

ВЛИЯНИЕ ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО РЕЖИМА ДОЛИННОГО ВОДОХРАНИЛИЩА НА ВНУТРИГОДОВУЮ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ЭМИССИИ МЕТАНА С ЕГО ПОВЕРХНОСТИ

М.Г. Гречушникова^{1,2}, И.А. Репина^{1,3}, В.С. Казанцев³, Л.А. Кривенок^{3,4}, А.Ю. Артамонов³, В.А. Ломов¹

¹Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова, Москва, Россия

²Институт водных проблем РАН, Москва, Россия

³Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, Москва, Россия

⁴Институт лесоведения РАН, Успенское, Россия

INFLUENCE OF VALLEY-TYPE RESERVOIR HYDROLOGICAL REGIME AT THE METHANE SURFACE FLUX SEASONAL CHANGE

M.G.Grechushnikova^{1,2}, I.A.Repina^{1,3}, V.S.Kazantsev³, L.A. Krivenok^{3,4}, A.Yu. Artamonov³, V.A. Lomov¹

¹Lomonosov Moscow state university, Moscow, Russia

²Institute of water problems RAS, Moscow, Russia

³A.M.Obukhov Institute of Atmospheric Physics RAS, Moscow, Russia

⁴Institute of Forest Science RAS, Uspenskoe, Russia

На основе данных полевых наблюдений выявлены сезонные изменения удельного потока метана в Можайском водохранилище. За период прямой стратификации поток метана увеличивался от 1 до 16 мгС/(м² час). Выявлены изменения удельного потока метана синоптического масштаба, связанные со вспышками "цветения" в фотическом слое.

On the basis of field observations in the Mozhaik reservoir seasonal changes of the specific methane flux were revealed. During the period of direct stratification the methane flux increased from 1 to 16 mg/(m² hour). Synoptic changes in the specific methane flux associated with outbreaks of "flowering" in the photic layer are revealed.

Введение.

Оценка выбросов парниковых газов и в частности метана различными антропогенными источниками, к которым относятся и водохранилища, является актуальной задачей. Величина потока метана с поверхности зависит от морфометрических параметров водохранилищ (метан в большем количестве попадает в атмосферу из мелководных частей акватории из-за меньшего окисления в менее глубоком столбе воды [1]), геоэкологических условий их размещения (природной зоны, ландшафтных условий на водосборе, гидрологического режима, их возраста и др.[2]). В водохранилищах метан образуется при анаэробном разложении органического вещества, поступающего с водосбора и продуцируемого в водоеме. Увеличение температуры воды интенсифицирует деятельность микроорганизмов, и эмиссия метана из водохранилищ зависит от этого показателя [3]. Но климат не является доминирующим фактором, хотя в низких широтах значения удельного потока метана существенно больше, чем в высоких. Цель работы – оценка пространственно-временной изменчивости удельного потока метана с поверхности слабопроточного долинного водохранилища в умеренном континентальном климате по данным измерений.

Объекты и методы.

Объект исследования – небольшое морфометрически простое слабопроточное долинное Можайское водохранилище, расположенное в верховьях р. Москвы с отсутствием интенсивного динамического перемешивания и с коэффициентом водообмена 1,15 год⁻¹. Летом и зимой в нем наблюдается термическая стратификация, часто формируются продолжительные бескислородные условия, особенно в летний период [4]. Их продолжительность определяется синоптическими условиями и уровнем режимом каждого года. Водоохранилище имеет асимметричный продольный профиль с увеличением максимальной глубины районов в затопленном русле р. Москвы от 5-7 м в верховьях до 20-23 м у плотины, а глубина затопленной поймы увеличивается от 2-3 до 10-12 м соответственно.

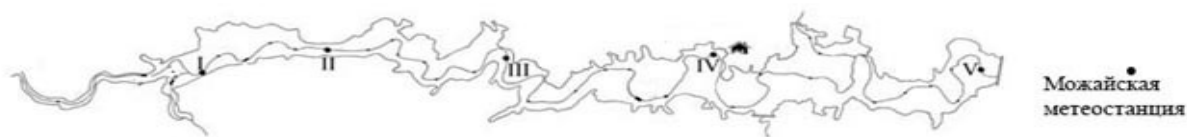


Рис. 1. Схема Можайского водохранилища и расположение станций гидрологической съемки над затопленным руслом р. Москвы (римские цифры).

Измерения удельного потока метана производились в 2015-2018 гг. методом плавучих камер в центральной части водоема в период открытой воды от 4 до 13 раз за сезон. Производился регулярный отбор проб воды из поверхностного и придонного горизонтов на рейдовой вертикали IV (рис. 1) и по продольной оси водохранилища [5]. Отбор проб производился на станциях, расположенных над затопленным руслом р. Москвы (рис. 1), отличающихся характером грунта и скоростью потребления кислорода [6]. В 2015 г. выполнялся также отбор проб над затопленной поймой в створе русловых станций. Методика определения содержания метана в пробах воды и воздуха описана в [7, 8, 9]. Расчет удельного диффузионного потока метана в атмосферу произведен методом тонкого поверхностного слоя TBL (Thin Boundary Layer, [10]) с использованием параметризации коэффициента обмена по [11].

Результаты и обсуждение.

Значения удельного диффузионного потока метана над русловыми и пойменными станциями по данным съемок в 2015 г. закономерно увеличивались за летний период от 0,14-0,31 до 0,55-1,74 мгС-СН₄/(м²·час), причем наибольшие значения характерны для верховий водоема, а изменения в поперечном направлении практически отсутствуют. По данным 2015-2018 гг. при образовании прямой температурной стратификации удельная плотность диффузионного потока метана составляет в верховьях водоема 0,1 мгС-СН₄/(м² час), у плотины 0,02 мгС-СН₄/(м² час). За период летней прямой стратификации при образовании бескислородной зоны в придонных горизонтах удельный диффузионный поток метана по продольной оси водохранилища возрастает на порядок и увеличивается для всех районов водохранилища: в верховьях до 0,5-0,8 мгС-СН₄/(м²час), у плотины - до 0,18 мгС-СН₄/(м²час). Значения диффузионного потока метана от верховьев к плотине уменьшаются из-за увеличения толщины аэрированного слоя воды и уменьшения расстояния до донных отложений.

В центральном районе водохранилища на станции IV по данным «плавучих камер» выявлено значительное увеличение значений удельной плотности суммарного (диффузионного и пузырькового) метана к моменту окончания периода летней стратификации (до 18 мгС-СН₄/м² час в 2017 г., рис. 2). В это время бескислородная зона в придонных горизонтах достигает наибольшего объема, а также уменьшается градиент температуры воды в водной толще. В начале периода осеннего перемешивания значения удельного потока метана уменьшаются на порядок (до 3 мгС-СН₄/м² час в первую декаду сентября 2017 г.).

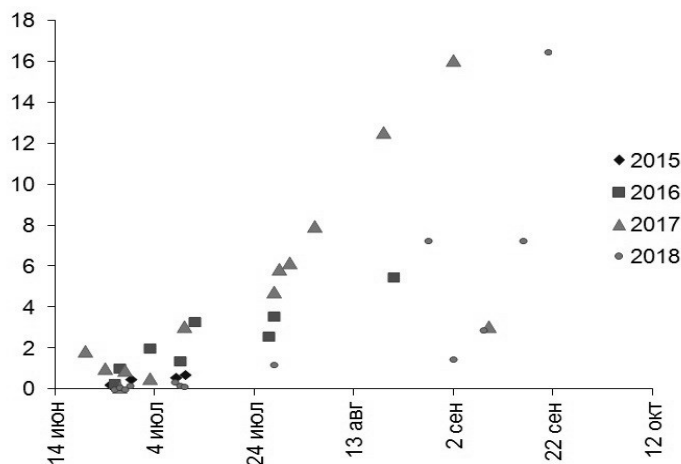


Рис. 2. Удельная плотность суммарного потока метана $\text{mgC-CH}_4/(\text{m}^2 \text{ час})$, полученная методом плавучих камер на станции IV.

В 2018 г. значения удельного потока метана за период стратификации меньше, чем в 2017 г., и достигают максимума в третьей декаде сентября (рис. 2), что связано с различием термического режима водоема в эти годы. В 2017 г. из-за погодных условий устойчивая стратификация образовалась поздно - в начале июля, и придонная температура воды в конце августа достигла $16,5^\circ\text{C}$. В 2018 г. устойчивая стратификация образовалась в начале июня, придонный горизонт был «изолирован» и к концу лета прогрелся всего до 12°C . Процессы метаногенеза при более низкой температуре протекали менее активно, в течение августа 2018 не наблюдались вспышки «цветения» (источника автохтонной органики), как в жаркую погоду в августе 2017 г. Интересной особенностью, зафиксированной в 2018 г. при регулярных еженедельных постановках «камер», является уменьшение удельного потока метана с $7,3$ до $1,5 \text{ mgC-CH}_4/\text{m}^2 \text{ час}$ в первой декаде сентября 2018 г. Она связана со вспышкой бурного «цветения» с увеличением содержания растворенного кислорода в поверхностном слое до $15-16 \text{ мг/л}$. При уменьшении содержания растворенного кислорода к концу сентября удельный поток метана опять возрос уже до $16 \text{ mgC-CH}_4/\text{m}^2 \text{ час}$. Более 90% общего удельного потока составляет пузырьковый поток, который определяется по разности общего и диффузионного потока.

Весной 2018 г. произведено дополнительное исследование весеннего выброса метана. В зимний период поверхность Можайского водохранилища покрывается льдом, продуцируемый бактериями метан не выходит в атмосферу, а аккумулируется в толще льда в виде пузырьков и растворённого газа в подлёдном слое воды. За период таяния льда накопленный за зиму метан высвобождается, и в водохранилище остаётся запас метана, который обеспечивается динамическим равновесием газообмена на границе поверхности воды и атмосферы. Оценка значения весеннего выброса метана из Можайского водохранилища рассчитывалась как разность запасов метана в водохранилище до и после таяния льда с учетом привноса метана, содержащегося в воде притоков, и его сток с водой, сбрасываемой через плотину. Согласно расчётам по описанной выше методике, оценка весеннего выброса метана на Можайском водохранилище в 2018 году составляет 996 кг .

При расчете суммарного потока метана за период открытой воды его значение в 2018 г. с наиболее частыми наблюдениями составило 11146 кг (без учета горизонтальной составляющей притока и сброса воды), т.е. доля весеннего выброса от общих потерь через поверхность за период с мая по октябрь составляет $8,9\%$. При расчете годовой эмиссии с поверхности водохранилищ необходимо непременно учитывать пространственно-временную неоднородность распределения удельного потока метана, которой отличаются водохранилища долинного типа (к которому относится большинство искусственных водоемов мира). Для более детальной оценки эмиссии метана с поверхности водохранилищ, особенно в случае неисследованных водоемов или при наличии нерегулярных экспедиционных данных, необходимо использовать математические модели, например [14].

Выводы.

В слабопроточном долинном водохранилище наблюдается значительная пространственно-временная неоднородность удельного потока метана. Пространственные различия в продольном направлении на порядок больше, чем в поперечном. Содержание метана в водохранилище определяется синоптической ситуацией, особенностями плотностного расслоения, термического и кислородного режима. Наибольших значений удельный поток метана достигает перед разрушением прямой стратификации (порядка 16 мгС-СН₄/(м² час). Удельный поток метана сокращается в периоды бурного развития фитопланктона.

Литература

1. Goldenfum J.A. GHG measurement guidelines for freshwater reservoirs//ИНА: УК. 2010. P. 36-91.
2. Гречушникова 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.
3. 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.
4. Пуклаков В.В., Даценко Ю.С., Гончаров А.В., Эдельштейн К.К., Гречушникова 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.
5. Гречушникова 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.
6. 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.
7. Большаков А.М., Егоров А.В. Результаты газометрических исследований в Карском море // Океанология. 1995. Т. 35. № 3. С. 399-404.
8. Методические указания. Методика выполнения измерений концентрации метана в водах парофазным газохроматографическим методом. РД 52.24.512-2002.
9. 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.
10. UNESCO/The International Hydropower Association. GHG Measurement Guidelines for Freshwater Reservoirs; Goldenfum, J.A., Ed.; London, UK, 2010.
11. Cole J.J., Caraco N.F. Atmospheric exchange of carbon dioxide in a low-wind oligotrophic lake measured by the addition of SF₆ // Limnol. Oceanogr. 1998. V. 43. P. 647–656. Doi:10.4319/lo.1998.43.4.0647.
12. Stepanenko, V., Mammarella, I., Ojala, A., Miettinen, H., Lykosov, V., and Vesala, T.: LAKE 2.0: a model for temperature, methane, carbon dioxide and oxygen dynamics in lakes, Geosci. Model Dev., 9, 1977-2006. <https://doi.org/10.5194/gmd-9-1977-2016>, 2016

Работа выполнена при финансовой поддержке проекта РГО_a 17-05-41095.

The work was done with the financial support of the RGO project a 17.05-41095.