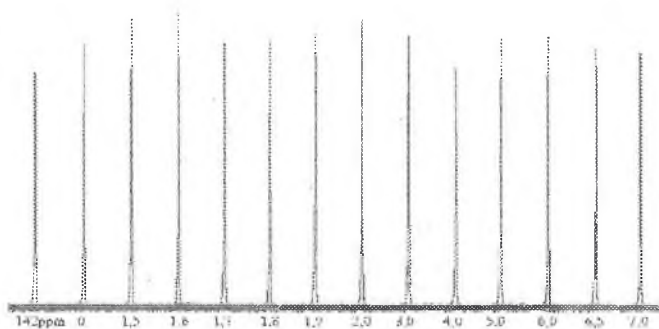


Рис. 1. 2D-ЯМР спектры образцов воды озера Трехцветного в зависимости от глубины

Примечание: Левый пик соответствует сигналу эталонного образца.

Таблица 1.

Относительная концентрация дейтерия воды на разных глубинах

Глубина, м	Относительная концентрация дейтерия, ppm	$\delta^2\text{H}$ , ‰ SMOW
0.0	152±3	-26±18
1.5	146±4	-62±22
1.6	151±3	-32±18
1.7	152±3	-20±18
1.8	149±4	-44±22
1.9	151±3	-26±18
2.0	145±4	-69±22
3.0	144±4	-75±22
4.0	145±4	-69±22
5.0	144±4	-75±22
6.0	142±4	-87±22
6.5	140±4	-99±22
7.0	135±5	-129±33

Примечание: ± среднее квадратичное отклонение.

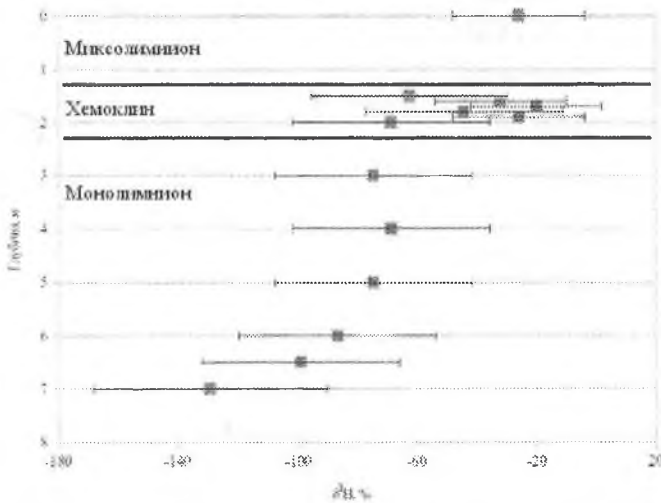


Рис. 2. Распределение вариаций  $\delta^2\text{H}$  по глубине оз. Трехцветного в марте 2016 г.

Анализ показал, что относительная концентрация ядер дейтерия в водах озера резко изменяется в области хемоклина. Такое изменение не соответствует ранее полученным данным по изотопному составу озера. Используемая методика нацелена на быстрое и незатратное выявление значительных флуктуаций изотопного состава воды.

В табл. 2. для сравнения приведена относительная концентрация дейтерия в других водосмах.

*Таблица 2.*

Относительная концентрация дейтерия в водах рек морей и озер

Место взятия пробы воды	Относительная концентрация дейтерия, ppm	$\delta^2\text{H}$ , ‰ SMOW
Озеро Байкал	137	-119
Река Волга	139	-106
Река Урал, д. Ивановка	139	-106
Река Тепля, Карловы Вары	141	-93
Водопровод г. Москва	142	-87
Река Десна, г. Чернигов	143	-80
Река Днепр, г. Киев	145	-68
Баренцево море	149	-42
Черное море, г. Сочи	150	-35
Каспийское море, р-н Актау	151	-29
Международный стандарт SMOW	155,5	0

## ВЫВОД

Таким образом, зимой 2016 г. аномальные концентрации дейтерия не выявлены.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Васильчук Ю. К., Лисицын А. П., Шевченко В. П., Буданцева Н. А., Кокрятская Н. М., Краснова Е. Д., Пантюлин А. П., Саввичев А. С., Филиппов А. С., Чиждова Ю. Н., в печати. Изотопная индикация стадий меромиксии в отделяющихся водоемах на беломорском побережье // *Океанология*, в печати.
2. Краснова Е. Д., Демиденко Н. А., Пантюлин А. Н., Фролова Н. Л., Ефимова Л. Е., Широкова В. А. Термический и ледовый режим реликтовых водоемов, отделяющихся от Белого моря // В сб.: «Динамика и термика рек, водохранилищ и прибрежной зоны морей». VIII Международная научно-практическая конференция (Москва, РУДН, 24-27 ноября 2014 г.). – Т. 1. – 2014. – С. 430–443.
3. Краснова Е. Д., Пантюлин А. Н., Белевич Т. А., Воронов Д. А., Демиденко Н. А., Житина Л. С., Ильяш Л. В., Кокрятская Н. М., Лунина О. Н., Мардашова М. В., Прудковский А. А., Саввичев А. С., Филиппов А. С., Шевченко В. П. Комплексные исследования отделяющихся водоемов на разных стадиях изоляции от Белого моря в марте 2012 г. // *Океанология*. – 2013. – Т. 53, № 5. – С. 714–717.
4. Лисицын А. П., Васильчук Ю. К., Шевченко В. П., Буданцева Н. А., Краснова Е. Д., Пантюлин А. Н., Филиппов А. С., Чиждова Ю. Н. Изотопно-кислородный состав воды и снежно-ледяного покрова отделяющихся водоемов на разных стадиях изоляции от Белого моря // Доклады Академии наук. 2013. – Т. 449, № 4. – С. 467–473.
5. Krasnova E.D., Kharcheva A.V., Milyutina I.A., Voronov D.A., Patsaeva S.V. Study of microbial communities in redox zone of meromictic lakes isolated from the white sea using spectral and molecular methods // *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*. – V. 95(8). – 2015. – Pp. 1579–1590.