

КОНЦЕНТРАЦИЯ И ЭМИССИЯ МЕТАНА В РАЗЛИЧНЫХ ТИПАХ ПОЧВ РОСТОВСКОЙ ОБЛАСТИ

Д.Н. Гарькуша, Ю.А. Фёдоров, Р.Г. Трубник, М.Л. Крукиер

Институт наук о Земле Южного федерального университета, Россия, Ростов-на-Дону

e-mail: gardim1@yandex.ru

Проанализированы результаты измерений концентраций метана в различных типах почв Ростовской области и его потоков в атмосферу. Скорость эмиссии метана с поверхности почв варьировалась в пределах 0,000-0,136 мг CH_4 $\text{м}^{-2}\text{ч}^{-1}$ и тесно коррелировала с его концентрациями в почвах ($r = 0,85$). Максимальные скорости потоков метана характерны для периодически затапливаемых почв, отобранных в зарослях тростника в пойме Цимлянского водохранилища и для техногенных грунтов на терриконах шахт. На пахотных каштановых почвах поток метана в атмосферу отсутствовал, и была зафиксирована его минимальная концентрация (0,005 мкг/г). В порядке убывания средней скорости потоков метана в атмосферу исследованные типы почв располагаются следующим образом: аллювиальные (пойменные) почвы, периодически затапливаемые водой (0,134 мг CH_4 $\text{м}^{-2}\text{ч}^{-1}$), > чернозем обыкновенный (0,055 мг CH_4 $\text{м}^{-2}\text{ч}^{-1}$) > аллювиальные лугово-черноземные почвы (0,037 мг CH_4 $\text{м}^{-2}\text{ч}^{-1}$) > каштановые почвы (0,033 мг CH_4 $\text{м}^{-2}\text{ч}^{-1}$). Общая эмиссия метана с поверхности почв Ростовской области по ориентировочным оценкам составляет от 46,1 до 193,6 тонн в сутки или от 9675 до 40663 тонн в год, что свидетельствует об их заметном вкладе (от 3,0 до 12,7 %) в суммарную эмиссию метана природными и антропогенными источниками Ростовской области.

Ключевые слова: изменение климата, парниковые газы, метан, эмиссия, концентрация, почвы, карбоновые полигоны, агрохимия.

Введение

В настоящее время одной из актуальных экологических проблем является глобальное изменение климата, связанное с увеличением концентраций в атмосфере Земли парниковых газов (CO_2 , CH_4 , N_2O и др.), что обуславливает повышение температуры воздуха в тропосфере, таяние вечной мерзлоты, повышение уровня Мирового океана, увеличение частоты и интенсивности гидрометеорологических стихийных бедствий и т.д. [1]).

В целом, межрезервуарный обмен CO_2 и N_2O между различными экосистемами исследован более или менее хорошо, в то время как метан в этом отношении изучен слабо [2]. Между тем по оценкам [1], «парниковый потенциал» метана в расчете на 100 лет в 28 раза сильнее, чем у углекислого газа, а в 20-летней перспективе – в 84 раза. Следует отметить, что метан, являясь легким газом, довольно быстро попадает на границу тропосферы и стратосферы, и на высоте 15-20 км под действием солнечных лучей разлагается на водород и углерод, тем самым способствуя разрушению молекул озона и истончению озонового слоя в верхних слоях атмосферы [3, 4].

Общая эмиссия метана в атмосферу оценивается в 500-600 Тг/год с ежегодными колебаниями в стоках и источниках [5]. Вклад метана в общий парниковый эффект по разным оценкам составляет от 16 % [6] до 18-19 % [7], при этом скорость увеличения его содержания в атмосфере в 2-4 раза выше, чем диоксида углерода. Так, измеренная недавно (в июле 2022 года) средняя концентрация метана в атмосфере составила 1904,5 ppb [8], что в 2,6 раза выше, чем в доиндустриальные времена – 720 ppb. При этом считается, что антропогенная деятельность является основной причиной такого быстрого увеличения эмиссии метана в атмосфере [6], отвечая примерно за 50-75 % общей его эмиссии [9].

Большая часть атмосферного метана имеет бактериальное (биогенное) происхождение и полностью контролируется потоками с земной поверхности [10]. По оценкам [1], за 47 % глобальной годовой эмиссии CH_4 естественными источниками ответственна его дегазация из почв. При этом различные типы почв могут быть как источником эмиссии (выделения) метана в атмосферу, так и его стока (поглощения) из атмосферы в зависимости от соотношения скоростей образования и окисления метана в почвах, соответственно, метанообразующими (метаногенными) археями и метаноокисляющими (метанотрофными) бактериями [11]. Согласно теоретическим расчетам, общая эмиссия метана почвами России составляет от 7,5 до 23,5 Мт/год [12, 13], в то время как его поглощение – около 3,6 Мт/год [14].

В почвенном покрове метан в основном образуется биохимическим путем *in situ* в результате жизнедеятельности метаногенных архей и/или наследуется со времени начала почвообразования [15, 16]. Метан в почвах находится в водной и воздушной среде порового пространства и в сорбированном на органоминеральной матрице виде [15], а также в корнях и стеблях растений. Последние являются активными проводниками метановых эманаций [17]. При этом, в сухих почвах большая часть (>80 %) метана адсорбирована органоминеральными частицами [18], в обводненных почвах существенно увеличивается его содержание в водной фазе.

Несмотря на то, что пахотные почвы являются важным источником парниковых газов в сельском хозяйстве [19], измерения концентраций и потоков метана в природных условиях из почв степной зоны единичны [20], что не позволяет дать адекватную оценку вклада почвенного покрова в эмиссию метана с территории России. Исходя из этого, основной целью настоящего исследования является оценка уровня концентраций метана в различных типах почв Ростовской области и его эмиссии с их поверхности в атмосферу.

Материалы и методы

В конце мая – начале сентября 2021 г. на 11 станциях, расположенных в пределах Ростовской области (рис. 1, табл. 1), проведены натурные измерения скорости потоков метана с поверхности почв в атмосферу, а также его концентраций в верхних горизонтах (0-2 см и 2-5 см) почв. Измерения были выполнены на аллювиальных лугово-черноземных и каштановых тяжелосуглинистых почвах, черноземах обыкновенных с невысокой растительностью и без растительности (пахотные почвы), аллювиальных (пойменных) почвах, периодически затапливаемых водой, а также на техногенных грунтах терриконов шахт «Аютинская» и «Южная». Температура воздуха в период исследования варьировала в диапазоне от 20 до 33°C.

Отбор проб почв, в том числе техногенных грунтов с терриконов шахт «Аютинская» и «Южная», и последующее определение концентраций метана в них проведены согласно аттестованной методике [21] с добавлением методических приемов, описанных в работах [15, 20]. Измерение эмиссии метана с поверхности почв в атмосферу выполнено камерным методом [20, 22, 23] с помощью стационарных накопительных камер – ловушек, представляющих собой пластиковые (поликарбонатные) емкости с открытым основанием и специальными отверстиями сверху для забора газовой смеси, объемом воздушной фазы 3000 см³ (реже 4000 см³) и площадью основания 539 см² (рис. 2). В каждой из ловушек сразу после их установки отбирались «холостые» пробы. Время нахождения камер – ловушек в накопительном режиме варьировало от 1 до 24 часов (60-1440 минут).

Определение концентрации метана выполнено на газовом хроматографе «Хроматэк-Кристалл 5000.2» с дозатором равновесного пара на пламенно-ионизационном детекторе [20, 21].



Рисунок 1 – Местоположение станций натуральных измерений концентраций метана в почвах Ростовской области и его потоков в атмосферу в 2021 году



Рисунок 2 – Накопительные камеры – ловушки, установленные для определения потоков метана с почв с невысокой или отсутствующей растительностью

Таблица 1 – Результаты натуральных измерений концентраций и потоков метана с поверхности почв Ростовской области

Номер станции	Местоположение станции	Координаты, с.ш. / в.д., Дата проведения эксперимента	Объем ловушки, см ³ / площадь основания ловушки, см ³	Экспозиция, минут	Концентрация метана, мкл в 2 мл воздуха, отобранного шприцом в ловушке, с учетом «холостой» пробы	Скорость потока метана, мг СН ₄ м ⁻² ч ⁻¹	Почвы рядом с ловушками		
							Горизонт отбора проб, см	Концентрация метана, мкг/г влажной почвы	Тип почв
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Станция 1	пойма р. Тузлов, ниже впадения р. Б. Крепкой. В 3-5 м от уреза воды	47°34'27.00" 39°22'35.40" 25 мая	<u>3000</u> 539	110	0,001	0,036	0-2	0,011	Аллювиальные лугово-черноземные почвы
Станция 2	вершина террикона шахты «Аютинская»	47°47'46.39" 40°08'35.91" 26 мая	<u>3000</u> 539	70	0,006	0,136	0-2	0,035	Техногенные грунты на терриконе с сильным запахом H ₂ S
Станция 3	террикон шахты «Южная»	47°41'25.69" 40°08'04.59" 26 мая	<u>3000</u> 539	60	0,006	0,117	0-2	<u>0,042-0,046</u> * 0,044 (2)	Техногенные грунты на терриконе с сильным запахом H ₂ S
Станция 4	пойма р. Аюта, устьевой участок. В 15 м от уреза воды	47°25'54.68" 40°05'56.69" 26 мая	<u>3000</u> 539	120	0,001	0,039	0-2	0,014	Аллювиальные лугово-черноземные почвы
Станция 5	пойма р. Кадамовка, устьевой участок. В 3-4 м от уреза воды	47°23'44.00" 40°08'16.00" 25 мая	<u>3000</u> 539	120	0,001	0,039	0-2	0,010	Аллювиальные лугово-черноземные почвы
Станция 6	пойма протоки Аксай, район впадения сбросного канала (Ерик Дриганов). В 10-15 м от уреза воды	47°22'15.60" 40°10'55.90" 25 мая	<u>3000</u> 539	110	0,001	0,036	0-2	0,010	Аллювиальные лугово-черноземные почвы
Станция 7	пшеничное поле, в 20 метрах от трассы «Семикаракорск – Большая Орловка»	47°29'12.81" 40°55'19.00" 26 мая	-	-	-	-	0-2	0,009	Каштановые почвы, тяжелосуглинистые
							2-5	0,012	
Станция 8	пашня рядом с трассой «Семикаракорск – Большая Орловка»	47°26'46.37" 40°59'54.34" 26 мая	<u>3000</u> 539	110	0,000	поток отсутствует	0-2	0,005	Каштановые почвы, тяжелосуглинистые, более сухие, чем на ст. 7
							2-5	0,015	

НАУКИ О ЗЕМЛЕ

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Станция 9	пойма Цимлянского водохранилища, в зарослях молодого тростника. В 3-5 м от уреза воды	47°31'46.52" 42°10'15.53" 27 мая	$\frac{3000}{539}$	120	0,006	0,134	0-2 5-10 10-15	0,080 0,050 0,070	Аллювиальные (пойменные) почвы, периодически затапливаемые водой
Станция 10	рисовый чек ООО «Энергия», пос. Валуйский Пролетарского района Ростовской области	47°01'34.62" 41°21'22.39" 28 мая	$\frac{4000}{539}$	70	$\frac{0,001-0,003}{0,002}$ (2)	$\frac{0,022-0,067}{0,045}$ (2)	0-2 см	$\frac{0,013-0,018}{0,016}$ (2)	Темно-каштановые почвы между рисовыми чеками
		47°01'34.62" 41°21'22.39" 9 сентября	$\frac{3000}{539}$	120-240	$\frac{0,003-0,010}{0,006}$ (4)	$\frac{0,029-0,049}{0,039}$ (4)	0-2 см	0,026	Темно-каштановые почвы между рисовыми чеками
Станция 11	приусадебный участок, Западный микрорайон г. Ростова-на-Дону	47°13'05.74" 39°38'14.45" 6-7 августа	$\frac{3000}{539}$	270-1440	$\frac{0,014-0,034}{0,025}$ (20)	$\frac{0,018-0,095}{0,055}$ (20)	0-2 см	$\frac{0,015-0,022}{0,017}$ (5)	Чернозем обыкновенный, карбонатный

Примечание. * – В числителе приведены пределы измерения, в знаменателе – средние значения, в скобках – количество измерений.

Результаты и обсуждение

Согласно обобщенным данным таблицы 2, концентрации метана в исследованных почвах варьируются в пределах от 0,005 до 0,080 мкг/г влажной почвы (вл.п.), с максимальными значениями в аллювиальных почвах, отобранных в зарослях молодого тростника на периодически затапливаемой водой пойме Цимлянского водохранилища (ст. 9), и минимальными значениями в сухих каштановых почвах пашни (ст. 8). Последнее обусловлено тем, что при вспашке почв усиливается их газообмен с атмосферой, в результате чего ускоряется окисление метана и его выделение в атмосферу, особенно интенсивное в первое время после вспашки [15].

Таблица 2 – Обобщенные данные натуральных измерений концентраций и потоков метана с поверхности почв Ростовской области в 2021 г.

Тип почв	Концентрация метана в почвах, мкг/г вл.п.	Скорость потока метана, мг CH ₄ м ⁻² ч ⁻¹
Аллювиальные лугово-черноземные почвы	<u>0,010-0,014</u> * 0,011 (4)	<u>0,036-0,039</u> 0,037 (4)
Аллювиальные (пойменные) почвы в зарослях молодого тростника, периодически затапливаемые водой	<u>0,050-0,080</u> 0,067 (3)	0,134 (1)
Чернозем обыкновенный, карбонатный	<u>0,015-0,022</u> 0,017 (5)	<u>0,018-0,095</u> 0,055 (20)
Каштановые почвы, тяжелосуглинистые	<u>0,005-0,026</u> 0,014 (7)	<u>0-0,067</u> 0,033 (5)
Техногенные грунты на терриконах шахт	<u>0,035-0,046</u> 0,041 (3)	<u>0,117-0,136</u> 0,127 (2)

*Примечание: * – В числителе приведены пределы изменения, в знаменателе – средние значения, в скобках – количество измерений.*

Относительно высокие концентрации метана зафиксированы также в техногенных грунтах с сильным запахом H₂S, отобранных на терриконах шахт «Аютинская» и «Южная» (станции 2 и 3) – в среднем 0,041 мкг/г вл. почвы. В остальных исследованных типах почв концентрации метана были относительно низкими (до 0,026 мкг/г) и в порядке убывания средних концентраций располагались следующим образом: чернозем обыкновенный (0,017 мкг/г) > каштановые почвы (0,014 мкг/г) > аллювиальные лугово-черноземные почвы (0,011 мкг/г).

Величина эмиссии метана в атмосферу с поверхности исследованных почв изменялась в диапазоне 0,000-0,136 мг CH₄ м⁻²ч⁻¹ (см. табл. 2) и тесно коррелировала с концентрациями метана в почвах ($r = 0,85$; $P < 0,01$; рис. 3), что согласуется с исследованиями [20]. Максимальные значения скорости потоков метана характерны для периодически затапливаемых почв, отобранных в зарослях молодого тростника в пойме Цимлянского водохранилища (0,134 мг CH₄ м⁻²ч⁻¹) и техногенных грунтов на терриконах шахт (в среднем 0,127 мг CH₄ м⁻²ч⁻¹). Отсутствием потока метана в атмосферу характеризовалась поверхность каштановых почв пашни (ст. 8), где зафиксирована минимальная концентрация исследуемого газа (0,005 мкг/г вл.п.). По всей видимости, концентрации метана в поверхностном горизонте почв, близкие к 0,005 мкг/г вл.п., можно считать критическим пределом, ниже которого почвы переходят из категории источников метана в категорию его поглотителей. В целом, в порядке убывания средних величин потоков метана в атмосферу исследованные типы почв располагаются следующим образом: аллювиальные (пойменные) почвы, периодически затапливаемые водой (0,134 мг CH₄ м⁻²ч⁻¹), > чернозем обыкновенный (0,055 мг CH₄ м⁻²ч⁻¹) > аллювиальные лугово-черноземные почвы (0,037 мг CH₄ м⁻²ч⁻¹) > каштановые почвы (0,033 мг CH₄ м⁻²ч⁻¹).

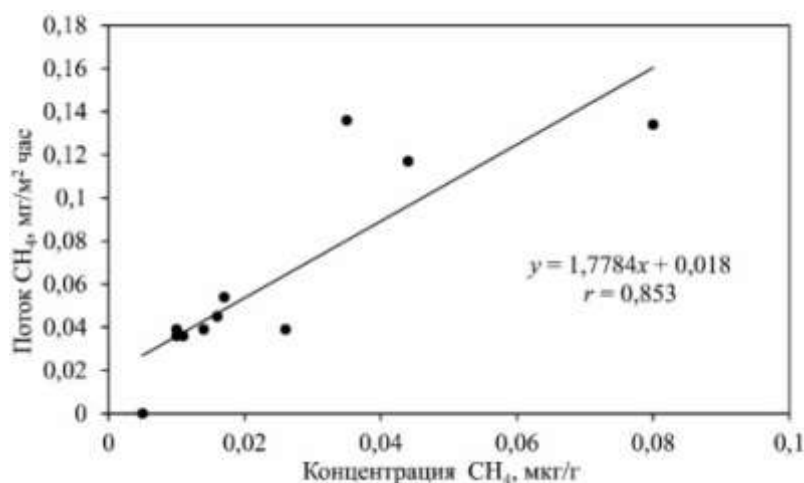


Рисунок 3 – Зависимость потока метана в атмосферу от его концентраций в поверхностном (0-2 см) горизонте почв

В нашей предыдущей работе [20] показано, что в почвах степной зоны юга Ростовской области концентрации и скорости потоков метана в 2008-2010 гг. изменялись в пределах <0,01-15,1 мкг/г влажной почвы и <0,005-0,062 мг CH₄ м⁻²ч⁻¹, соответственно. При этом максимальные концентрации метана и скорости его потоков были характерны для аллювиальных лугово-черноземных почв с высокой влажностью, минимальные – темно-каштановых и каштановых почв, а также солончаков, что согласуется с данными, обсуждаемыми в настоящей статье.

Таблица 3 – Сравнение концентраций и эмиссии метана в атмосферу с поверхности различных типов почв Ростовской области за разные временные периоды

Почвы	Площадь распространения почв (по [24])		Концентрация метана в 0-2 см слое почв, мкг/г	Скорость потока метана, мг CH ₄ м ⁻² ч ⁻¹	Эмиссия метана со всей площади исследованных типов почв, кг/сутки
	тыс. км ²	%			
Разновидности черноземов	53,466	57,8	<u><0,01-0,07</u> 0,015-0,022 *	<u><0,005-0,062</u> 0,018-0,095	<u><6416-79557</u> 23097-121902
Разновидности солонцов и солончаков	7,493	8,1	<u><0,01-0,02</u> нет данных	<u><0,005</u> нет данных	<u>749</u> нет данных
Разновидности каштановых почв	18,719	20,2	<u><0,01-0,03</u> 0,005-0,026	<u><0,005</u> 0-0,067	<u>1872</u> 0-30100
Разновидности луговых и аллювиальных почв	6,748	7,3	<u>0,01-15,1</u> 0,010-0,080	<u>0,008-0,033</u> 0,036-0,134	<u>1296-5344</u> 5830-21702
Прочие почвы	6,105	6,6	<u>нет данных</u> 0,035-0,046 **	<u>нет данных</u> 0,117-0,136	<u>нет данных</u> 17143-19927
Итого: общая эмиссия метана почвами Ростовской области	92,531	100	-	-	<u>10333-87522</u> 46070-193631

Примечание: * – В числителе приведены данные за 2008-2010 гг. [20], в знаменателе – данные за 2021 г.; ** – результаты измерений в техногенных грунтах терриконов шахт.

Расчет эмиссии метана со всей площади поверхности исследованных типов почв Ростовской области (табл. 3) проведен по минимальным и максимальным величинам скорости его потока, полученным в ходе проведения натурных измерений. Согласно расчетам, общая эмиссия метана исследованными почвами Ростовской области варьирует в пределах от 46,1 до 193,6 тонн в сутки, что в 2,2-4,5 раза выше полученных ранее в работе [20] величин. При этом в обоих случаях максимальный вклад в общую эмиссию метана вносят черноземы, для которых характерна наибольшая площадь распространения в

Ростовской области (до 63 % – в 2021 г.). Если принять продолжительность активного периода эмиссии метана равной 210 дням в году (7 месяцев с апреля по ноябрь без снежного покрова), то годовая эмиссия метана почвами Ростовской области по нашим оценкам составит от 9675 до 40663 тонн (13,8-58,1 млн м³). Эти величины составляют от 3,0 до 12,7 % от суммарной эмиссии метана природными и антропогенными источниками Ростовской области (320600 тонн или 458 млн м³/год – по [25]) и от 0,04 до 0,54 % от суммарной эмиссии метана почвами России (7,5-23,5 Мт/год – по [12, 13]).

Выводы

Натурные измерения потоков метана с поверхности почв Ростовской области были проведены на аллювиальных лугово-черноземных и каштановых тяжелосуглинистых почвах, черноземах обыкновенных с невысокой растительностью и без растительности (пахотных почвах), аллювиальных (пойменных) почвах, периодически затапливаемых водой, а также на техногенных грунтах терриконов шахт «Аютинская» и «Южная».

Величина эмиссии метана в атмосферу с поверхности исследованных почв изменялась в диапазоне 0,000-0,136 мг СН₄ м⁻²ч⁻¹ и тесно коррелировала с концентрациями метана в почвах ($r = 0,85$). Максимальные значения скорости потоков метана были характерны для периодически затапливаемых почв, отобранных в зарослях молодого тростника в пойме Цимлянского водохранилища и для техногенных грунтов на терриконах шахт. На пахотных каштановых почвах поток метана в атмосферу отсутствовал, и была зафиксирована его минимальная концентрация (0,005 мкг/г вл.п.). По всей видимости, концентрации метана в поверхностном горизонте почв, близкие к 0,005 мкг/г вл.п., можно считать критическим пределом, ниже которого почвы переходят из категории источников метана в категорию его поглотителей. В целом, в порядке убывания средних величин скорости потоков метана в атмосферу исследованные типы почв располагаются следующим образом: аллювиальные (пойменные) почвы, периодически затапливаемые водой (0,134 мг СН₄ м⁻²ч⁻¹) > чернозем обыкновенный (0,055 мг СН₄ м⁻²ч⁻¹) > аллювиальные лугово-черноземные почвы (0,037 мг СН₄ м⁻²ч⁻¹) > каштановые почвы (0,033 мг СН₄ м⁻²ч⁻¹). Общая эмиссия метана с поверхности почв Ростовской области по ориентировочным оценкам составляет от 46,1 до 193,6 тонн в сутки или от 9675 до 40663 тонн в год, что свидетельствует об их заметном вкладе (от 3,0 до 12,7 %) в суммарную эмиссию метана природными и антропогенными источниками Ростовской области.

Благодарности

Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках гос. задания в сфере научной деятельности № 0852-2020-0029.

Список литературы

1. IPCC Climate Change 2014. Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Geneva, Switzerland, 2014. 151 p.
2. Вальков В.Ф. Почвоведение. Учебник для вузов. Москва: ИКЦ МарТ, Ростов н/Д: Издательский центр МарТ, 2004. 496 с.
3. Минько О.И. Генерация углеводородного газа почвенным покровом планеты // Геохимия. 1991. № 1. С. 3-14.
4. Глаголев М.В., Сабреков А.Ф. Ответ А.В. Смагину: II. Углеродный баланс России // Динамика окружающей среды и глобальные изменения климата. 2014. Т. 5. № 2. С. 50-70.

5. Wallenius A.J., Dalcin Martins P., Slomp C.P. and Jetten M.S.M. Anthropogenic and Environmental Constraints on the Microbial Methane Cycle in Coastal Sediments. *Front. Microbiol.* 2021. 12:631621.
6. Ciais P., Sabine C., Bala G., Bopp L., Brovkin V., Canadell J., Chhabra A., DeFries R., Galloway J., Heimann M., Jones C., Le Quere C., Myneni R.B., Piao S., Thornton P. Carbon and other biogeochemical cycles. *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* MA: Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York. 2013. pp. 465-570.
7. Conrad R. Contribution of hydrogen to methane production and control of hydrogen concentrations in methanogenic soils and sediments. *FEMS Microbiology Ecology.* 1999. vol. 28. no. 3. pp. 193-202.
8. Lan X., Thoning K.W., Dlugokencky E.J. Trends in globally-averaged CH₄, N₂O, and SF₆ determined from NOAA Global Monitoring Laboratory measurements. Version 2022-11. URL: <https://doi.org/10.15138/P8XG-AA10> (дата обращения: 01.11.2022).
9. Conrad R. The global methane cycle: recent advances in understanding the microbial processes involved. *Environ. Microbiol.* 2009. rep. 1. pp. 285-292.
10. Бажин Н.М. Метан в атмосфере // Соросовский образовательный журнал. 2000. Т. 6. № 3. С. 52-57.
11. Le Mer J., Roger P. Production, oxidation, emission and consumption of methane by soils: A review. *European J. Soil Biology.* 2001. vol. 37. no. 1. pp. 25-50.
12. Кондратьев К.Я., Крапивин В.Ф. Моделирование глобального круговорота углерода. Москва: Физматлит, 2004. 336 с.
13. Zhu X., Zhuang Q., Qin Z., Glagolev M., Song L. Estimating wetland methane emissions from the northern high latitudes from 1990 to 2009 using artificial neural networks. *Global Biogeochem. Cycles.* 2013. vol. 27. Iss. 2. pp. 592-604.
14. Глаголев М.В., Филиппов И.В. Инвентаризации поглощения метана почвами // Динамика окружающей среды и глобальные изменения климата. 2011. Т. 2. № 2(4). С. 1-20.
15. Гарькуша Д.Н., Федоров Ю.А., Тамбиева Н.С. Метан в почвах различных географических зон России // Известия РАН. Серия географическая. 2018. № 3. С. 47-55.
16. Федоров Ю.А., Сухоруков В.В., Трубник Р.Г. Аналитический обзор: эмиссия и поглощение парниковых газов почвами. Экологические проблемы // Антропогенная трансформация природной среды. 2021. Т. 7. № 1. С. 6-34.
17. Гарькуша Д.Н., Федоров Ю.А. Влияние растений на процессы цикла метана в донных отложениях и ризосфере почв // Сибирский экологический журнал. 2016. № 6. С. 919-934.
18. Гальченко В.Ф., Дулов Л.Е., Крамер Б., Конова Н.И., Барышева С.В. Биогеохимические процессы цикла метана в почвах, болотах и озерах Западной Сибири // Микробиология. 2001. Т. 70. № 2. С. 215-225.
19. Национальный доклад Российской Федерации о кадастре антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов, не регулируемых Монреальским протоколом за 1990-2013 гг. Ч. 1. Москва: Росгидромет, 2015. 476 с.
20. Гарькуша Д.Н., Федоров Ю.А., Тамбиева Н.С. Эмиссия метана из почв Ростовской области // Аридные экосистемы. 2011. Т. 17. № 4(49). С. 44-52.
21. РД 52.24.511-2013. Массовая доля метана в донных отложениях. Методика измерений газохроматографическим методом с использованием анализа равновесного пара. Ростов н/Д: Росгидромет, ГУ «Гидрохимический институт», 2013. 19 с.
22. Федоров Ю.А., Гарькуша Д.Н., Шипкова Г.В. Эмиссия метана торфяными залежами верховых болот Псковской области // География и природные ресурсы. 2015. № 1. С. 88-97.

23. Гарькуша Д.Н., Федоров Ю.А., Сухоруков В.В. Эмиссия метана тростниковой формацией побережья Азовского моря // Вода: химия и экология. 2019. № 3-6. С. 78-85.
24. Вальков В.Ф., Колесников С.И., Казеев К.Ш. Почвы Юга России: классификация и диагностика. Ростов н/Д: Изд-во СКНЦ ВШ, 2002. 156 с.
25. Федоров Ю.А., Гарькуша Д.Н., Трофимов М.Е. Метан городских агломераций и его вклад в общую эмиссию (на примере Ростовской области) // Экологические и гидрометеорологические проблемы больших городов и промышленных зон: труды 3-й Междунар. конф. Санкт-Петербург: РГГМУ, 2005. С. 51-52.

Конфликт интересов: Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Поступила в редакцию 19.09.2022

Принята к публикации 12.12.2022

METHANE CONCENTRATION AND EMISSION IN VARIOUS TYPES OF SOILS OF THE ROSTOV REGION

D. Gar'kusha, Yu. Fedorov, R. Trubnik, M. Krukier

Institute of Earth Sciences, Southern Federal University, Russia, Rostov-on-Don

e-mail: gardim1@yandex.ru

The results of measurements of methane concentrations in various types of soils of the Rostov region and their flows into the atmosphere are analyzed. The rate of methane emission from the soil surface varied in the range of 0.000-0.136 mg CH₄ m⁻²h⁻¹ and was closely correlated with its concentrations in soils ($r = 0.85$). The maximum speeds of methane flows are characteristic of periodically flooded soils sampled in reed beds in the floodplain of the Tsimlyansk reservoir, and for man-made soils in the landfills of mines. The methane flow into the atmosphere on chestnut soils of arable land was absent, and its minimal concentration was recorded (0.005 µg/g). In descending order of the average velocity of methane flows into the atmosphere, the studied soil types are arranged as follows: alluvial (floodplain) soils periodically flooded with water (0.134 mg CH₄ m⁻²h⁻¹), > ordinary chernozem (0.055 mg CH₄ m⁻²h⁻¹) > alluvial meadow-chernozem soils (0.037 mg CH₄ m⁻²h⁻¹) > chestnut soils (0.033 mg CH₄ m⁻²h⁻¹). According to approximate estimates, the total methane emission from the soil surface of the Rostov region ranges from 46.1 to 193.6 tons per day or from 9675 to 40663 tons per year, which indicates their significant contribution (from 3.0 to 12.7 %) to the total methane emission by natural and anthropogenic sources of the Rostov region.

Key words: climate change, greenhouse gases, methane, emission, concentration, soils, carbon landfills, agrochemistry.

Referents

1. IPCC Climate Change 2014. Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Geneva, Switzerland, 2014. 151 p.
2. Val'kov V.F. Pochvovedenie. Uchebnik dlya vuzov. Moskva: IKTs MarT, Rostov n/D: Izdatel'skii tsentr MarT, 2004. 496 s.
3. Min'ko O.I. Generatsiya uglevodorodnogo gaza pochvennym pokrovom planety. Geokhimiya. 1991. N 1. S. 3-14.
4. Glagolev M.V., Sabrekov A.F. Otvet A.V. Smaginu: II. Uglерodnyi balans Rossii. Dinamika okruzhayushchei sredy i global'nye izmeneniya klimata. 2014. T. 5. N 2. S. 50-70.

5. Wallenius A.J., Dalcin Martins P., Slomp C.P. and Jetten M.S.M. Anthropogenic and Environmental Constraints on the Microbial Methane Cycle in Coastal Sediments. *Front. Microbiol.* 2021. 12:631621.
6. Ciais P., Sabine C., Bala G., Bopp L., Brovkin V., Canadell J., Chhabra A., DeFries R., Galloway J., Heimann M., Jones C., Le Quere C., Myneni R.B., Piao S., Thornton P. Carbon and other biogeochemical cycles. *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* MA: Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York. 2013. pp. 465-570.
7. Conrad R. Contribution of hydrogen to methane production and control of hydrogen concentrations in methanogenic soils and sediments. *FEMS Microbiology Ecology.* 1999. vol. 28. no. 3. pp. 193-202.
8. Lan X., Thoning K.W., Dlugokencky E.J. Trends in globally-averaged CH₄, N₂O, and SF₆ determined from NOAA Global Monitoring Laboratory measurements. Version 2022-11. URL: <https://doi.org/10.15138/P8XG-AA10> (дата обращения: 01.11.2022).
9. Conrad R. The global methane cycle: recent advances in understanding the microbial processes involved. *Environ. Microbiol.* 2009. rep. 1. pp. 285-292.
10. Bazhin N.M. Metan v atmosfere. *Sorosovskii obrazovatel'nyi zhurnal.* 2000. T. 6. N 3. S. 52-57.
11. Le Mer J., Roger P. Production, oxidation, emission and consumption of methane by soils: A review. *European J. Soil Biology.* 2001. vol. 37. no. 1. pp. 25-50.
12. Kondrat'ev K.Ya., Krapivin V.F. Modelirovanie global'nogo krugovorota ugleroda. Moskva: Fizmatlit, 2004. 336 s.
13. Zhu X., Zhuang Q., Qin Z., Glagolev M., Song L. Estimating wetland methane emissions from the northern high latitudes from 1990 to 2009 using artificial neural networks. *Global Biogeochem. Cycles.* 2013. vol. 27. Iss. 2. pp. 592-604.
14. Glagolev M.V., Filippov I.V. Inventarizatsii pogloshcheniya metana pochvami. *Dinamika okruzhayushchei sredy i global'nye izmeneniya klimata.* 2011. T. 2. N 2(4). S. 1-20.
15. Gar'kusha D.N., Fedorov Yu.A., Tambieva N.S. Metan v pochvakh razlichnykh geograficheskikh zon Rossi. *Izvestiya RAN. Seriya geograficheskaya.* 2018. N 3. S. 47-55.
16. Fedorov Yu.A., Sukhorukov V.V., Trubnik R.G. Analiticheskii obzor: emissiya i pogloshchenie parnikovyykh gazov pochvami. *Ekologicheskie problemy. Antropogennaya transformatsiya prirodnoi sredy.* 2021. T. 7. N 1. S. 6-34.
17. Gar'kusha D.N., Fedorov Yu.A. Vliyanie rastenii na protsessy tsikla metana v donnykh otlozheniyakh i rizosfere pochv. *Sibirskii ekologicheskii zhurnal.* 2016. N 6. S. 919-934.
18. Gal'chenko V.F., Dulov L.E., Kramer B., Konova N.I., Barysheva S.V. Biogeokhimicheskie protsessy tsikla metana v pochvakh, bolotakh i ozerakh Zapadnoi Sibiri. *Mikrobiologiya.* 2001. T. 70. N 2. S. 215-225.
19. Natsional'nyi doklad Rossiiskoi Federatsii o kadastre antropogennykh vybrosov iz istochnikov i absorptsii poglotitelyami parnikovyykh gazov, ne reguliruemyykh Monreal'skim protokolom za 1990-2013 gg. Ch. 1. Moskva: Rosgidromet, 2015. 476 s.
20. Gar'kusha D.N., Fedorov Yu.A., Tambieva N.S. Emissiya metana iz pochv Rostovskoi oblasti. *Aridnye ekosistemy.* 2011. T. 17. N 4(49). S. 44-52.
21. RD 52.24.511-2013. Massovaya dolya metana v donnykh otlozheniyakh. Metodika izmerenii gazokhromatograficheskim metodom s ispol'zovaniem analiza ravnovesnogo para. Rostov n/D: Rosgidromet, GU "Gidrokhimicheskii institut", 2013. 19 s.
22. Fedorov Yu.A., Gar'kusha D.N., Shipkova G.V. Emissiya metana torfyanyimi zalezhami verkhovykh bolot Pskovskoi oblasti. *Geografiya i prirodnye resursy.* 2015. N 1. S. 88-97.
23. Gar'kusha D.N., Fedorov Yu.A., Sukhorukov V.V. Emissiya metana trostnikovoi formatsiei poberezh'ya Azovskogo morya. *Voda: khimiya i ekologiya.* 2019. N 3-6. S. 78-85.

24. Val'kov V.F., Kolesnikov S.I., Kazeev K.Sh. Pochvy Yuga Rossii: klassifikatsiya i diagnostika. Rostov n/D: Izd-vo SKNTs VSh, 2002. 156 s.
25. Fedorov Yu.A., Gar'kusha D.N., Trofimov M.E. Metan gorodskikh aglomeratsii i ego vklad v obshchuyu emissiyu (na primere Rostovskoi oblasti). Ekologicheskie i gidrometeorologicheskie problemy bol'shikh gorodov i promyshlennykh zon: trudy 3-i Mezhdunar. konf. Sankt-Peterburg: RGGMU, 2005. S. 51-52.

Сведения об авторах:

Дмитрий Николаевич Гарькуша

К.г.н., доцент кафедры физической географии, экологии и охраны природы, Институт наук о Земле, ФГАОУ ВО «Южный федеральный университет»

ORCID 0000-0001-5026-2103

Dmitry Garkusha

Candidate of Geographic Sciences, Associate Professor of the Department of Physical Geography, Ecology and Nature Protection, Institute of Earth Sciences, Southern Federal University

Юрий Александрович Фёдоров

Д.г.н., профессор, заведующий кафедрой физической географии, экологии и охраны природы, Институт наук о Земле, ФГАОУ ВО «Южный федеральный университет»

ORCID 0000-0001-7411-3030

Yuri Fedorov

Doctor of Geographic Sciences, Professor, Head of the Department of Physical Geography, Ecology and Nature Protection, Institute of Earth Sciences, Southern Federal University

Роман Геннадьевич Трубник

Младший научный сотрудник, Институт наук о Земле, ФГАОУ ВО «Южный федеральный университет»

ORCID 0000-0002-5529-2907

Roman Trubnik

Junior Researcher, Institute of Earth Sciences, Southern Federal University

Михаил Львович Крукиер

Ведущий инженер, Институт наук о Земле, ФГАОУ ВО «Южный федеральный университет» Mikhail Krukier

Leading Engineer, Institute of Earth Sciences, Southern Federal University

Для цитирования: Гарькуша Д.Н., Фёдоров Ю.А., Трубник Р.Г., Крукиер М.Л. Концентрация и эмиссия метана в различных типах почв Ростовской области // Вопросы степеведения. 2022. № 4. С. 13-24. DOI: 10.24412/2712-8628-2022-4-13-24.