



УДК 504.455+504.064.36:574

ВЛИЯНИЕ СИНОПТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ И СТРАТИФИКАЦИИ НА ЭМИССИЮ МЕТАНА СЛАБОПРОТОЧНОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

Гречушниковая Мария Георгиевна, ведущий научный сотрудник
кафедра Гидрологии суши МГУ им.М.В.Ломоносова
119231, г. Москва, Воробьевы горы, ГСП-1

Кременецкая Екатерина Рифовна, старший научный сотрудник
Институт водных проблем РАН
119333 г.Москва, ул.Губкина, 3

Ломова Диана Владиславовна, старший научный сотрудник
Институт водных проблем РАН
119333 г.Москва, ул.Губкина, 3

Ломов Виктор Александрович, аспирант
кафедра Гидрологии суши МГУ им.М.В.Ломоносова
119231, г. Москва, Воробьевы горы, ГСП-1

Полевые работы выполнены при финансировании темы № FMWZ-2022-0002 «Исследования геоэкологических процессов в гидрологических системах суши, формирования качества поверхностных и подземных вод, проблем управления водными ресурсами и водопользованием в условиях изменений климата и антропогенных воздействий»; лабораторные анализы выполнены рамках госзадания АААА-А16-116032810054-3 «Гидрологический режим водных объектов суши в условиях изменения климата и антропогенного воздействия».

Аннотация. Рассмотрены важные аспекты формирования величины эмиссии метана в водохранилище долинного типа на примере Можайского водохранилища. Показана важная роль уровня режима водоёма и влияние предшествующей синоптической ситуации.

Ключевые слова: метан, водохранилище, гидрологическая структура, уровень режим.

Метан – парниковый газ, одним из источников которого служат искусственные водоемы. Целью работы было определить основные факторы изменчивости эмиссии метана в летний период на примере Можайского водохранилища. Источник метана (CH₄) в водоёмах - органическое вещество (ОВ), содержащиеся как в водной толще, так и в донных отложениях (ДО). Интенсивность потока CH₄ определяется продукционно-деструкционными процессами, происходящими в водной толще, притоком ОВ с

водосбора, активностью трансформации метана в водоеме. Накопление ОВ в ДО происходит в результате его осаждения из водной толщи. Поступление ОВ на дно и его преобразование зависит от скорости седиментации, гидрологической структуры всей водной толщи, от ее устойчивости к перемешиванию, от толщины и длительности существования устойчивого гипolimниона [1]. При наличии плотностной стратификации в гипolimнионе могут формироваться бескислородные условия, приводящие к развитию анаэробных процессов в ДО и к активизации обмена биогенными элементами с водной массой [2], которые, в свою очередь, могут усиливать продукционную активность в поверхностных слоях воды при перемешивании во время смены синоптической ситуации.

Использованы данные наблюдений за температурным и кислородным режимом Можайского водохранилища в летний период (июнь-август) с 1984 по 2020 гг, полученные на Красновидовской УНБ МГУ. Измерения удельного потока метана и расчет эмиссии для всего водоема произведен по данным гидролого-гидрохимических съемок в 2018-19 гг. Определение эмиссии метана производилось методом «плавающих камер», а поток метана из донных отложений – методом трубок [3,4]. Удельный поток метана в атмосферу зависит от развития бескислородной зоны, поэтому ее толщина может служить критерием этой величины. Факторы, влияющие на насыщение кислородом водной толщи: особенности синоптической ситуации, проточность водоёма и его уровенный режим. Всё это определяет формирование в водоёме слоя температурного скачка [5].

Анализ данных по температурному и кислородному режиму Можайского водохранилища за период 1984-2020 гг. показал, что присутствует корреляция между средневзвешенной по объему водохранилища температурой воды ($T_{ср}$) и долей аноксидной зоны от объема водохранилища (коэффициент корреляции $r=0,67$, при количестве членов ряда $n=43$). При этом, можно отметить, что в июне бескислородная зона, занимающая 30% объема водохранилища, встречалась менее, чем в 10% случаях, в июле - в 20% случаях, а в августе – примерно в 25% случаях (рис 1). Кроме того, в августе в целом доля бескислородной зоны была выше, чем в остальные летние месяцы, а в июне примерно в 80% случаях бескислородные условия в водохранилище практически отсутствовали.

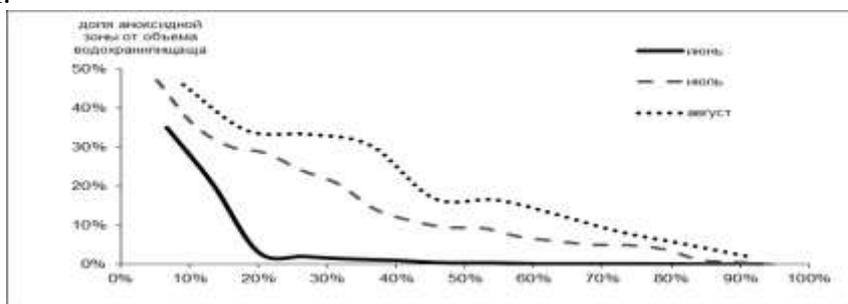


Рис.1. Вероятность возникновения аноксидной зоны (% от объема водохранилища) в Можайском водохранилище в летние периоды 1984-2020 гг.

За исследуемый период прослеживается тренд в увеличении средневзвешенной по объему температуры воды водохранилища в июне ($T_{ср}$) (рис 2а), при этом в последнее десятилетие отмечаются достаточно обширные (до 30% от объема водохранилища) аноксидные зоны, образующиеся уже в июне (рис 2б).

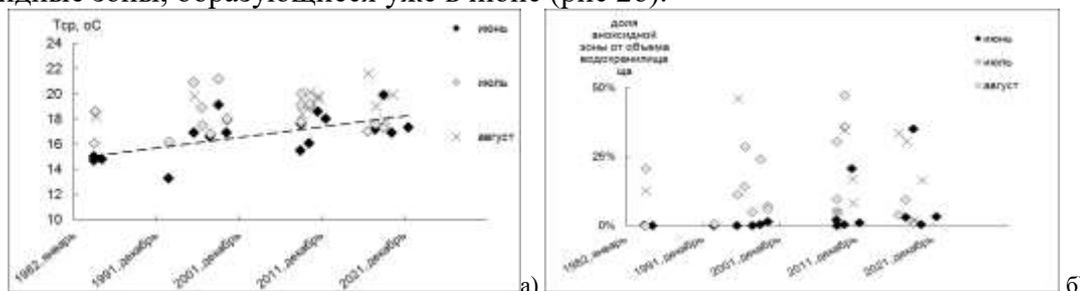


Рис.2. Изменение средневзвешенной по объему температуры воды (а) и доли аноксидной зоны в объеме Можайского водохранилища (б) в 1984-2020 гг.

В таблице 1 приведены некоторые характеристики гидро-метеоусловий Можайского водохранилища за исследуемый период.

Таблица 1

Основные характеристики Можайского водохранилища за летние периоды 2018 и 2019 гг.

	2018			2019		
	июнь	июль	август	июнь	июль	август
Атм. давление (ср. значение за неделю, предшествующую съёмке), мм рт.ст.	746	739	746	745	737	740
Атм. давление в день съёмки, мм рт.ст.	746	737	752	746	739	746
Скорость ветра (ср. значение за неделю, предшествующую съёмке), м/с	2.9	2.6	2.8	2.5	3.5	3.7
Уровень воды (ср. за месяц), м БС	182	182	181.3	180	179.7	179
Аноксидная зона, % от объема водохранилища	3.1	9.3	30.4	35.1	1.1	2.1
Средний градиент температуры воды по глубине (dT/dz) _{ср} , °С/м	0.9	0.7	0.8	1.2	0.6	0.5
Средняя температура гипolimниона, °С	9.2	11.0	19.7	9.7	10.5	16.9
Ср температура придонного слоя воды на русле, °С	11.6	13.2	13.2	8.5	12.1	12.7.9
Средняя толщина перемешанного слоя, м	1.9	4.4	5.1	3.6	7.8	8.2
Параметр, характеризующий взмучивание ($V \cdot N_{\text{пер}} / dT/dZ$)	0.55	1.46	2.67	1.75	15.33	8.45
Эмиссия метана в атмосферу (средневзвешенная по площади), мгСН ₄ /м ²	17.4	25.4	45.6	135.2	182.9	152.2
Выход метана из донных отложений (средневзвешенная по площади дна), мгСН ₄ /м ²	37.3	28.8	99.8	79.6	104.1	106.6

На примере подробных исследований за 2018 и 2019 гг. показано, что при двух различных сценариях формирования температурного режима водохранилища в летний период (постепенный прогрев водной толщи от июня к августу, как в 2018г; или вариант, когда тёплый период начался уже с конца мая, как в 2019г), величина средневзвешенной по объёму водохранилища эмиссии метана за летний период может существенно различаться.

Так, в год, когда наблюдалась тёплая антициклональная погода с конца мая, уже в июне в водохранилище сформировалась обширная бескислородная зона, а величина эмиссии СН₄ на протяжении всего лета была выше, чем в год, когда происходило постепенное увеличение температуры воды в водохранилище от июня к августу. Эмиссия метана в 2019 году была в 5 раз выше, чем в 2018 г, даже несмотря на то, что к июлю 2019 г, в связи с похолоданием и активным перемешиванием водной толщи, объём аноксидной зоны значительно уменьшился - с 35% в июне до 1-2% к июлю-августу (аноксидные условия сохранялись лишь в придонном слое воды). В 2018 г объём аноксидной зоны постепенно увеличивался от июня к августу от 3% до 30% (рис.3).

В [6] была показана связь интенсивности взмучивания ДО Можайского водохранилища от метеоусловий (скорости ветра) и характеристик водной толщи (толщины перемешанного слоя воды, средней глубины водоема и среднего вертикального градиента температуры воды).

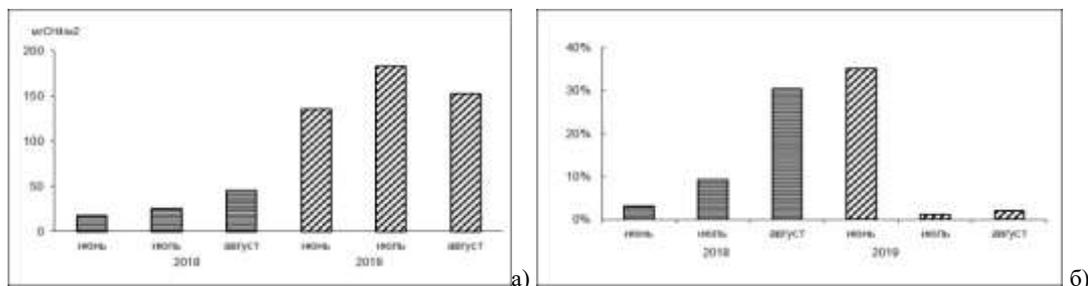


Рис. 3. Эмиссия метана по месяцам сведенная по площади водохранилища (а) и % аноксидной зоны от объема водохранилища (б) за летние месяцы 2018 и 2019 гг.

Для анализируемого периода интенсивность взмучивания ДО в июле и августе 2019 года превышала аналогичный показатель в 2018 г в 5 раз (табл.1). Также следует учесть, что взмучивание обычно происходит при интенсивном перемешивании водной толщи, которое вызвано либо кратковременными шквалами при грозе, либо усилением ветра в циклоническую погоду при снижении атмосферного давления. Последний фактор приводит к увеличению пузырькового потока, в связи с тем, что уменьшение давления снижает растворимость метана в поровых водах и CH₄ выходит из ДО в виде пузырьков.

На рисунке 4 показана эмиссия метана в атмосферу в сравнении с выходом CH₄ из ДО, оцененного методом трубок в статических условиях. Можно заметить, что в 2019 г эмиссия метана превышала выход из ДО.

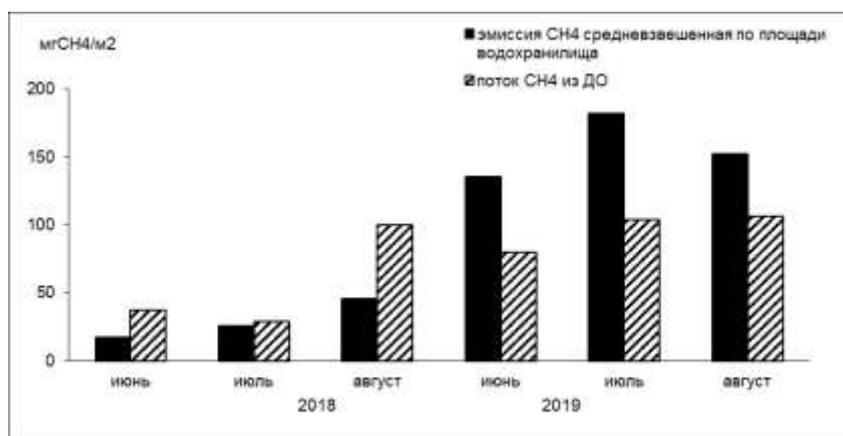


Рис.4. Эмиссия CH₄ и поток метана из донных отложений в 2018-2019гг.

В 2018 году метан поступал из донных отложений в воду, в основном, в виде диффузионного потока и, поднимаясь сквозь толщу воды к поверхности, подвергался окислению. В 2019 году при более низком уровне водохранилища (уровень был ниже примерно на 2 м) и пониженном давлении в связи с ветреной и холодной циклонической погодой, выход метана из поровых вод ДО происходил в виде пузырькового потока более активно.

Таким образом, наметившийся в последние десятилетия июньский тренд увеличения температуры воды, приводящий к устойчивой стратификации в Можайском водохранилище, может служить фактором раннего появления бескислородных зон в водоёме, в результате чего эмиссия метана за летний период может существенно увеличиваться. Маловодные годы с низким уровнем воды также способствуют увеличению эмиссии.

Список литературы:

1. Кременецкая Е.Р., Ломова Д.В., Соколов Д.И., Ломов В.А. Количественная оценка потоков органического вещества в донные отложения стратифицированного водохранилища долинного типа // Вода: химия и экология — 2018. — 7(9). — С. 39–46.
2. Мартынова М.В. Донные отложения как составляющая лимнических экосистем. М.: Наука, 2010. 243 с.
3. Lomov V., Grechushnikova M., Kazantsev V., Repina I. Reasons and patterns of spatio-temporal variability of methane emission from the mozhaysk reservoir in summer period // E3S Web of Conferences IV Vinogradov Conference. — 2020. — Vol. 163. — P. 03010.
4. Sweerts J., Bar-Gilissen M., Cornelse A., Cappenberg T.E. Oxygen-consuming processes at the profundal and littoral sediment-water interface of a small meso-eutrophic lake//Limnol.Oceanogr.1991.V.36.№6.P.1124-1133.
5. Гидроэкологический режим водохранилищ Подмосковья (наблюдения, диагноз, прогноз). М.: Перо, 2015. 284 с.
6. Кременецкая Е.Р., Ломова Д.В. Методы оценки седиментационных потоков в водохранилище долинного типа. //Водные ресурсы России: современное состояние и управление — Материалы Всероссийской научно-практической конференции. Сочи — 2018 — С. 346-352.

INFLUENCE OF SYNOPTIC CONDITIONS AND STRATIFICATION ON LOW-FLOW RESERVOIR METHANE EMISSION

Maria G. Grechushnikova, Ekaterina R. Kremenetskaya, Diana V. Lomova, Victor A. Lomov

Abstract. Important aspects of the formation of methane emissions in a valley-type reservoir on the example of the Mozhaisk reservoir are considered. The important role of the reservoir level regime and the influence of the previous synoptic situation are shown.

Keywords: autonomy methane, reservoir, hydrological structure, level regime.