

УДК 570.68(28)

А. Н. Дзюбан

СЕЗОННАЯ ДИНАМИКА ПРОЦЕССОВ ЦИКЛА МЕТАНА В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ ОЗ. ПЛЕЩЕЕВО

Изучена сезонная динамика микробиологических процессов цикла метана в донных отложениях оз. Плещеево. Показана большая значимость этих процессов в функционировании водоема. Выявлены экологические факторы, влияющие на интенсивность образования и окисления метана в донных отложениях.

Ключевые слова: цикл метана, донные отложения, деструкция.

Важная роль бактериобентоса в процессах распада органического вещества в водоемах известна [1, 5]. Имеются сведения и о значимости в иловой деструкции цикла метана [3], однако это звено распада органического вещества изучено еще недостаточно. Особенно не хватает сезонных наблюдений, без которых невозможно провести адекватные экологические оценки и балансовые расчеты для понимания роли цикла метана в водоемах.

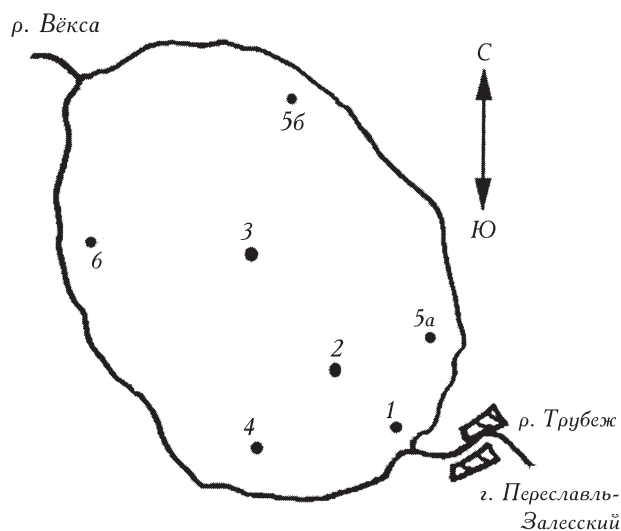
Целью наших исследований было изучение сезонной динамики процессов образования и окисления метана в донных отложениях оз. Плещеево (Ярославская область) и выявление основных экологических факторов, влияющих на их локализацию и интенсивность.

Материал и методика исследований. Работы проводились на крупном димиктическом оз. Плещеево мезотрофного уровня продуктивности в течение сезонов «открытой воды» 1984, 1989 и 1996 гг. Общие характеристики водоема: площадь водного зеркала — 51,5 км², длина — 9,6 км, ширина — 5,4 км, максимальная глубина — 24 м, площадь профундальной зоны — 41% общей, сублиторальной — 38%, литоральной — 11% [7].

Пробы грунтов отбирали коробчатым дночерпателем, сохраняющим структуру илов, воды — батометром Руттнера. Физико-химические измерения проводили с помощью приборов: кислородомера КЛ-115 с термистером, иономера Radelkis с платиновым электродом для измерения *Eh*, хроматографа-анализатора CNH-1.

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

© Дзюбан А. Н., 2010



1. Схема оз. Плещеево со станциями отбора проб.

Концентрацию CH_4 в пробах воды и грунтов определяли методом фазового равновесия [10]. Интенсивность процессов цикла метана в донных отложениях оценивали по разности его концентраций между контролем и опытами [6], которые проводили в стратометрических флаконах, используя ингибиторы [1, 8], по описанной схеме [2]. Пробы инкубировали *in situ* 8—24 ч в светонепроницаемых мешках и затем фиксировали 1 мл раствора сулемы (HgCl_2). Расчеты интенсивности образования или потребления CH_4 осуществляли по методам, приведенным в литературе [2, 6, 10].

Результаты исследований и их обсуждение

Донное ложе озера подразделяется на три зоны: обширная профундаль с достаточно однообразными черными илами, сублитораль с песчанистыми илами и литораль, которая подразделяется, в свою очередь, на «открытую» с промытыми песками и «зарастающую» [7] с весьма разнообразными грунтами (табл. 1).

Если грунты литорали постоянно аэрируются и в поверхностных слоях значения Eh всегда положительны, то илы профундали большую часть года находятся в анаэробных условиях [7] и Red/Ox потенциал в них на протяжении всего летнего периода низок (табл. 2).

Сезонные колебания интенсивности метаногенеза в отложениях различных участков оз. Плещеево имеют как общие тенденции, так и различия. В илах профундали обычно отмечается два выраженных пика — к концу лета в период максимальной первичной продуктивности [7] и в середине октября при сносе в котловину частиц отмирающих макрофитов (рис. 2). Интенсивность метаногенеза в черных илах котловины озера достигает $30 \text{ мл CH}_4/(\text{дм}^3 \cdot \text{сут})$, однако в отдельные годы показатели этих пиков разнятся в 2—3 раза. Образование CH_4 в сублиторали варьирует в пределах $2—7 \text{ мл CH}_4/(\text{дм}^3 \cdot \text{сут})$ без резких сезонных колебаний, что соответствует ровным физико-химическим условиям в донных отложениях этой зоны [1]. В грунтах различных участков литорали скорость метаногенеза колеблется очень широко — от $0,05 \text{ мл}$ до $15 \text{ мл CH}_4/(\text{дм}^3 \cdot \text{сут})$. По усредненным данным, его

1. Расположение станций отбора проб, глубина и характер донных отложений типичных участков оз. Плещеево

Номера станций	Глубина, м	Участки	Внешний вид отложений
1	1,5	Литораль близ устья р. Грубеж	Мелкий темный песок
2	5—7	Сублитораль	Темный песчанистый ил
3	24	Профундаль (котловина)	Черный мелкодетритный ил
4	1,0	Литораль с погруженной растительностью	Заиленный песок
5а, б	1,0	Открытая литораль	Мелкий глинистый песок
6	1,0	Литораль с воздушно-водной растительностью	Темный песок с растительными остатками

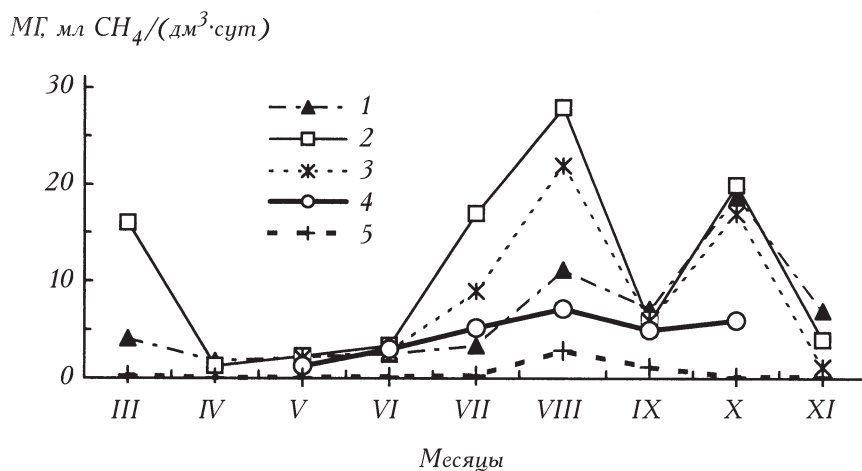
2. Физико-химическая характеристика поверхностного слоя донных отложений оз. Плещеево

Номера станций	Eh, мВ		C _{орг} , мг/см ³	C _{усв} , % C _{орг}	C/N	CH ₄ , мл/дм ³	
	0—2 см	2—5 см				0—2 см	2—5 см
1	140—30	60— (-90)	6,2— 14,8	—	—	0,3—1,2	2,2—16
2	90—10	—	10,8— 18,1	15—30	7—18	0,8—2,1	—
3	75— (-80)	15— (-90)	10,4— 15,7	9—28	8—14	3,6—24	4,6—18
4	140—35	60— (-10)	4,8— 13,2	8—35	9—22	0,3—1,1	—
5	140—90	—	3,2—6,7	8—12	10—43	0,1—0,3	—
6	120—10	60— (-100)	5,1— 16,6	14—23	13—35	0,3—7,8	—

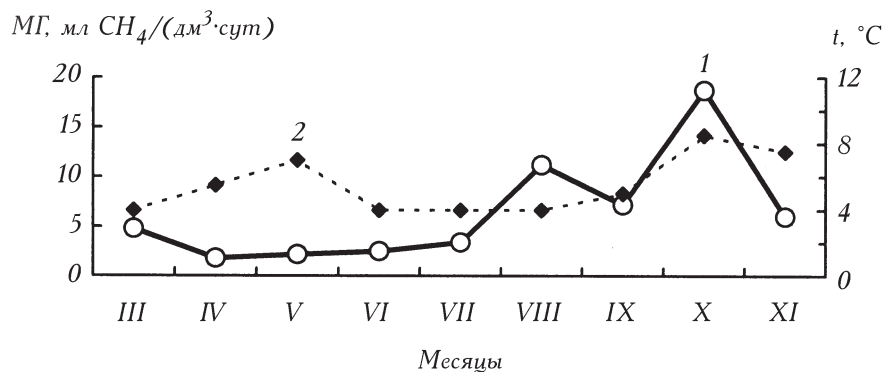
интенсивность в целом низка и лишь в конце лета достигает 3,5 мл CH₄/(дм³·сут) (рис. 2).

Для выявления экологических факторов, влияющих на локализацию и интенсивность процессов цикла метана в отложениях, был выполнен анализ материалов по оз. Плещеево в виде графиков.

Температурный режим придонных слоев воды в озере типичен для димиктических водоемов. Анализ сезонной динамики метаногенеза в илах профундали и температуры воды у дна показал отсутствие прямой зависи-



2. Сезонная динамика метаногенеза (МГ — здесь и на рис. 3—6) в отложениях профундали (1 — 1984 г., 2 — 1989 г., 3 — 1996 г.), сублиторали (4 — 1989 г.) и литорали (5 — 1989 г.) озера.

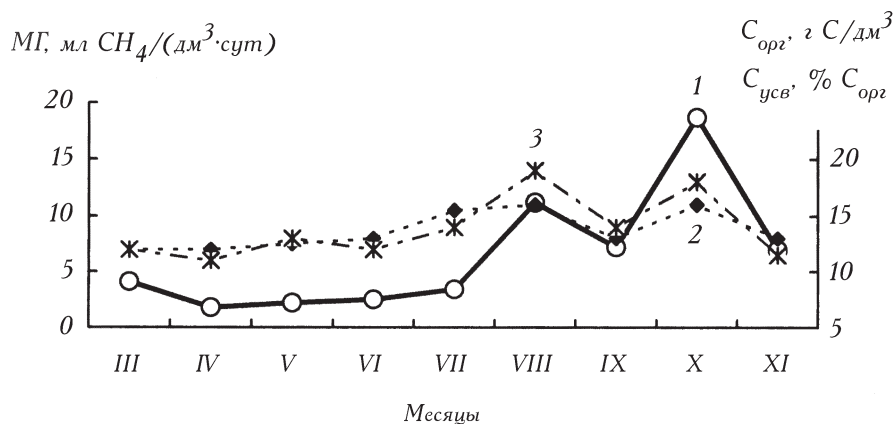


3. Сезонные колебания метаногенеза (1) и температуры воды (2) в илах профундали в 1984 г.

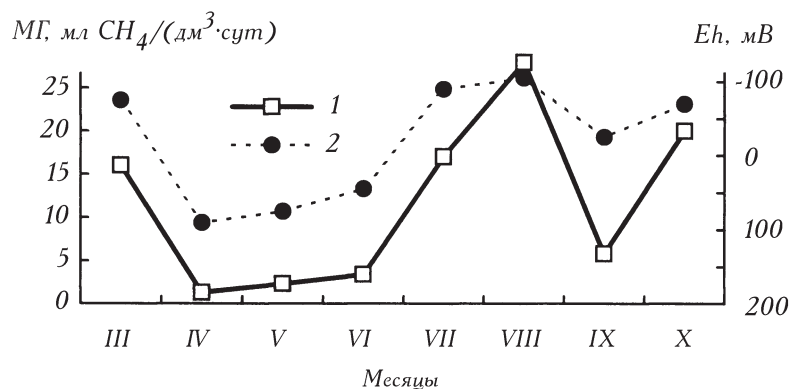
мости изучаемых параметров, что отмечалось и в других водоемах [9]. Некоторое сходство в колебаниях метаногенеза и температуры обнаруживается лишь осенью (рис. 3).

Связь активности бактерий с содержанием в илах органического вещества неоднозначна. Обилие трудноминерализуемых соединений может вызвать угнетение бактериобентоса, а лабильные вещества — развитие [2, 3]. В илах профундали ход сезонных кривых метаногенеза и органического вещества оказался близким, особенно с колебаниями $C_{у\text{св}}$ ($R = 0,61$), что свидетельствует о доступности органического комплекса этих илов (рис. 4).

Еще очевидней связь интенсивности метаногенеза с колебаниями в профундальных илах Red/Ox ($R = 0,67$), что показывает важность сочетания



4. Сезонные колебания метаногенеза (1), концентрации C_{орг} (2) и C_{усв}, % (3) в илах профундали в 1984 г.

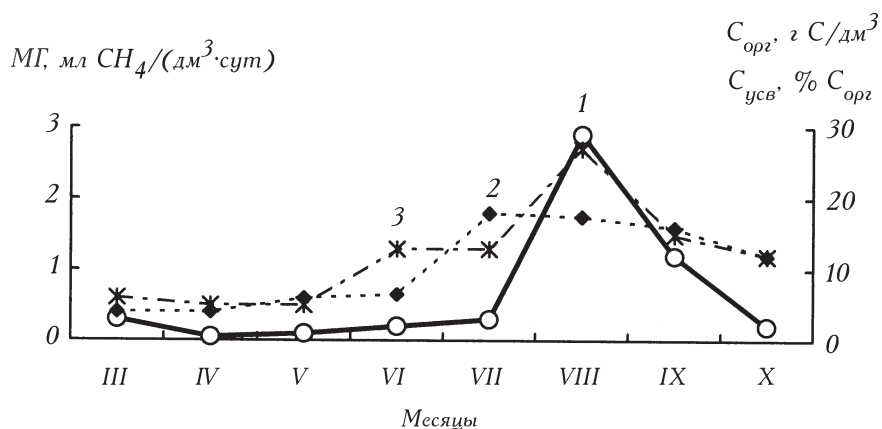


5. Сезонные колебания метаногенеза (1) и Red/Ox потенциала Eh (2) в илах профундали в 1989 г.

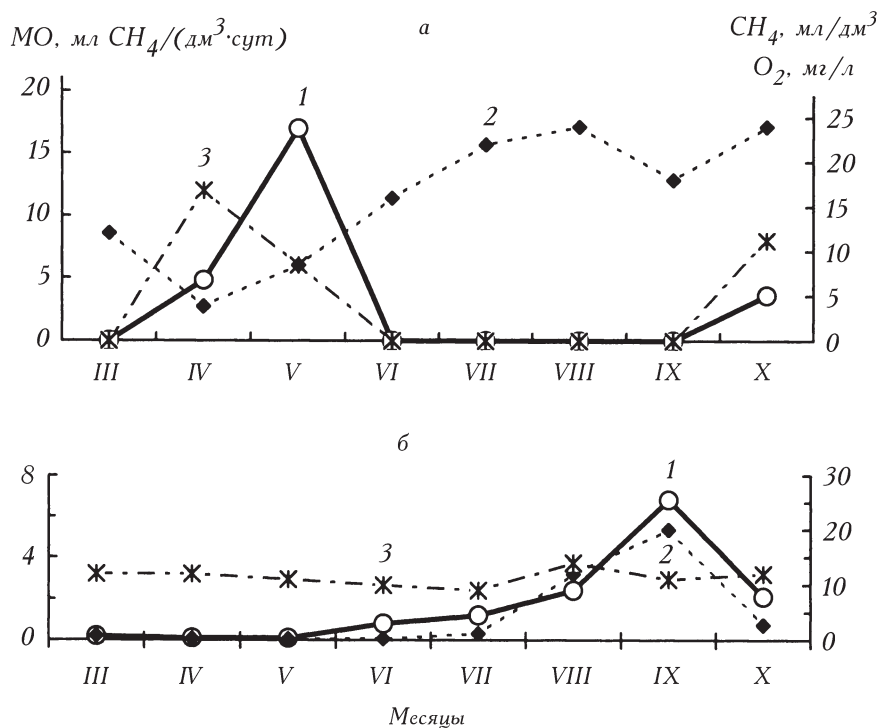
этих факторов среды для функционирования метаногенного сообщества (рис. 5).

В грунтах зарастающей литорали, где запас C_{орг} в целом невелик (табл. 2) и его обилие возрастает лишь к концу лета, сезонные кривые метаногенеза и органического вещества довольно близки (рис. 6), а связь интенсивности метанобразования с содержанием лабильного C_{усв} оказалась очень тесной (R = 0,72).

Сезонная динамика процессов окисления метана в донных отложениях отдельных экотопов озера различна. В аэрируемых грунтах зарастающей литорали она совпадает с колебаниями концентрации CH₄ (рис. 7, б), что отмечалось и в других водоемах [11]. Но в илах профундальной зоны лимитирующим фактором метаноокисления является уже не его концентрация, а обеспеченность донного бактериального сообщества кислородом (рис. 7, а).



6. Сезонные колебания метаногенеза (1), концентрации C_{орг} (2) и C_{увв}, % (3) в грунтах зарастающей литорали в 1989 г.



7. Сезонные колебания метаноокисления (1) и концентрации CH₄ (2) в донных отложениях профундали (а) и зарастающей литорали (б), а также содержания в придонной воде растворенного O₂ (3) в 1989 г.

На основе полученных данных были сделаны расчеты потоков образования и окисления метана в донных отложениях озера и их сопоставление с общими деструкционными процессами. Оказалось, что количество разрушенного органического вещества при бактериальном метаногенезе состав-

ляет в среднем за вегетационный период: в илах профундали — 720 мг С/(м²·сут), или 48% общей деструкции в илах; в грунтах литорали и сублиторали — 260 мг С/(м²·сут), или 30% общей деструкции в грунтах. Площадные расчеты трат О₂ на окисление СН₄ показали, что доля этих процессов в аэробной деструкции в илах профундали равна 71%, в грунтах литорали и сублиторали — 54%. В целом вклад бактериальных процессов цикла метана, протекающих в донных отложениях оз. Пleshcheevo, в общеводоемную деструкцию органического вещества составляет 16—19% [4], что свидетельствует о большой их экологической значимости.

Заклучение

Изучение сезонной динамики микробиологических процессов цикла метана в отложениях димиктического мезотрофного оз. Пleshcheevo позволило с максимальной полнотой оценить его масштабы в озерах подобного типа, а также выявить характер и степень влияния на отдельные процессы важнейших экологических факторов. К последним, в первую очередь, относятся окислительно-восстановительные условия (Red/Ox) и обеспеченность бактериобентосного сообщества лабильными органическими веществами.

**

Вивчено сезонну динаміку мікробіологічних процесів циклу метану в донних відкладах оз. Пleshcheevo. Показано важливість цих процесів у функціонуванні водойми. Виявлено екологічні фактори, які впливають на інтенсивність утворення та окиснення метану в донних відкладах.

**

The seasonal dynamics of microbiological processes of a cycle of methane in bottom sediments of Lake Pleshcheevo has been investigated. The big importance of these processes in functioning of a reservoir is shown. The ecological factors influencing productions and oxidations of methane in bottom sediments are revealed.

**

1. Дзюбан А.Н. Влияние реки Трубеж на микробиологические процессы в озере Пleshcheevo // Факторы и процессы эвтрофикации озера Пleshcheevo. — Ярославль: Изд-во Ярослав. ун-та, 1992. — С. 144—161.
2. Дзюбан А.Н. Роль процессов цикла метана в круговороте органического вещества в озерах разного типа // Вод. ресурсы. — 2003. — Т. 30, № 4. — С. 452—460.
3. Дзюбан А.Н. Микробиологические процессы превращения метана и деструкция органического вещества в грунтах водохранилищ Волги и Камы // Гидробиол. журн. — 2004. — Т. 40, № 2. — С. 72—77.
4. Дзюбан А.Н. Деструкция органического вещества и цикл метана в донных отложениях внутренних водоемов: Автореф. дис. ... докт. биол. наук. — Л., 2007. — 36 с.
5. Кузнецов С.И. Микрофлора озер и ее геохимическая деятельность. — Л.: Наука, 1970. — 440 с.

6. Кузнецов С.И., Дубинина Г.А. Методы изучения водных микроорганизмов. — М.: Наука, 1989. — 286 с.
7. Экосистема озера Плещеево / Под ред. Н.В. Бугорина. — Л.: Наука, 1989. — 264 с.
8. Bange H., Dahlke S., Ramesh R. et al. Seasonal study of methane and nitrous oxide in the coastal waters of the southern Baltic Sea // Estuarine, Coast. and Shelf Sci. — 1998. — Vol. 47, N 6. — P. 807—817.
9. Kelly A., Chynoweth D.P. The contributions of temperature and of the input of organic matter in controlling rates of sediments methanogenesis // Limnol. Oceanogr. — 1981. — Vol. 26, N 5. — P. 891—897.
10. Naguib M. A rapid method for the quantitative estimation of dissolved methane and its application in ecological research // Arch. Hydrobiol. — 1978. — Vol. 82. — S. 66—73.
11. Schnell S., King G. Stability of methane oxidation capacity to variations in methane and nutrient concentrations // FEMS Microbiol. Ecol. — 1995. — Vol. 17. — P. 285—294.

Институт биологии внутренних вод РАН, Борок

Поступила 30.12.09