

## ПРОБЛЕМЫ ОЦЕНКИ ЭМИССИИ МЕТАНА С ПОВЕРХНОСТИ ВОДОХРАНИЛИЩ

***М.Г.Гречушникова<sup>1,2)</sup>, В.С.Казанцев<sup>2)</sup>***

*<sup>1)</sup>Московский государственный университет, г. Москва, Россия, e-mail:  
allavis@mail.ru*

*<sup>2)</sup>ИФА РАН, г. Москва, Россия*

По данным натурных наблюдений авторов выполнен анализ изменчивости удельного потока метана на крупнейших водоемах России. Показан вклад различных составляющих (диффузионного и пузырькового потока) в общую эмиссию. Проведено сравнение эмиссии по данным полевых наблюдений с материалами зарубежной теоретической оценки. Предложен подход для оценки потока метана с разнотипных водохранилищ.

*Ключевые слова:* эмиссия метана; водохранилища; донные отложения; водообмен; глубина, трофический статус.

## PROBLEMS OF ESTIMATING METHANE EMISSIONS FROM THE SURFACE OF WATER RESERVOIRS

***M. G. Grechushnikova<sup>1,2)</sup>, V.S. Kazantsev<sup>2)</sup>***

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

*Moscow, Russia, e-mail: allavis@mail.ru*

The authors analyzed the variability of the specific methane flux in the largest water bodies of Russia based on field observations. The contribution of different components (diffusion and bubble flow) to the total emission is shown. The emission according to field observation data is compared with the materials of foreign theoretical estimates. An approach for the estimation of methane flow from different types of reservoirs is proposed.

*Keywords:* Methane emissions; reservoirs; bottom sediments; water exchange; depth; trophic statu.

Эмиссия метана из искусственных водоемов в последнее время является предметом активного изучения. Наиболее значимой обобщающей работой по оценке внутригодовой изменчивости удельного потока метана с водохранилищ различных природных зон является статья [1]. Она содержит сведения о характерных среднемесячных значениях удельного потока метана (его диффузионной и пузырьковой составляющей) для водохранилищ различных природных зон на основе обобщения проведенных ранее полевых измерений. Однако первичные данные показывают значительный

разброс измерений, причем зависимости удельного потока от определяющих его факторов (температура поверхности донных отложений, температура воды, воздуха, содержание кислорода в поверхностном слое) имеют очень низкий коэффициент корреляции из-за многофакторности процесса. Например многолетние измерения потока метана в центральном районе Можайского водохранилища показали, что несмотря на общую тенденцию его увеличения в летний период из-за прогревания придонного слоя, роста численности фитопланктона, увеличения продолжительности аноксии, снижения уровня воды в водохранилище, там не менее его величина сильно зависит от гидрологической структуры водоема в каждом конкретном году, которая определяется погодными условиями (рис. 1).

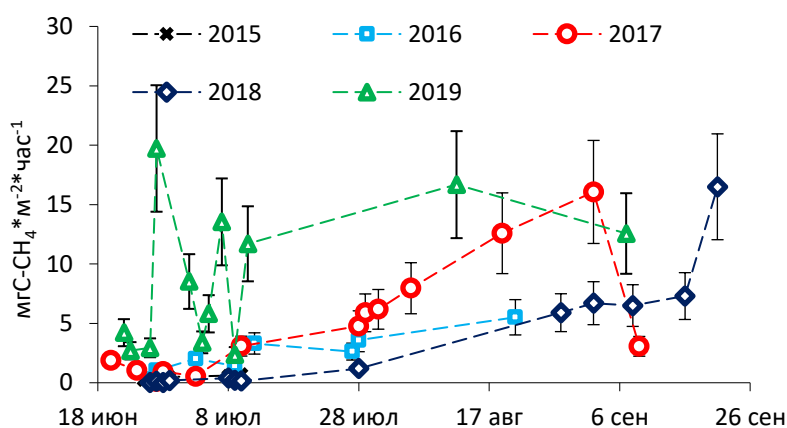


Рис. 1. Изменение удельного потока метана в атмосферу в течение летнего периода в центральном районе Можайского водохранилища

Помимо временной изменчивости потоков для водохранилищ характерны их значительные пространственные изменения, связанные с особенностями строения их котловин и различиями накопления и состава донных отложений. Для бедных органическим веществом (ОВ) донных отложений характерны наиболее низкие потоки метана, в то время как богатые ОВ потенциально выделяют в водную толщу существенно большее его количество. Вопросы метаногенеза в донных отложениях и выделения метана в воду рассмотрены в трудах А.Н. Дзюбана и обобщены в работе [2]. Показано, что наименьшая скорость метаногенеза характерна для песков и глинистых грунтов речных участков, а максимальная — для осадков загрязняемых зон. Подход к интегральной оценке эмиссии метана, изложенный в [1] не учитывает пространственную дифференциацию донных отложений в водоемах, а также их проточность. В результате сравнение измеренных данных на различных водохранилищах умеренной зоны, к которым отно-

сится большинство искусственных водоемов России, показало значительные отличия фактических значений удельного потока метана от теоретических обобщенных [3]. Малоизученными вопросами являются внутрисуточные изменения интенсивности эмиссии метана [4], а также его поток с зарослей макрофитов. Причем, по данным исследований, макрофиты могут как увеличивать, так и уменьшать величину удельного потока [5].

На основе данных собственных измерений в разные фазы гидрологического режима разнотипных водохранилищ авторы разработали подход для параметризации потока метана, состоящий в использовании его максимальных измеренных значений, подразделяя водоемы по признаку глубокководности. Глубина водоема (продольный профиль, относительная глубокководность) оказывает значительное влияние на его термический, кислородный и, в итоге, гидроэкологический режим. Глубокководные горные водохранилища имеют преимущественно олиготрофный или мезотрофный статус, что также определяет интенсивность потока метана с их поверхности. Равнинные водохранилища обычно мелководны, их глубина не превышает 30-35 м, что обуславливает лучшее прогревание придонных слоев [6] и соответственно более активный метаногенез. Водосборы равнинных водохранилищ более освоены и подвержены загрязнению (промышленность, сельское хозяйство, урбанизация), поэтому эти водоемы чаще имеют мезотрофный или евтрофный статус [7]. Для них характерно формирование донных отложений с большей долей органической составляющей по сравнению с олиготрофными водоемами горных территорий [8]. Столь значимый фактор как водообмен при обобщении полученных результатов имеет второстепенную роль, поскольку в водохранилищах сезонного регулирования в периоды с жаркой погодой удельный поток метана сопоставим с малопроточными водохранилищами [9].

Измерения удельного потока метана производились авторами по единой методике. Определение концентрации метана в пробах воды производилось методом «headspace» [10]. Для каждой станции измерений определяется температурный профиль воды и атмосферное давление. Измерение удельного потока метана в атмосферу производилось методом плавучих камер [11]. Содержание метана в отобранных пробах определялось в ИФА РАН на газовом хроматографе с пламенно-ионизационным детектором Хроматэк-Кристалл 5000.2, согласно [12].

Для оценки максимальных значений удельного потока метана с глубоководных (рис. 2) и мелководных (рис. 3) водохранилищ использованы огибающие, построенные с учётом максимальных значений удельных потоков, которые описываются степенной или экспоненциальной зависимостью.

В группе глубоководных водохранилищ значения максимального удельного потока метана в период наличия стратификации и ее отсутствия различаются незначительно, а в группе мелководных водохранилищ эти значения различаются в 10 раз. Следовательно ошибка определения средней годовой величины потока метана в этой более многочисленной группе водоемов может быть больше. Для мелководных водохранилищ имеет место неопределенность значений потока для интервала глубин менее 10 м. Чем меньше глубина, тем больше вероятность перемешивания до дна и снижения значения потока. С другой стороны, мелководные участки могут зарастать, и в период стратификации литораль может давать довольно значительный вклад в эмиссию. Но в водоемах с большой амплитудой колебаний уровня воды участки с песчаными отложениями или заиленным песком могут занимать значительную площадь периферии. Поэтому для адекватной оценки эмиссии с водоема необходимо иметь представление о зарастании его берегов, что возможно получить по данным ДЗЗ, а также о характере грунта. При отсутствии данных грунтовой съемки можно воспользоваться аналогией и принять распределение грунта в соответствии с морфологией затопленной долины. Данные, приведенные на рис. 2 и 3, относятся главным образом к русловым станциям, однако на некоторых водохранилищах проводились измерения на пойменных станциях. Таким образом глубина может косвенно характеризовать и условия осадконакопления в центральных и приплотинных районах долинных водохранилищ. Речные участки чаще имеют песчаные отложения с минимальным значением удельного потока. Поэтому для детальной оценки эмиссии водоем необходимо районировать. Для предварительных оценок эмиссии достаточно воспользоваться зависимостью удельного потока от средней глубины.

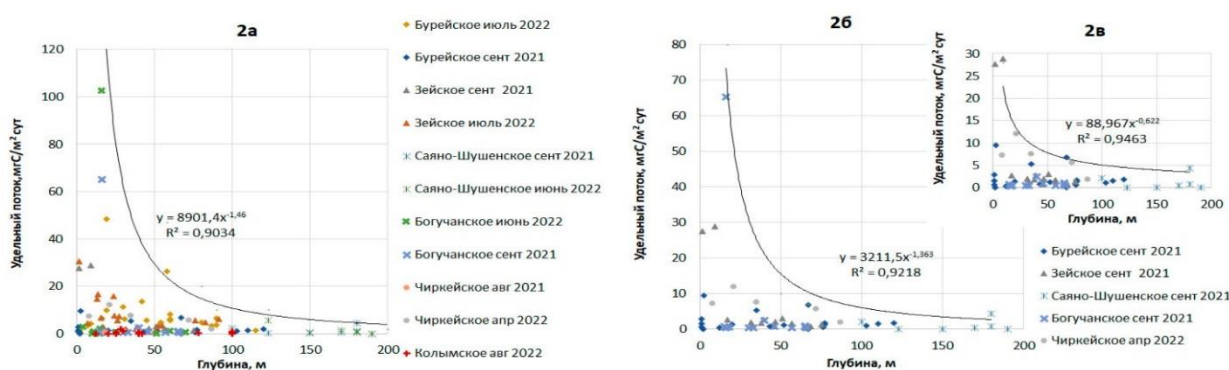


Рис. 2. Зависимость удельного потока метана с районов глубоководных водохранилищ разной глубины: 2а – по данным полного массива, 2б – при отсутствии стратификации, 2в – без учета локальных максимумов (Ковинского плеса Богучанского водохранилища)

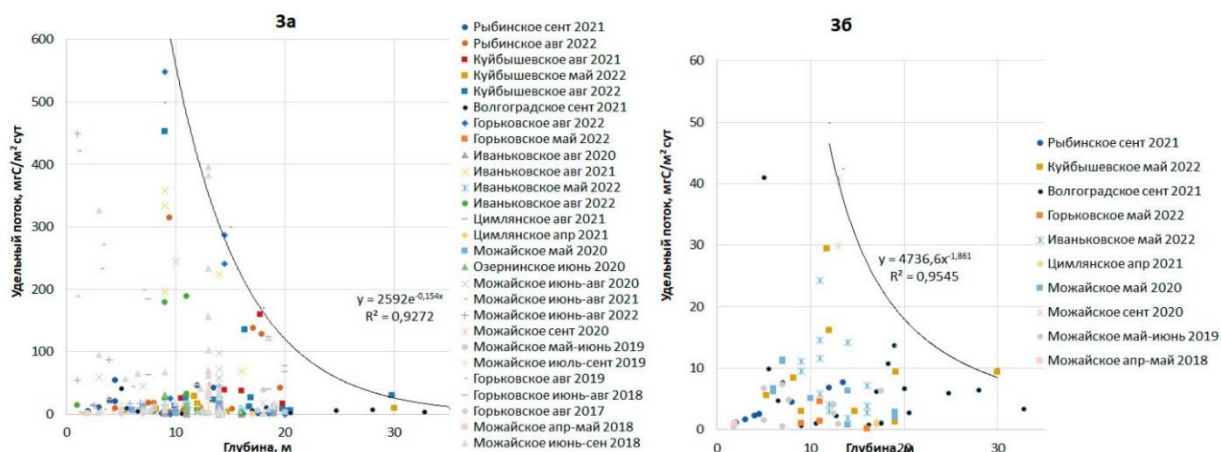


Рис. 3. Зависимость удельного потока метана с районов мелководных водохранилищ разной глубины: 3а – по данным полного массива, 3б – при отсутствии стратификации

Работа выполнена в рамках темы АААА-А16-116032810054-3 «Гидрологический режим водных объектов суши в условиях изменения климата и антропогенного воздействия». Полевые работы на водохранилищах ПАО Русгидро выполнены при поддержке проекта 1010-416-2021 от 26.04.2021. Авторы благодарят коллег – сотрудников Географического факультета МГУ, НИВЦ МГУ, ФГБУ ГОИН, ИФА РАН, ИВП РАН, проводивших полевые работы: Репину И.А., Агафонову С.А., Ломова В.А., Фролову Н.Л., Горина С.Л., Терского П.Н., Степаненко В.М., Василенко А.Н., Григорьева В.Ю., Лисину А.А., Ломова В.А., Мишина Д.В., Сазонова А.А., Соколова Д.И., Тимошенко А.А., Ломову Д.В.

### Библиографические ссылки

1. Johnson M. S., Matthews E., Bastviken D. et al. Spatiotemporal methane emission from global reservoirs // Journal of Geophysical Research: Biogeosciences. 2021. Vol. 126(8). P. 1-19.
2. Дзюбан А.Н. Деструкция органического вещества и цикл метана в донных отложениях внутренних водоемов. Ярославль: Принтхаус, 2010. 174 с.
3. Гречушников М.Г., Кравчук М.В. Сравнение результатов натурных измерений эмиссии метана с разнотипных водохранилищ РФ с данными Global Maps of Methane Emissions// Всероссийская конференция, посвященная памяти академика А.М.Обухова "Турбулентность, динамика атмосферы и климата". 2022. С. 118.
4. Sieczko A. K., Duc N. T., Schenk J., Pajala G., Rudberg D., Sawakuchi H. O., Bastviken D. Diel variability of methane emissions from lakes. Proceedings of the National Academy of Sciences, 2020. 117. P. 21488–21494.
5. Fonseca A.L. dos S., Marinho C.C., Esteves F. de A. Floating Aquatic Macrophytes decrease the methane concentration in the water column of a tropical coastal lagoon: implications for methane oxidation and emission // Brazilian Archives of Biology and Technology, 2017. 60. <https://doi.org/10.1590/1678-4324-2017160381>.

6. Готлиб Я.Л. Тепловой режим водохранилищ гидроэлектростанций. Л.: Гидрометеоиздат, 1976. 203 с.
7. Эдельштейн К. К. Водоохранилища России: экологические проблемы, пути их решения. М.: ГЕОС, 1998. 277 с.
8. Садчиков А.П., Кудряшов М.А. Экология прибрежно-водной растительности. М.: Изд-во НИИ-Природа, РЭФИА, 2004. 220 с.
9. Гречушникова М.Г. и др. Пространственно-временные различия гидроэкологических характеристик Иваньковского водохранилища в годы с различными погодными условиями//Водные ресурсы, 2023, Т. 50, № 1, стр. 81-89.
10. Bastviken, D., Santoro, A., Marotta, H. Methane emissions from Pantanal, South America, during the low water season: toward more comprehensive sampling // Environmental Science and Technology. 2010. 44(14). P. 5450–5455.
11. Bastviken, D. et al. Methane emissions from lakes: Dependence of lake characteristics, two regional assessments, and a global estimate. Global Biogeochemical Cycles. 2004. 18. doi:10.1029/2004GB002238.
12. Руководящий документ. Массовая концентрация метана и диоксида углерода в приземном слое атмосферного воздуха. Методика измерений методом газовой хроматографии РД 52.44.816-2015.