

многолетнем плане как в русле, так и в рукавах дельты Волги отмечается достаточно устойчивое загрязнение водных масс приоритетными ЗВ (табл.3). Класс качества вод по УКИЗВ менялся в рассматриваемый период от 3 «а» загрязненная до 4 «а» грязная.

### **Выводы**

Установлено, что в некоторых случаях существует связь концентраций ЗВ с объемом стока. Однако для одних веществ (например, цинка, меди и углеводов) отмечаются заметные отличия между многоводными и маловодными периодами, а для других такие различия невелики (БПК<sub>5</sub>, фенолы).

На всех станциях и водотоках Нижней Волги отмечается падение концентраций ЗВ в период с 2003 г., что обусловлено рядом факторов, в том числе и уменьшением водности.

Анализ уровня загрязнения вод с использованием кривых обеспеченности показателей позволил выявить особенности качества вод русловой части при различной водности Волги и рассмотреть тенденции его изменения, что важно для прогнозирования качества вод.

### **Библиографический список**

1. Оксиюк О.П., Жукинский В.Н., Брагинский Л.П., Линник П.Н., Кузьменко М.И., Кленус В.П. Комплексная экологическая классификация качества поверхностных вод суши // Гидробиологический журнал. 1993. Т.29. №4. С. 62–76.

УДК 556.047

М.Г. Гречушникова<sup>1,3</sup>, И.А. Репина<sup>2,4</sup>, В.С. Казанцев<sup>4</sup>, А.Ю. Артамонов<sup>4</sup>,  
В.А. Ломов<sup>1</sup>, Д.В. Ломова<sup>3</sup>, Е.Р. Кременецкая<sup>3</sup>, [allavis@mail.ru](mailto:allavis@mail.ru)

<sup>1</sup> Московский государственный университет, г.Москва

<sup>2</sup> Научно-исследовательский вычислительный центр МГУ, г.Москва

<sup>3</sup> Институт водных проблем РАН, г.Москва

<sup>4</sup> Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, г.Москва

### **СЕЗОННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ УДЕЛЬНОГО ПОТОКА МЕТАНА С ПОВЕРХНОСТИ МОЖАЙСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА \***

Приведены результаты измерений значений удельного потока метана с поверхности слабопроточного долинного водохранилища, выявлены факторы его пространственно-временных изменений. Сопоставлены результаты определения диффузионного потока инструментальным и расчетным методами.

*Ключевые слова:* метан, водохранилище, эмиссия, растворенный кислород, стратификация, удельный поток.

---

© Гречушникова М.Г., Репина И.А., Казанцев В.С., Артамонов А.Ю., Ломов В.А., Ломова Д.В., Кременецкая Е.Р., 2019

\*Работа выполнена при финансовой поддержке проекта РФФИ-РГО\_а 17-05-41095

M.G. Grechushnikova<sup>1,3</sup>, I.A. Repina<sup>2,4</sup>, V.S. Kazantcev<sup>4</sup>, A.Yu. Artamonov<sup>4</sup>, V.A. Lomov<sup>1</sup>, D.V. Lomova<sup>3</sup>, E.R.Kremenetskaya<sup>3</sup>, [allavis@mail.ru](mailto:allavis@mail.ru)

<sup>1</sup>Moscow State University, Moscow

<sup>2</sup>Research Computing Center of MSU, Moscow

<sup>3</sup>Institute of Water Problems of RAS, Moscow

<sup>4</sup>A.M.Obukhov Institute of Atmospheric Physics of RAS, Moscow

## METHANE FLUX SEASONAL VARIATION FROM THE SURFACE OF MOZHAISK RESERVOIR

The results of methane flux from reservoir with slow water exchange measurements and main factors of its spatio-time fluctuations are presented. The results of calculation and measurements of diffusive flux are compared.

*Keywords:* methane, reservoir, emission, dissolved oxygen, stratification, flux.

**Введение.** Актуальной задачей является оценка поступления парниковых газов от антропогенных источников. К ним относятся и водохранилища, общая площадь которых оценивается в 205000-250000 км<sup>2</sup> без учета зарегулированных озер. По имеющимся данным наблюдений в различных природных зонах [9] (общим числом около 165 водоемов) интенсивность выбросов парниковых газов зависит от морфометрических параметров водохранилищ, геоэкологических условий их размещения (природной зоны, ландшафтных условий на водосборе, гидрологического режима, их возраста и др.[4]). Увеличение температуры воды интенсифицирует деятельность микроорганизмов и поток метана с поверхности [11]. Разброс значений удельного потока метана с водохранилищ в пределах различных климатических поясов [14] связан с тем, что климат не является доминирующим фактором. Отмечается недостаточность натуральных экспедиционных данных [12], эмиссии метана с водохранилищ России изучена слабо [10]. Цель работы – оценка пространственно-временной изменчивости удельного потока метана с поверхности слабопроточного долинного водохранилища.

**Объекты и методы.** Объект исследования – морфометрически простое слабопроточное долинное Можайское водохранилище (рис. 1), расположенное в верховьях р. Москвы с коэффициентом водообмена 1,15 год<sup>-1</sup>, стратифицированное в летний и зимний периоды [6].



Рис. 1. Схема Можайского водохранилища

Измерения плотности потока метана методом плавучих камер [7] производились в 2015-2018 гг. в центральной части водоема (станция IV) в период открытой воды от 4 до 13 раз за сезон с отбором проб воды из поверхностного и придонного горизонтов (10-20 раз за сезон) [13]. В 2018 г. измерения суммарного и диффузионного потока метана производились двумя камерами одновременно. К одной из камер (диффузионной) снизу в 70 см от ее дна был подвешен щит, площадью в 2 раза больше площади основания камеры для отклонения всплывающих пузырьков. Вторая камера улавливала суммарный (пузырьковый и диффузионный) поток метана. Также производились периодические гидролого-гидрохимические съемки по продольной оси водохранилища (3-5 раз в сезон) [3] на станциях, расположенных над затопленным руслом (римские цифры, рис. 1), которые отличаются характером грунта и скоростью потребления кислорода [2].

Для определения содержания метана в пробах воды и воздуха использовался метод фазово-равновесной дегазации [1; 5; 7]. Расчет диффузионного удельного потока метана в атмосферу произведен методом тонкого поверхностного слоя TBL (Thin Boundary Layer, [13]) по разнице концентрации метана между поверхностным и придонным слоями с использованием параметризации коэффициента обмена по [8].

**Результаты и их обсуждение.** Из-за сложившейся синоптической обстановки в 2015 и 2017 гг. ветровое перемешивание привело к формированию менее устойчивой стратификации, чем в 2016 и особенно в 2018 гг, когда разность температуры воды на поверхности и у дна достигала существенно больших величин. В 2015 и 2017 гг. бескислородные условия в центральном районе водохранилища образовались во 2 декаде июня и 1 декаде июля соответственно, а аэрация при разрушении стратификации отмечалась в 3 декаде августа и 1 декаде сентября соответственно. В 2016 и 2018 гг. бескислородные условия наблюдались дольше: со 2 декады июня по 2 декаду сентября и с первой декады июня по 1 декаду октября. Данные особенности гидрологического режима отразились на режиме измерения содержания и эмиссии метана в годы, охваченные наблюдениями.

По данным плавучих камер в центральном районе водохранилища выявлено значительное увеличение значений суммарного потока метана к моменту окончания периода летней стратификации (рис. 2А). В 2018 г. значения плотности потока метана за период стратификации меньше по сравнению с аналогичными периодами 2017 г., а максимума достигают в третьей декаде сентября (рис. 2А). Процессы метаногенеза при более низкой температуре придонной воды (рис. 3) протекают менее активно, однако из-за более продолжительных бескислородных условий в 2018 г. в сентябре содержание метана в придонном горизонте выше, чем в 2017 г. (рис. 2Б). Максимальные значения содержания метана в придонном горизонте отмечаются после вспышек «цветения» фитопланктона (источника автохтонной органики). По данным комплексных измерений существенный сезонный рост потока метана происходит тогда, когда уменьшается градиент температуры воды в водной

толще и верхняя граница бескислородной зоны достигает нижней границы эпилимниона (рис. 3).

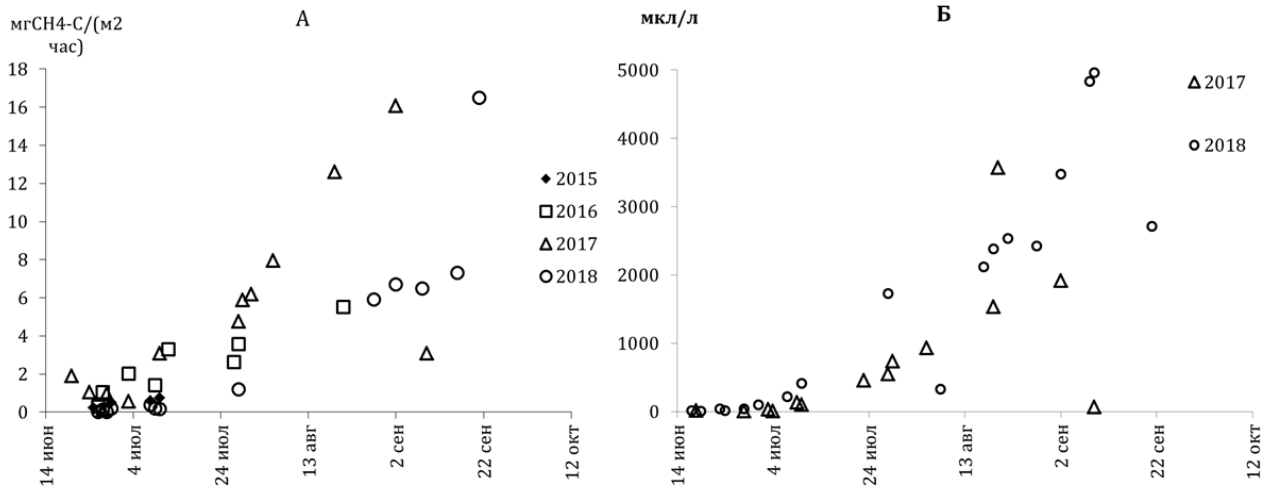


Рис. 2. Удельная плотность суммарного потока метана  $\text{mgCH}_4\text{-C}/(\text{м}^2 \text{ час})$ , полученная методом плавучих камер на станции IV в 2015-2018 гг. (А), содержание метана в придонном горизонте,  $\text{мкл/л}$  (Б)

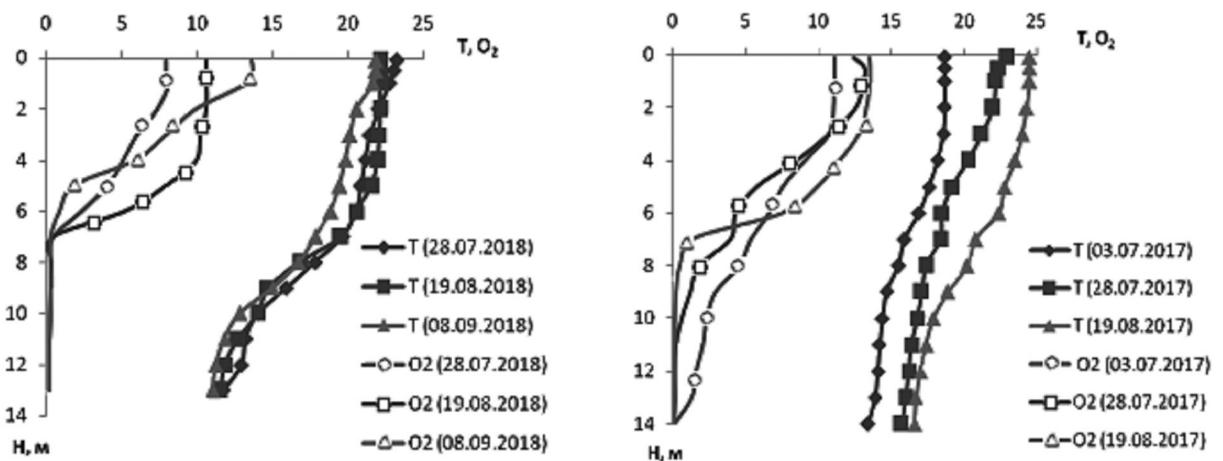


Рис. 3. Вертикальное распределение температуры воды ( $^{\circ}\text{C}$ ) и растворенного кислорода ( $\text{мг/л}$ )

По данным измерений двумя камерами в 2018 г. до конца июля значения удельного потока, измеренные обеими камерами (диффузионной и суммарной), практически идентичны (в среднем  $0,2 \text{ mgCH}_4\text{-C}/(\text{м}^2 \text{ час})$ ). После того как бескислородная зона достигла нижней границы эпилимниона, измеренные значения удельного потока метана в «диффузионной» камере оказались меньше, чем в «суммарной» камере. Причем доля диффузионного потока уменьшалась по мере роста суммарного потока от 26 до 1,3%, что свидетельствует о значительной роли пузырькового потока в общей эмиссии метана в слабопроточном стратифицированном водохранилище.

Значения диффузионного потока метана, определенного методом TBL, от верховьев к плотине уменьшаются из-за увеличения толщины аэрированного

слоя воды и уменьшения расстояния до источника метана – донных отложений (таблице). Эта закономерность проявилась в 2015 и 2017 гг. с менее выраженной стратификацией. В 2016 и 2018 гг. значения диффузионного потока в течение лета существенно не увеличивались и пространственные изменения выражены только в начале лета.

**Характерные расчетные значения удельного диффузионного потока метана в Можайском водохранилище ( $\text{мгСН}_4\text{-С}/(\text{м}^2 \text{ час})$  по данным 2015-2018 гг.**

Район	июнь			июль			август		
	Ср.	min	max	Ср.	min	max	Ср.	min	max
Верховья	0,1	0,03	0,27	0,16	0,07	0,26	0,3	0,05	0,82
Центральный	0,1	0,04	0,19	0,16	0,05	0,29	0,21	0,05	0,57
Приплотинный	0,04	0,02	0,11	0,06	0,03	0,08	0,13	0,03	0,43

Сопоставление значений диффузионного потока метана, определенного методом TBL и измеренного камерой, показало хорошую сходимость в июне. Далее измеренные значения превышают расчетные (рис. 4), что может быть связано как с несовершенством задания коэффициента обмена при расчете, так и с несовершенством камеры (недостаточная площадь отклоняющего пузырьки щита или их растворение под щитом). Однако доля диффузионного потока в конце лета пренебрежимо мала по сравнению с пузырьковым потоком.

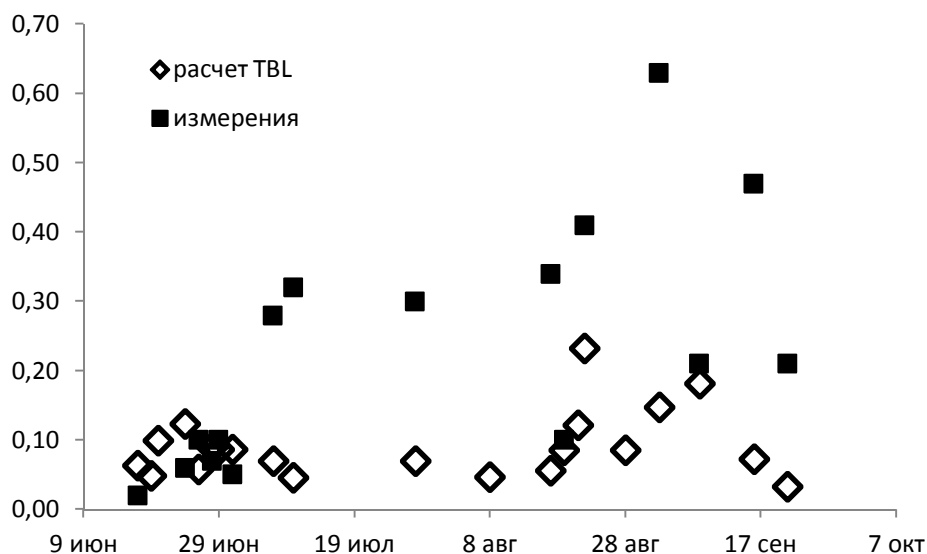


Рис. 4. Результаты расчета и измерения диффузионного потока в 2018 г. ( $\text{мгСН}_4\text{-С}/(\text{м}^2 \text{ час})$ )

Для 2017 и 2018 гг. с наиболее частыми наблюдениями оценка среднего за период открытой воды значения потока метана с поверхности центрального района составила 90 и 63  $\text{мгСН}_4\text{-С}/(\text{м}^2 \text{ час})$  соответственно. Т.е. различие синоптических условий и гидрологического режима приводит к значительным колебаниям суммарного потока метана с поверхности водоемов.

**Выводы**

В слабопроточном долинном водохранилище наблюдается значительная пространственно-временная неоднородность удельной плотности потока метана,

обусловленная различием гидрологического режима его районов, отличающихся средней глубиной. Содержание метана в водохранилище определяется синоптической ситуацией, особенностями плотностного расслоения, термического и кислородного режима водоема в тот или иной год.

### Библиографический список

1. *Большаков А.М., Егоров А.В.* Результаты газометрических исследований в Карском море // *Океанология*. 1995. Т. 35. № 3. С. 399–404.
2. *Бреховских В.Ф., Вишневецкая Г.Н., Кременецкая Е.Р., Ломова Д.В.* Об оценке потребления кислорода разными типами грунтов долинных водохранилищ в летний период // *Метеорология и гидрология*. 2006. № 10. С.82–91.
3. *Гречушников М. Г., Бадюков Д.Д., Саввичев А.С., Казанцев В.С.* Сезонные и пространственные изменения содержания метана в Можайском водохранилище в летний период // *Метеорология и гидрология*. 2017. №11. С.67–78.
4. *Гречушников М.Г., Репина И.А., Степаненко В.М., Казанцев В.С., Артамонов А.Ю., Варенцов М.И., Ломова Д.В., Мольков А.А., Капустин И.А.* Пространственно-временные изменения содержания и эмиссии метана в водохранилищах с различным коэффициентом водообмена // *Изв. РГО*. 2018. Т.150. Вып. 5. С.14–33.
5. Методические указания. Методика выполнения измерений концентрации метана в водах парофазным газохроматографическим методом. РД 52.24.512-2002.
6. *Пуклаков В.В., Даценко Ю.С., Гончаров А.В., Эдельштейн К.К., Гречушников М.Г., Ершова М.Г., Белова С.Л., Соколов Д.И., Пуклакова Н.Г., Ерина О.Н., Аракельянц А.Д.* Гидроэкологический режим водохранилищ Подмосковья (наблюдения, диагноз, прогноз). Москва: Перо, 2015. 284 с.
7. *Bastviken D., Cole J., Pace M., Tranvik L.* Methane emissions from lakes: Dependence of lake characteristics, two regional assessments, and a global estimate // *Global Biogeochem. Cycles*. 2004. V. 18. GB4009. Doi: 10.1029/2004GB002238.
8. *Cole J.J., Caraco N.F.* Atmospheric exchange of carbon dioxide in a low-wind oligotrophic lake measured by the addition of SF<sub>6</sub> // *Limnol. Oceanogr.* 1998. V. 43. P. 647–656. Doi: 10.4319 / lo.1998.43.4.0647.
9. *Deemer B. R., Harrison J. A., Li S., Beaulieu J.J., Delsontro T., Barros N., Bezerra-Neto J., Powers S.M., Dos Santos M.A. and Vonk J.A.* Greenhouse Gas Emissions from Reservoir Water Surfaces: A New Global Synthesis, *BioScience*, Volume 66, Issue 11, 1 November 2016. P. 949–964. <https://doi.org/10.1093/biosci/biw117>.
10. *Fedorov M.P., Elistratov V.V., Maslikov V.I., Sidorenko G.I., Chusov A.N., Atrashenok V.P., Molodtsov D.V., Savvichev A.S., Zinchenko A.V.* Reservoir Greenhouse Gas Emissions at Russian HPP // *Power Technology and Engineering*. – 2015. –V. 49, No. 1. –P. 33–36. Doi: 10.1007/s10749-015-0569-3.

11. Rosa L.P., Dos Santos M.A., Matvienko B., Dos Santos E.O., Sikar E. Greenhouse gas emissions from hydroelectric reservoirs in tropical regions // Climatic change. 2004. V.66, No 1-2. P. 9-21.

12. Tremblay A., Varfalvy L., Roehm C., Garneau M. (eds) Greenhouse Gas Emissions — Fluxes and Processes. Environmental Science. Springer, Berlin, Heidelberg. Doi: 10.1007/978-3-540-26643-3\_12.

13. UNESCO / The International Hydropower Association. GHG Measurement Guidelines for Freshwater Reservoirs; Goldenfum, J.A., Ed.; London, UK, 2010.

14. Varis O., Kumm M., Härkönen S., Huttunen J.T. (2012) Greenhouse Gas Emissions from Reservoirs. In: Tortajada C., Altinbilek D., Biswas A. (eds) Impacts of Large Dams: A Global Assessment. Water Resources Development and Management. Springer, Berlin, Heidelberg. P. 69-94. Doi: 10.1007/978-3-642-23571-9\_4.

УДК 556.551:621.311.25

И.Л. Григорьева<sup>1</sup>, [Irina\\_Grigorieva@list.ru](mailto:Irina_Grigorieva@list.ru)

А.Б. Комиссаров<sup>1</sup>, В.В. Кузовлев<sup>2</sup>, Е.Е. Лапина<sup>1</sup>, Е.А. Чекмарева<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Иваньковская НИС – филиал Института водных проблем РАН, г. Конаково

<sup>2</sup>Тверской государственный технический университет, г. Тверь

### **ОСОБЕННОСТИ ЗИМНЕГО ГИДРОХИМИЧЕСКОГО РЕЖИМА ВОДОХРАНИЛИЩ БАССЕЙНА ВЕРХНЕЙ ВОЛГИ\***

Представлены результаты исследования зимнего гидрохимического режима водохранилищ бассейна верхней Волги. Установлено, что в зимний период при сработке уровня и уменьшении объема стока увеличиваются в воде концентрации главных ионов, биогенных элементов, тяжелых металлов, нефтепродуктов по сравнению с другими сезонами года. Для водных масс верхневолжских водохранилищ характерна небольшая жесткость, нейтральный показатель рН и низкая цветность. Отмечено увеличение концентраций гидрокарбонатов от поверхности ко дну.

*Ключевые слова:* зимний режим, качество воды, водохранилища, верхняя Волга.

I.L.Grigroryeva<sup>1</sup>, [Irina\\_Grigorieva@list.ru](mailto:Irina_Grigorieva@list.ru)

A.B.Komissarov<sup>1</sup>, V.V.Kuzovlev<sup>2</sup>, E.E. Lapina<sup>1</sup>, E.A.Chekmaryova<sup>1</sup>

<sup>1</sup>The Ivankovskaya Research Station, Institute of Water Problems of RAS, Konakovo

<sup>2</sup>Tver State Technical University, Tver

### **FEATURES OF THE WINTER HYDROCHEMICAL REGIME OF THE UPPER VOLGA RESERVOIRS**

There are presented results of the study of the winter hydrochemical regime of some reservoirs of the UpperVolga. It is established that in winter, when the level is triggered and the volume of water is decreases, the concentrations of the main ions, nutrients, heavy metals, oil products are increase in

---

© Григорьева И.Л., Комиссаров А.Б., Кузовлев В.В., Лапина Е.Е., Чекмарева Е.А., 2019

\*Исследование выполнено в рамках поддержанного РФФИ и Правительством Тверской области научного проекта № 18-45-690001