

УДК 574.587(285.2):579

А. Н. Дзюбан

**МЕТАН В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ ЧЕРЕПОВЕЦКОЙ
ЗОНЫ РЫБИНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА И
ОЦЕНКА ЕГО МИКРОБИОЛОГИЧЕСКОЙ
ТРАНСФОРМАЦИИ И ЭМИССИИ¹**

Антропогенное воздействие на водоемы ведет к разрушению в грунтах аэробных бактериальных сообществ и образованию анаэробных. В результате донные отложения становятся источником вторичного загрязнения и поступления в атмосферу метана.

Ключевые слова: донные отложения, микробиологическая трансформация, метан, эмиссия, Рыбинское водохранилище.

На северо-востоке Рыбинского водохранилища, где р. Шексна, сливаясь с притоками, впадает в озеровидную часть водоема, расположен крупнейший Череповецкий промышленный комплекс, сбрасывающий в воду большое количество техногенных и бытовых отходов. В водотоках и примыкающих к ним акваториях, подверженных такому воздействию, происходят резкие изменения природных условий, ведущие к перестройке естественных микробных сообществ — главных агентов процессов самоочищения [6]. А в бактериобентосных ценозах при мощном антропогенном воздействии происходят принципиальные изменения их состава и биохимической активности [5, 8].

Бактериальному населению грунтов принадлежит особая роль в функционировании водных экосистем [2]. В донных отложениях проточных водоемов обычно происходит активное окисление органических веществ аэробными группами микроорганизмов. Но в особо загрязняемых зонах под влиянием разнообразных органических отходов формируются осадки, где преобладают процессы анаэробного распада [5] с выделением восстановленных и токсичных соединений. Известно, что основным продуктом анаэробного распада органических веществ в пресных водоемах является метан [2], однако сведений о его роли в водных экосистемах недостаточно. Целью настоящей работы было изучение распределения метана в грунтах водоемов с экстремальными экологическими условиями, оценка интенсивности процессов его трансформации и эмиссии.

¹ Работа выполнена при поддержке гранта № 08-05-0079 Российского фонда фундаментальных исследований.

© Дзюбан А. Н., 2009

Материал и методика исследований. Работы на акватории череповецкой зоны Рыбинского водохранилища, включающей р. Шексну с частью притоков в пределах городской черты и примыкающие участки водохранилища (рис. 1) проводились в летние периоды 1995 и 2007 гг.

Изучение распределения метана и интенсивности микробиологических процессов цикла CH_4 в воде и грунтах проводили по описанным методикам [3, 4, 11], используя газовый хроматограф с пламенно-ионизационным детектором и специальное оборудование [6]. Для количественной оценки скорости эмиссии CH_4 на обследованной акватории была сконструирована простейшая поплавковая камера, представляющая квадратную плексигласовую крышку (ширина 50, высота 15 см) с отверстием в центре (диаметр 1,2 см) под пробку из силиконовой резины, закрепленную герметично на пенопластовой раме высотой 5 см (рис. 2).

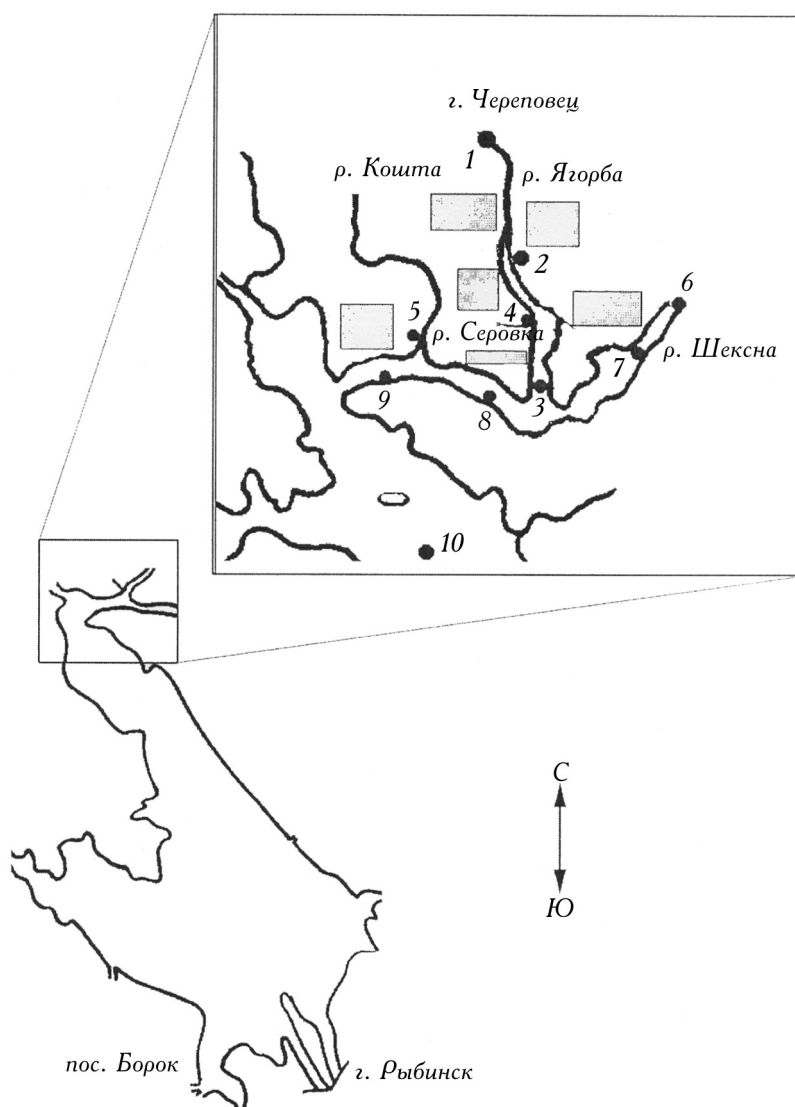
При постановке опыта поплавковую камеру опускали на поверхность воды с открытым отверстием в крышке для выравнивания парциального давления газов внутри камеры. Через 30 мин отверстие закрывали пробкой и фиксировали время начала опыта, а камера, прикрепленная шнуром к вехе или буйку, оставалась на плаву 12—24 ч. В начале инкубации и по ее окончании через силиконовую пробку отбирали в трех повторностях пробы газа (по 5 см³) газовым шприцем фирмы Hamilton, переносили в закупоренные пенициллиновые флаконы со стерильным насыщенным раствором NaCl и фиксировали 0,1 мл раствора Hg_2Cl_2 . Избыток жидкости выдавливался при этом из перевернутого вверх дном флакона через вторую шприцевую иглу. В таком виде флаконы помещали в ячейки штатива вплоть до лабораторных анализов CH_4 в пробах газа на газовом хроматографе. Оценка эмиссии метана производилась по формуле

$$\text{ЭМ} = (M_2 - M_1) \cdot 4 \cdot 24 / t,$$

где ЭМ — эмиссия метана, мл $\text{CH}_4 / (\text{м}^2 \cdot \text{сут})$, M_1 — содержание CH_4 во всей камере в начале опыта, M_2 — в конце опыта; 4 — коэффициент перевода от водной площади в камере к 1 м²; 24/ t — коэффициент перевода на 1 сутки, где t — время инкубации, ч.

Результаты исследований и их обсуждение

Исследования, проведенные в летний период на ряде притоков Рыбинского водохранилища в зоне Череповецкого промышленного комплекса показали, что даже на проточных участках с перемешиваемой водной массой, но испытывающих сильное антропогенное воздействие, в отложениях регистрируется очень высокая концентрация метана, достигающая на отдельных точках 60—150 мл $\text{CH}_4 / \text{дм}^3$ сырой пробы. Подобное содержание в аэрируемых грунтах этого биогенного газа, являющегося конечным звеном анаэробных микробиологических процессов деструкции органического вещества, совершенно не свойственно проточным экосистемам [2, 6]. И такая возможность возникает лишь при значительных изменениях ряда природных условий среды [5, 8]. Тогда естественные отложения водотоков, представленные обычно песками и песчанистыми грунтами, нередко превраща-



1. Схема расположения станций на участке Шексинского плеса Рыбинского водохранилища с притоками в зоне влияния г. Череповца: 1 — р. Ягорба, выше г. Череповца; 2 — то же, у фанерно-мебельного комбината; 3 — устье р. Ягорба; 4 — устье р. Серовка; 5 — устье р. Кошта; 6 — р. Шексна, выше г. Череповца; 7 — то же, у городского пляжа; 8 — то же, у сбросов городских очистных сооружений; 9 — устье Шексны; 10 — водохранилище у с. Любец.

ются в черные, газлирующие осадки, порой с резким запахом технических отходов (табл. 1).

К важнейшим из экологических условий функционирования бентосных бактериальных сообществ, в первую очередь, относятся такие физико-химические характеристики как содержание в придонной воде растворенного кислорода, обеспеченность отложений лабильным органическим веществом и восстановленными соединениями, окислительно-восстановительный по-

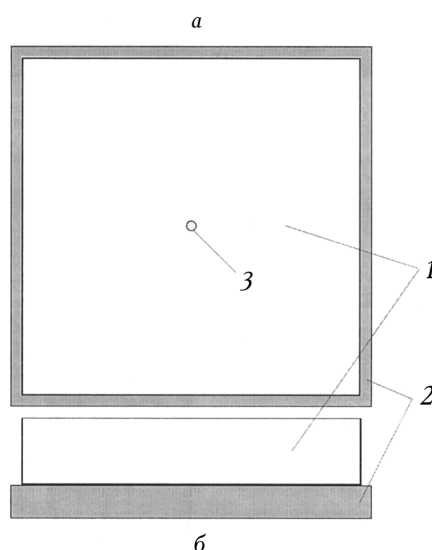
тенциал (Red/Ox) среды. Последний играет особенно важную роль в пограничных слоях вода — ил [2].

Действительно, насыщение придонных слоев воды загрязняемых водотоков кислородом (несмотря на перемешиваемость) оказалось низким даже летом, а Red/Ox грунтов, перегруженных органическими веществами, уже в поверхностных слоях был низким. Показатели окислительно-восстановительного потенциала составляли во многих пробах донных отложений $< +60$ мВ, а на ряде особо загрязняемых участков — опускались до минусовых значений. Именно на таких участках, где возникли условия, благоприятные активному функционированию анаэробных метаногенных микроорганизмов, концентрация в осадках растворенного метана достигает максимума (табл. 2).

Известно, что концентрация CH_4 в атмосфере Земли постоянно растет и в значительной степени за счет биогенного газа [10, 12], однако сведения о его эмиссии на внутренних водоемах скудны [1, 9]. Поэтому мы попытались оценить масштабы этого процесса в особо загрязняемых водоемах череповецкой зоны Рыбинского водохранилища, где в донных отложениях регистрируется столь высокая концентрация метана.

Исследования цикла метана с оценкой его эмиссии, проведенные на ряде характерных экотопах череповецкой зоны Рыбинского водохранилища, показали, что измеренные характеристики процессов трансформации CH_4 варьируют между отдельными участками очень широко. Микробильный метаногенез в осадках водотоков, где преобладают органические загрязнения, в особенности лабильные у городских очистных сооружений (ст. 8), достигал в период наших исследований $1500 \text{ мл CH}_4/(\text{м}^2 \cdot \text{сут})$ и отмечался даже в придонных слоях воды. На участках вне городской черты и в техногенных осадках интенсивность метанобразования низка (табл. 3).

Процессы метанокисления регистрировали в толще вод и в грунтах всех водотоков Череповецкого комбината. Однако его суммарная величина зависит не только от активности метанотрофной микрофлоры, обусловленной наличием в среде O_2 и потоком CH_4 [1, 4], но также и от глубины водоемов. Поэтому интенсивность эмиссии метана, являясь результирующей между продукцией метана и суммарным потреблением CH_4 , колебалась между отдельными участками весьма широко — от $<0,1 \text{ мл}$ до $800 \text{ мл CH}_4/(\text{м}^2 \cdot \text{сут})$. Минимальной она оказалась в наиболее удаленных от комбината точках — в притоках выше г. Череповца и в открытой части водохранилища. Максимальный вынос газа регистрируется в водотоках, перегруженных органиче-



2. Схема поплавковой камеры: *а* — вид сверху, *б* — вид сбоку; 1 — плексигласовая крышка; 2 — пенопластовая рама; 3 — отверстие, закрываемое пробкой из силиконовой резины («пенициллинка»).

1. Расположение станций отбора проб, глубина и характер донных отложений в зоне влияния Череповецкого промышленного комплекса

Станции	Глубина, м	Притоки (участки)	Внешний вид отложений
1	2,2	Река Ягорба, выше г. Череповца	Крупный песок
2	2,9	То же, у фанерно-мебельного комбината	Черный газлирующий ил
3	3,1	То же, устье (портовая зона)	Черный песок с пятнами мазута
4	0,5	Река Серовка (сток химических отходов)	Черная вязкая масса с резким запахом
5	3,5	Река Кошта, устье	Глинистый ил
6	4,2	Река Шексна, выше г. Череповца	Песчанистый ил
7	2,1	То же, городской пляж	Заиленный песок
8	4,8	То же, сбросы городских очистных сооружений	Темный ил с резким запахом
9	4,8	То же, устье	Глинистый ил
10	5,6	Водохранилище у с. Любец	Серый песчанистый ил

2. Физико-химические условия в грунтах притоков Рыбинского водохранилища и содержание в них растворенного метана

Станции	O ₂ в придонной воде, мг/л	Eh в слоях грунтов, мВ		CH ₄ в слоях грунтов, мл/ дм ³	
		0—2 см	2—5 см	0—2 см	2—5 см
1	7,3	110	90	0,01	0,03
2	2,8	—5	—60	156	38,6
3	4,2	10	—10	43,4	92,2
4	3,2	—40	—80	173	180
5	5,4	60	20	0,72	4,77
6	7,3	90	45	0,01	0,12
7	6,6	65	40	0,09	0,18
8	5,2	10	—10	92,2	66,8
9	6,9	90	50	0,09	0,89
10	7,4	90	70	0,15	0,65

скими отходами, где при мощном метаногенезе в илах, CH₄ не успевает окислиться ни в грунтах, ни в воде (см. табл. 3).

3. Оценка интенсивности процессов цикла метана в поверхностных слоях грунта и скорость его эмиссии в атмосферу, мл $\text{CH}_4/(\text{м}^2 \cdot \text{сут})$

Станции	Метаногенез		Метаноокисление		Эмиссия метана
	в грунтах, слой 1—5 см	в воде	в грунтах, слой 0—1 см	в воде	
1	2,4	0	1,2	0,5	< 0,1
2	1120	3,2	175	50	600
3	462	1,1	115	60	210
4	1080	2,4	60	10	800
5	12	0	4,1	0,3	3,1
6	4,6	0	2,3	0,2	0,2
8	1570	0,1	605	30	590
10	12	0	5	2	< 0,1

Заключение

Полученные данные по содержанию метана в грунтах различных притоков Рыбинского водохранилища, находящихся в зоне воздействия Череповецкого промышленного комплекса, оценка микробиологических процессов трансформации CH_4 и скорости его эмиссии свидетельствуют о существенной перестройке природного бактериобентосного сообщества в акватории г. Череповца, которые возможны лишь при хроническом и значительном изменении экологической обстановки [2]. Накопление в осадках череповецкой зоны, помимо природных органических веществ, различных техногенных отходов, привело к изменению окислительно-восстановительных условий, разрушению сложной естественной (преимущественно аэробной) структуры бактериобентоса и превалированию там анаэробных групп, в частности метаногенов [3].

Накопление в донных отложениях обследованных водотоков метана — продукта анаэробного распада органического вещества — и его энергичная эмиссия, свидетельствуют о превращении таких отложений в очаг вторичного загрязнения экосистемы, а также в мощный источник поступления этого «парникового газа» в атмосферу. Это указывает на необходимость не только мониторинговых работ в подобных зонах, но также углубленных исследований особенностей микробиологических процессов цикла метана в водоемах на урбанизированных территориях.

**

Антропогенний вплив на водойми призводить до руйнування в грунтах аеробних бактеріальних угруповань та утворення анаеробних. Як наслідок, донні відкладення стають джерелом вторинного забруднення та надходження до атмосфери метану.

**

Anthropogenic pollution on reservoirs conducts to destruction in soils of aerobic bacterial assemblages and to anaerobic. In result bottom sediments become a source of secondary pollution and to receipt in an atmosphere of methane.

**

1. Гальченко В.Ф., Дулов Л.Е., Крамер Б. и др. Биогеохимические процессы цикла метана в почвах, болотах и озерах Западной Сибири // Микробиология. — 2001. — Т. 70, № 2. — С. 215—225.
2. Горленко В.М., Дубинина Г.А., Кузнецов С.И. Экология водных микроорганизмов. — М.: Наука, 1977. — 288 с.
3. Дзюбан А.Н. Влияние реки Трубеж на микробиологические процессы в озере Плещеево // Факторы и процессы эвтрофикации озера Плещеево. — Ярославль: Изд-во Ярослав. ун-та, 1992. — С. 144—161.
4. Дзюбан А.Н. Метан и микробиологические процессы его трансформации в воде верхневолжских водохранилищ // Вод. ресурсы. — 2002. — Т. 29, № 1. — С. 68—78.
5. Дзюбан А.Н. Микробиологическая характеристика донных отложений Верхней Волги при антропогенном воздействии // Биология внутр. вод. — 2006. — № 1. — С. 16—23.
6. Дзюбан А.Н., Крылова И.Н. Оценка состояния бактериопланктона и бактериобентоса Рыбинского водохранилища в районе г. Череповца // Там же. — 2000. — № 4. — С. 68—79.
7. Кузнецов С.И., Дубинина Г.А. Методы изучения водных микроорганизмов. — М.: Наука, 1989. — 286 с.
8. Романенко В.И., Захарова Л.И., Романенко В.А. и др. Оценка качества воды по микробиологическим показателям в Рыбинском водохранилище у г. Череповца // Влияние стоков Череповецкого промышленного узла на экологическое состояние Рыбинского водохранилища. — Рыбинск, 1990. — С. 24—41.
9. Galchenko V.F., Lein Yu., Ivanov M.V. Biological sinks of methane // Exchange of trace gases between terrestrial ecosystems and the atmosphere / Ed. by M.O. Andrea, D.S. Schimel. — Chichester: Wiley, 1989. — P. 59—71.
10. Matthews E. Wetlands // Atmospheric methane: sources, sinks and role in global change / Ed. by M.A.K. Khalil. — Berlin: Springer, 1993. — S. I, ch. 15. — P. 315—361.
11. Naguib M. A rapid method for the quantitative estimation of dissolved methane and its application in ecological research // Arch. Hydrobiol. — 1978. — Vol. 82. — P. 66—73.
12. Rodhe H. A comparison of the contribution of various gases to the greenhouse effect // Science. — 1990. — Vol. 248. — P. 1217—1219.