

Д.Н. ГАРЬКУША, Ю.А. ФЕДОРОВ

## ТЕМПЕРАТУРА, КАК ФАКТОР ФОРМИРОВАНИЯ КОНЦЕНТРАЦИЙ МЕТАНА В ВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ

*Институт наук о Земле Южного федерального университета,  
г. Ростов-на-Дону, Россия,  
[gardim1@yandex.ru](mailto:gardim1@yandex.ru)*

*Рассмотрена роль температуры, как одного из важнейших факторов, оказывающих влияние на концентрации метана в водных экосистемах. Согласно полученным зависимостям увеличение в летний период температуры воды на 1 °С приводит к возрастанию содержания метана в воде на 3,0 (р. Северная Двина) – 13,0 (р. Дон) мкл/л.*

Поверхность суши является зоной, характеризующейся наивысшими концентрациями вещества и солнечной энергии, наибольшей интенсивностью биогенных процессов, сферой активной хозяйственной деятельности человека. Все это порождает огромное разнообразие условий и факторов, влияющих на процессы, формирования уровня содержания метана в водных экосистемах. К прямым факторам, непосредственно формирующим уровень содержания метана в водной толще, нами отнесены [10]: образование и окисление метана соответственно метаногенными и метанотрофными археями в водной толще; эмиссия метана на границах раздела «вода – атмосфера» и «дно – вода» [9, 12], в том числе из сипов, вулканов, разломов и т. д.; поступление метана с поверхности водосбора, в том числе с притоками, с талыми и ливневыми водами, вследствие эрозии почв и выветривания горных пород [2, 6], в составе промышленных и хозяйственно-бытовых сточных вод [14], а также с подземными водами [1] и атмосферными осадками [8]; некоторое количество метана может поступать в водную толщу при эрозии дна и абразии берегов [6]. К прямым факторам, формирующим уровень содержания метана в донных отложениях, отнесены: образование и окисление метана соответственно метаногенными и метанотрофными археями непосредственно в донных отложениях [14]; эмиссия метана из нижезалегающих горизонтов, в том числе глубинных источников (месторождений газа и нефти) и на границах раздела «дно – вода». К косвенным факторам формирования уровня содержания метана, то есть действующим через посредство прямых факторов,

отнесены как природные и, в первую очередь, это – климат [7, 10], рельеф, гидрологический режим, водные растения [3], так и антропогенные факторы, накладывающиеся на природные факторы и процессы [13, 14]. В целом, все вышеперечисленные факторы можно подразделить на следующие группы: физико-географические; геологические; физико-химические; биологические и антропогенные. В настоящей работе на основе ряда данных экспедиционных исследований авторов рассмотрена роль одного из важнейших факторов, опосредованно влияющих на формирование содержания метана в водных экосистемах, каковым является температура, относящаяся к физико-географической группе факторов.

Известно [14], что с ростом температуры среды (вода, донные отложения) увеличиваются скорости протекания биохимических процессов образования метана метанобразующими археями. Это подтверждается наличием зависимости между температурой воды и содержанием в ней метана, построенной по данным ежегодных определений, проводимых авторами в р. Дон с 1995 по 2003 гг. в летний период на более 10-ти станциях наблюдений (рисунок 1). Эта зависимость работает при температурах свыше 19°C и имеет вид:

$$C_{\text{CH}_4} = 13,8 \cdot t - 266,1 \quad (r = 0,81; \quad P < 0,01), \quad (1)$$

где  $C_{\text{CH}_4}$  – содержание метана в воде, мкл/л;  $t$  – температура воды, °C.

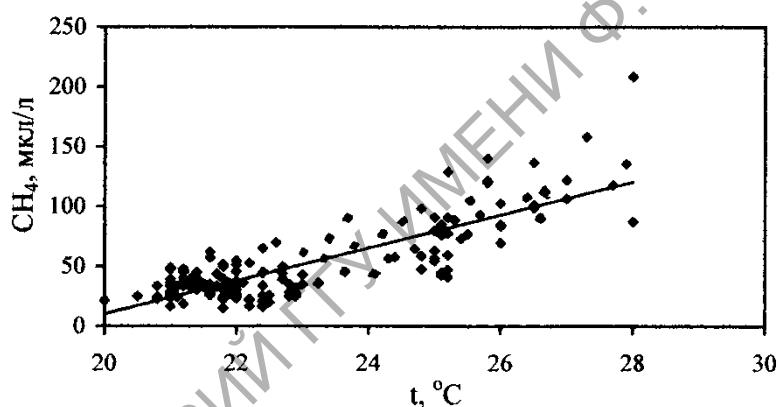


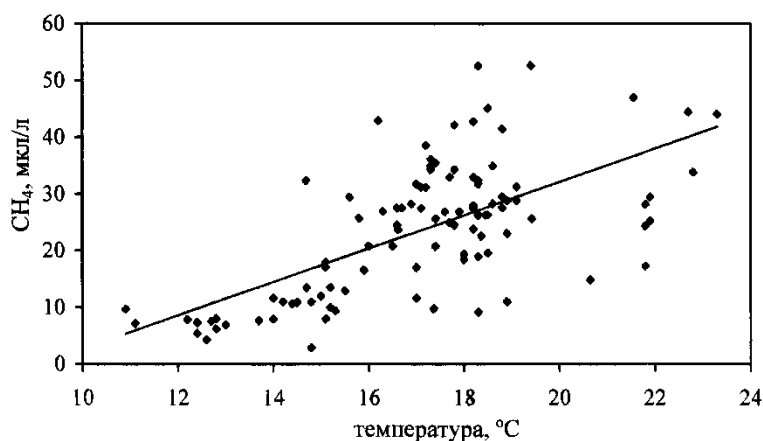
Рисунок 1 – Зависимость между температурой воды и содержанием метана в воде нижнего течения р. Дон, построенная по материалам 9 экспедиций, проведенных в летний период 1995–2003 гг.

Достоверная прямая связь ( $r = 0,65; \quad P < 0,01$ ) между температурой воды и содержанием в ней метана установлена также для устьевой области р. Северная Двина [4] (рисунок 2). Эта зависимость работает при температурах свыше 10°C и имеет вид:

$$C_{\text{CH}_4} = 2,9 \cdot t - 26,6 \quad (r = 0,65; \quad P < 0,01), \quad (2)$$

где  $C_{\text{CH}_4}$  – содержание метана в воде, мкл/л;  $t$  – температура воды, °C.

Представляют интерес данные, полученные авторами при проведении наблюдений в нижнем течении реки Дон в районе водозабора г. Ростов-на-Дону, где с февраля 2000 г. по октябрь 2001 г. с периодичностью два раза в месяц по сетке 5 × 5 метров на расстоянии 8–15 м от береговой линии с глубинами 0,5–0,8 метров проводилось опробование 0–5 см слоя донных осадков и поверхностного слоя воды, с целью выявления сезонных флуктуаций содержания метана [5]. Течение в точке опробования практически не проявляется, более значимое влияние оказывают сгонно-нагонные явления и некоторое воздействие волн.



**Рисунок 2 – Зависимость между температурой воды и содержанием метана в воде устьевой области р. Северная Двина, построенная по материалам 3-х экспедиций, проведенных в летний период 2004–2006 гг.**

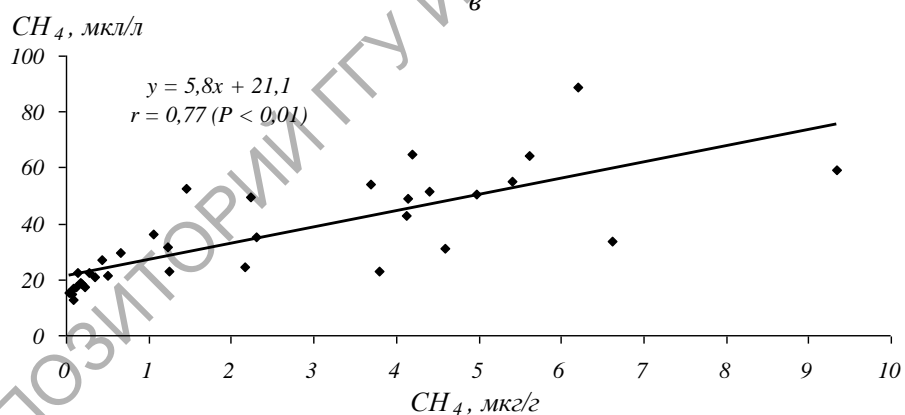
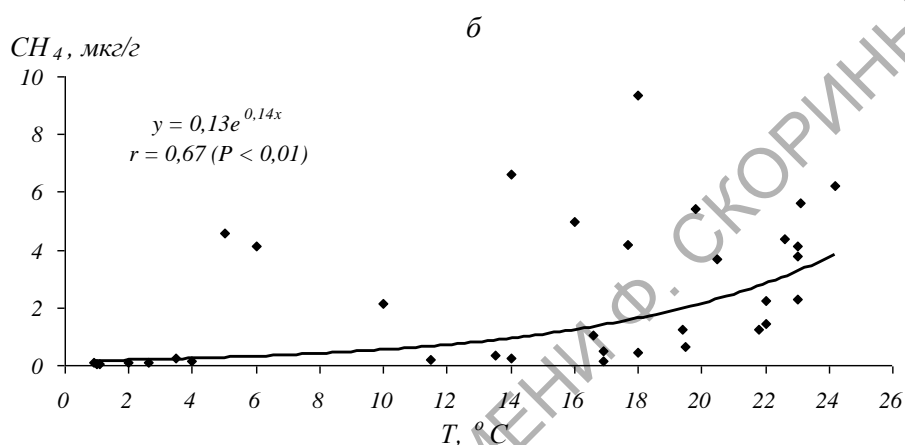
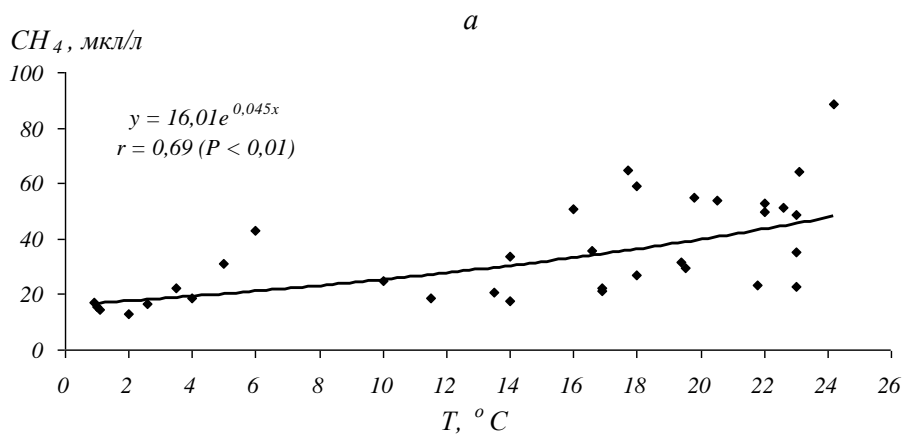
Сопоставление данных по сезонной динамике температуры воды с содержаниями метана в воде и донных отложениях указывает на проявление между ними тесной прямой экспоненциальной зависимости в период весна – осень (рисунки 3а и 3в), с более резким возрастанием метана при температурах выше 13–15 °С, и отсутствием устойчивой связи зимой. Так, повышение температуры воды от весны к лету сопровождается увеличением концентрации метана и, наоборот, при снижении температуры от лета к осени уменьшается и количество газа. При этом сезонный ход содержания метана в воде тесно коррелирует с динамикой газа в отложениях (рисунок 3в), которые являются основным источником, формирующим уровень содержания метана, как в воде реки Дон [5], так и в целом большинства водоемов и водотоков суши [14]. В зимний период, несмотря на минимальные температуры, содержание метана было достаточно высоким, при этом, напротив, падение температуры с октября по январь сопровождалось ростом концентраций метана, как в воде, так и в донных отложениях, и, особенно резким, в подледный период, когда доступ кислорода из атмосферы в водную толщу реки был замедлен.

Приведенные материалы показывают, что температура в поверхностных водоемах и водотоках суши не является лимитирующим фактором в формировании уровня его содержания, хотя в целом стимулирующее воздействие температуры на скорость метаногенеза и концентрации метана очевидно.

Согласно, полученным зависимостям (см. формулы (1) и (2)) между температурой воды и содержанием в ней метана, увеличение в летний период температуры воды на 1 °С приводит к возрастанию содержания метана в воде исследованных водных объектов на 3,0 (р. Северная Двина) – 13,0 (р. Дон) мкл/л.

Влияние суточных колебаний температуры на содержание метана в воде выражается в том, что в безветренную солнечную погоду максимальные концентрации газа фиксируются в послеполуденное время – в период наибольшего прогрева воды, минимальные значения отмечаются в ночной период [11]. При этом, как правило, на участках водотоков и озер с небольшими глубинами (до 10–20 метров) наблюдаются синхронные изменения концентраций газа в придонных и поверхностных слоях воды.

Увеличение температуры может оказывать и прямо противоположное влияние на содержание метана – уменьшение его концентраций, связанное с падением растворимости газа в воде [14], но роль этого эффекта менее значима, по сравнению с опосредованным влиянием температуры на скорость генерации газа метанобразующими бактериями.



Содержание метана в воде (а), донных отложениях (б), между содержаниями метана в донных отложениях и воде (в)

**Рисунок 3 – Зависимости между температурой воды и содержаниями метана в различных средах, построенные для периода «весна – осень» по данным сезонных наблюдений (февраль 2000–октябрь 2001 гг.) в нижнем течении р. Дон (водозабор г. Ростова-на-Дону)**

Следует отметить также опосредованное влияние температуры на формирование вертикальной и горизонтальной плотностной стратификации (термобара), в результате чего образуются водные массы, существенно отличающиеся по содержанию метана [13, 14]. С изменением температуры изменяется и плотность воды, что приводит к перемешиванию водной толщи и выравниванию содержаний метана по ее вертикали.

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 16-05-00976) и ЮФУ (внутренний грант № ВнГр-07/2017-24).*

### Список литературы

- 1 Барцев, О.Б. Оценка воздействия подземных вод на урбанизированных территориях на качество воды р. Дон в нижнем течении / О.Б. Барцев, А.М. Никаноров, Д.Н. Гарькуша, Е.А. Зубков // Метеорология и гидрология.– № 7. – 2016. – С. 82–92.
- 2 Гарькуша, Д.Н. Влияние процессов выветривания горных пород и абразии берегов на формирование содержания метана в водных экосистемах и его эмиссию в атмосферу / Д.Н. Гарькуша, Ю.А. Федоров // Материалы II Всероссийской конференции с международным участием «Геологическая эволюция взаимодействия воды с горными породами» (6–11 сентября, г. Владивосток). – Владивосток : Изд-во Дальнаука, 2015. – С. 340–342.
- 3 Гарькуша, Д.Н. Влияние растений на процессы цикла метана в донных отложениях и ризосфере почв / Д.Н. Гарькуша, Ю.А. Федоров // Сибирский экологический журнал.– № 6. – 2016. – С. 919–934.
- 4 Гарькуша, Д.Н. Метан в воде устьевой области реки Северной Двины / Д.Н. Гарькуша, Ю.А. Федоров // В кн.: Система Белого моря. Том III. Рассеянный осадочный материал гидросферы, микробные процессы и загрязнения. – М. : Научный мир, 2013. – С. 388–395.
- 5 Гарькуша, Д.Н. Метан в устьевой области реки Дон / Д.Н. Гарькуша, Ю.А. Федоров. – Ростов-на-Дону – Москва : ЗАО «Ростиздат», 2010. – 181 с.
- 6 Гарькуша, Д.Н. Роль водной эрозии почв и абразии берегов в формировании концентраций метана в водных экосистемах / Д.Н. Гарькуша, Ю.А. Федоров // Материалы XXI Международной научной конференции (Школы) по морской геологии «Геология морей и океанов» (16-20 ноября 2015 г., г. Москва). Т. IV. – Москва : ГЕОС, 2015. – С. 13–17.
- 7 Гарькуша, Д.Н. Влияние ветровых условий на формирование уровня содержания метана в водных экосистемах и его эмиссию в атмосферу / Д.Н. Гарькуша, Ю.А. Федоров, Н.С. Тамбиева // Материалы VII Международной научно-практической конференции «Экологические проблемы. Взгляд в будущее» (12–16 октября 2015 г., г. Ростов-на-Дону). – Ростов-на-Дону : Изд-во ЮФУ, 2015. – С. 94–99.
- 8 Гарькуша, Д.Н. Глобальный сток метана в составе атмосферных осадков и его влияние на формирование концентраций метана в водных экосистемах / Д.Н. Гарькуша, Ю.А. Федоров, Н.С. Тамбиева // Международный научно-исследовательский журнал.– № 9(51). – 2016. – Часть 3 (сентябрь). – С. 16–20.
- 9 Гарькуша, Д.Н. Расчет элементов баланса метана в водных экосистемах Азовского моря и Мирового океана на основе эмпирических формул / Д.Н. Гарькуша, Ю.А. Федоров, Н.С. Тамбиева // Метеорология и гидрология.– № 6. – 2016. – С. 48–58.
- 10 Гарькуша, Д.Н. Факторы формирования пространственно-временного распределения содержания метана в водных экосистемах / Д.Н. Гарькуша, Ю.А. Федоров, Н.С. Тамбиева // Материалы научной конференции с международным участием «Современные проблемы гидрохимии и мониторинга качества поверхностных вод» (8–10 сентября 2015 г., г. Ростов-на-Дону). Часть 1. – Ростов-на-Дону: ЗАО «Ростиздат», 2015. – С. 19–24.
- 11 Гарькуша, Д.Н. Суточные ритмы концентраций метана в воде приливных и безприливных устьевых областей рек / Д.Н. Гарькуша, Ю.А. Федоров, Н.С. Тамбиева, В.В. Сухоруков // Тезисы докладов Всероссийской научно-практической конференции «Метан в морских экосистемах» (Севастополь, 13–15 октября 2014 г.). – Севастополь: НПЦ «ЭКОСИ-Гидрофизика»; Изд-во ЮФУ, 2014. – С. 37–41.

12 Федоров, Ю.А. Температура и ее влияние на эмиссию метана из водных объектов (по результатам экспериментального и математического моделирования) / Ю.А. Федоров, Д.Н. Гарькуша, М.Л. Крукиер // Известия ВУЗов. Северо-Кавказский регион. Серия естественные науки. – № 6. – 2012. – С. 99–101.

13 Федоров, Ю.А. Влияние природных и антропогенных факторов и процессов на распределение концентрации метана в воде и донных отложениях Ладожского озера / Ю.А. Федоров, Н.С. Тамбиева, Д.Н. Гарькуша // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. – № 5. – 2006. – С. 412–424.

14 Федоров, Ю.А. Метан в водных экосистемах. – 2-е изд., перераб. и доп. / Ю.А. Федоров, Н.С. Тамбиева, Д.Н. Гарькуша, В.О. Хорошевская. – Ростов-на-Дону; М.: ЗАО «Ростиздат», 2007. – 330 с.

*D.N. GARKUSHA, YU. A. FEDOROV*

***TEMPERATURE AS A FACTOR IN THE FORMATION OF METHANE  
CONCENTRATIONS IN WATER ECOSYSTEMS***

*The role of temperature as one of the most important factors that have a stimulating effect on the growth of methane concentration in aquatic ecosystems. According to the obtained increase in summer water temperature by 1 °C leads to an increase of methane content in water at 3,0 (Severnaya Dvina river) – 13,0 (river Don) µl/L.*