

## ВЫДЕЛЕНИЕ CO<sub>2</sub> ПРИ ПРОМЕРЗАНИИ-ОТТАИВАНИИ ЧЕРНОЗЁМОВ ТИПИЧНОГО И ЮЖНОГО

Д. В. Сапронов<sup>1</sup>, Т. Н. Крамарева<sup>2</sup>

1. Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН
2. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования «Воронежский государственный университет»

Поступила в редакцию 15.03.2018 г.

**Аннотация.** В лабораторном эксперименте исследовалось влияние периодически повторяющихся краткосрочных циклов промерзания-оттаивания на эмиссию CO<sub>2</sub> из почв. Объекты исследования: чернозём типичный (Воронежская область, заказник «Каменная степь») и чернозём южный (Волгоградская область, хутор Родниковский). В течение эксперимента (55 суток) было проведено два цикла промерзания-оттаивания общей продолжительностью 35 суток.

Выделение углекислого газа из чернозема типичного и южного во время цикла промерзания-оттаивания различалось по величинам, но имело сходную динамику. В диапазоне температур от +5°C до -5°C различия между дыханием вариантов были не достоверными. В начале заморозки выделение CO<sub>2</sub> снижалось до отрицательных значений и в небольших количествах регистрировалось из полностью мёрзлых почв. Низкая скорость выделения CO<sub>2</sub> была связана с высокой влажностью, которая обуславливала монолитное заморозание образца, что затрудняло диффузию углекислого газа. Проморозание и последующее оттаивание почвы способствовало усилению выделения CO<sub>2</sub> не зависимо от типа почвы. Всплеск эмиссии CO<sub>2</sub> начинался сразу после начала оттаивания почвы и длился примерно один день. В течение первого оттаивания скорость выделения CO<sub>2</sub> достигла 0.15 и 0.23 мкг С/г/час, из чернозёма южного и чернозёма типичного, соответственно. Эти величины превысили средние значения скорости выделения CO<sub>2</sub> при температуре +5°C в 6-8 раз. Величины всплесков скорости выделения CO<sub>2</sub> из исследуемых почв достоверно различались в 1.5 раза. Скорость выделения CO<sub>2</sub> во время второго пика была в обоих вариантах почти в два раза меньше, чем во время первого.

В течение обоих циклов промерзания-оттаивания выделилось порядка 13 – 15 мкг углерода, что составило лишь 8 – 11 % от суммарного потока за весь эксперимент. Вклад каждого всплеска выделения CO<sub>2</sub> в суммарную эмиссию за эксперимент составил 0,9 – 1.3%. В тоже время вклад этих же всплесков относительно суммарного потока за холодный период составлял уже 20 – 30 %. Таким образом, полученные результаты показывают, что вклад единичных циклов промерзания-оттаивания почвы в общий годовой поток CO<sub>2</sub> незначителен. Однако при большом числе циклов за осенне-зимне-весенний период их вклад может оказаться существенным, особенно в отдельные сезоны.

**Ключевые слова:** почва, чернозём, дыхание почвы, эмиссия CO<sub>2</sub>, углекислый газ, промерзание-оттаивание.

Проморозание и последующее оттаивание почвы может происходить практически на всей территории России. В умеренных широтах данное явление может иметь место в течение осенне-весеннего периода, а в регионах с холодным климатом эти процессы вероятны на протяжении всего года [1, 2].

По продолжительности и, как следствие, по функциональному воздействию на почву промерзание-оттаивание можно условно разделить на длительное и краткосрочное. Длительное промер-

зание растянуто во времени от нескольких недель до месяцев. В течение сезона может происходить не более трех – четырех циклов длительного промерзания, но, как правило, происходит один цикл. Проморозанию в этом случае подвергается значительная толща почвы. Краткосрочные циклы промерзания-оттаивания почвы длятся от нескольких часов до нескольких суток и захватывают только верхний слой почвенного профиля. Погодные условия в лесостепной и степной зонах европейской части России допускают проявление как длительных, так и краткосрочных чередований промерзания и оттаивания почвы. Так, например, в Во-

ронежской и Волгоградской областях период, в течение которого возможны заморозки, составляет порядка 200 дней и более [3, 4, 5]. Краткосрочные промерзания и оттаивания почв, залегающих в этих зонах, бывают значительно чаще, чем длительные циклы, так как могут происходить при кратковременных заморозках.

Ряд авторов установили, что краткосрочные циклы промерзания-оттаивания почвы вызывают резкое увеличение скорости выделения  $\text{CO}_2$  из почвы [1, 2, 6, 7, 8, 9]. В некоторых работах показано, что выделение  $\text{CO}_2$  из почв после промерзания-оттаивания изменяется незначительно и не превышает обычного варьирования [10]. Известно также, что эмиссионные всплески  $\text{CO}_2$  при замерзании и оттаивании почвы меньше таковых, чем при иссушения и увлажнении почв [11]. Неоднозначность выводов указывает на важность экспериментальной проверки влияния промерзания-оттаивания как на скорость эмиссии углекислого газа ( $\text{CO}_2$ ) из почв в отдельные дни, так и в целом, на суммарный поток углерода из почв в течение сезона и года. Известно, что чернозёмы содержат значительные запасы потенциально-минерализуемого органического вещества [12], что определяет высокий эмиссионный потенциал этих почв на территории России [13]. В связи с этим явления, подобные промерзанию-оттаиванию, должны учитываться при расчёте почвенной эмиссии  $\text{CO}_2$  и баланса углерода в целом.

Целью работы было изучить влияние периодически повторяющихся краткосрочных циклов промерзания-оттаивания на размеры эмиссии  $\text{CO}_2$  чернозёмами лесостепной и степной зон.

## МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Динамика выделения  $\text{CO}_2$  при промерзании-оттаивании почвы изучалась в лабораторных условиях. Объектами исследования были пахотные чернозём типичный (Воронежская область, Государственный природный заказник «Каменная степь») и чернозём южный (Волгоградская об-

ласть, Новоаннинский район, хутор Родниковский). Основные физико-химические показатели почв представлены в таблице 1.

Смешанные образцы почв были отобраны из гумусового горизонта с глубины 0-10 см методом конверта. Почву высушивали при комнатной температуре до воздушно-сухого состояния, перемешивали, затем просеивали через сито с диаметром отверстий 3 мм и отбирали растительные остатки. При определении физико-химических характеристик почв использовали стандартные, общепринятые методики.

Для проведения инкубационного эксперимента почву помещали в стеклянные флаконы объемом 100 см<sup>3</sup>. Масса почвы составляла 10 г (в пересчёте на абсолютно сухую массу). Содержимое флаконов увлажняли до 80% от ППВ. Исследуемые образцы инкубировали при постоянной влажности в течение 54 суток в автоматическом инкубаторе Panasonic MIR-254. В течение эксперимента было проведено два цикла промерзания-оттаивания. Инкубацию проводили в четырёхкратной повторности для каждой почвы.

Чтобы приблизить условия эксперимента к естественным, была проведена предварительная двухнедельная инкубация почв при температуре +21°C, далее температуру снижали. Сначала на 10 дней снизили до +10°C, а затем в течение 7 дней флаконы выдерживали при +5°C. Промерзание образцов проводили при -5°C в течение 6 дней. Затем температуру снова повышали до +5°C (период оттаивания) и выдерживали при этой температуре еще 7 дней. Повторный цикл промерзания-оттаивания был сделан через семь дней после первого по той же схеме.

Измерения выделяющегося  $\text{CO}_2$  проводили с различными интервалами, в зависимости от температурного периода и скорости накопления углекислого газа. В промежутках между измерениями флаконы были закрыты полиэтиленовой плёнкой, которая препятствует пересыханию образцов, но обеспечивает свободный газообмен. Непосред-

Таблица 1.

Основные физико-химические характеристики почв

*ППВ, %	**С и N, %	***рН	Обмен основания, ммоль/100 г	Обменная кислотность, мг-экв/100 г	CO <sub>2</sub> карбон., %	SO <sub>4</sub> гипса, %
Чернозем типичный						
62	$\frac{5.1}{0.43}$	$\frac{6.9}{7.6}$	53.1	0.10	2.5	0.01
Чернозем южный						
49	$\frac{1.5}{0.13}$	$\frac{6.2}{7.2}$	25.9	0.06	0.9	0.01

\*ППВ – Полная полевая влагоёмкость. \*\*Над чертой – Сорг, под чертой Нобщ. \*\*\*Над чертой – солевой, под чертой – водный.

ственно перед каждым измерением концентрации CO<sub>2</sub> флаконы проветривали в вытяжном шкафу в течение 10 минут и герметично закрывали резиновыми мембранами для накопления углекислого газа. Время накопления CO<sub>2</sub> длилось от нескольких часов до нескольких суток в зависимости от скорости его выделения. Газовые пробы из флаконов отбирали с помощью шприца объемом 1 мл. Начальные концентрации CO<sub>2</sub> определяли в контрольных (пустых) флаконах. Концентрацию CO<sub>2</sub> в газовых пробах измеряли на газовом хроматографе «Кристалл люкс – 4000М». Скорость выделения CO<sub>2</sub> из почвы рассчитывали по формуле 1:  $C = ((C_1 - C_0) \times V \times 12) / (100 \times 22.4 \times t \times m)$ , (1) где: C – количество C-CO<sub>2</sub>, г/г/час, C<sub>1</sub> – концентрация CO<sub>2</sub> во флаконе после накопления, объемные %; C<sub>0</sub> – начальная концентрация CO<sub>2</sub> во флаконе, объемные %; V – объём флакона, мл; 12 – молярная масса углерода, г/моль, 22,4 – молярный объём газа, л/моль, t – время экспозиции, час; m – масса абсолютно сухой навески, г.

Статистическая обработка данных осуществлялась при помощи программы STATISTICA. Были рассчитаны средние величины интенсивности выделения CO<sub>2</sub>, стандартное отклонение (STD), стандартные ошибки (SE). Полученные в ходе эксперимента данные были разделены на 3 группы в соответствии с различными стадиями цикла промерзания-оттаивания (ЦПО): до промерзания (+5°C), промерзание (-5°C) и оттаивание (+5°C). Внутри полученных групп данных также были рассчитаны средние величины интенсивности выделения CO<sub>2</sub>, стандартные ошибки (SE), была определена достоверность различий между вариантами.

## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

В течение первых двух суток после начала инкубации наблюдали очень интенсивное выделение CO<sub>2</sub>, которое достигало более 2 мкг C-CO<sub>2</sub>/г/час в варианте с чернозёмом типичным и 1 мкг C-CO<sub>2</sub>/г/час в варианте с чернозёмом южным. Высокий начальный уровень эмиссии CO<sub>2</sub> был обусловлен откликом микробной биомассы на увлажнение почв и в дальнейшем по мере утилизации легкодоступного субстрата и стабилизации почвенных процессов скорость выделения CO<sub>2</sub> значительно снизилась. В течение периода с температурой +21°C было зафиксировано различие между величинами потоков CO<sub>2</sub> из почв. На основании этого мы можем сделать вывод о том, что в естественных условиях, при гидротермических

показателях близких к оптимальным, дыхание исследуемых почв контролируется их физико-химическими характеристиками и в первую очередь разным содержанием органического вещества. По мере снижения температуры различия между почвами по величинам потока CO<sub>2</sub> нивелировались (Рис. 1).

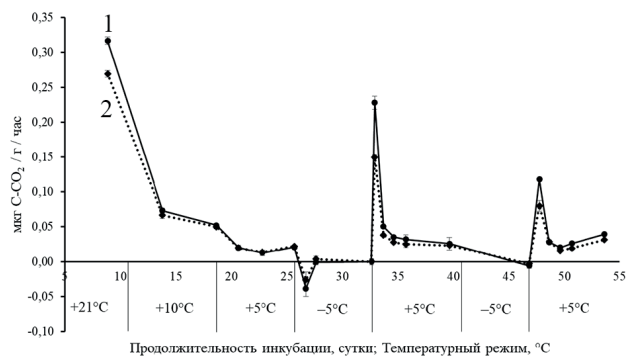


Рис. 1. Динамика скорости выделения CO<sub>2</sub> из почв. Обозначения: 1- Чернозём типичный, 2 - Чернозём южный

Эмиссия CO<sub>2</sub> из почвы при температуре +5°C изменялась от 0.01 до 0.03 мкг C/г/час в среднем составляя 0.026±0.006 мкг C/г/час (± STD). Уже в течение этого температурного режима различия между вариантами были не всегда достоверными. При промерзании почвы ряд исследователей наблюдали увеличения скорости выделения CO<sub>2</sub>, по их мнению обусловленное его высвобождением из почвенного раствора [9, 14]. В нашей работе при переходе температуры от +5°C до -5°C было зафиксировано снижение скорости выделения CO<sub>2</sub> до отрицательных значений (Рис. 1). Это, на наш взгляд, может быть объяснено тем, что при нулевой и отрицательных температурах растворение CO<sub>2</sub> в почвенной воде и фиксация льдом превышали его продукцию. Такой эффект наблюдали как в варианте с чернозёмом типичным, так и с чернозёмом южным.

В ряде лабораторных исследований было показано, что почвенные микроорганизмы остаются способными к разложению органического вещества и, как следствие, продукции CO<sub>2</sub> до -7°C [8, 15, 16, 17, 18]. Таким образом, почвенное микробное сообщество продолжает быть активным и при относительно небольших (до -5°C) отрицательных температурах, которые обеспечивают промерзание поверхностного горизонта. Известно также, что промерзание приводит к физическому разрушению почвенных агрегатов и больших органических молекул, увеличивая доступность органического вещества для микроорганизмов

[19, 20]. Полученные нами результаты, также показали, что выделение  $\text{CO}_2$  из промёрзших почв возможно, но находится на крайне низком уровне. Вероятно, низкая скорость выделения  $\text{CO}_2$  в нашей работе была обусловлена достаточно высокой влажностью образцов и, как следствие, замерзание образца было монолитным. Что затрудняло диффузию углекислого газа [9]. Это также хорошо согласуется с данными исследований в естественных условиях, свидетельствующих о существовании зимних потоков  $\text{CO}_2$  из почв [16].

По литературным данным известно, что промерзание и последующее оттаивание почвы стимулирует резкое увеличение скорости выделения  $\text{CO}_2$ , в несколько раз по сравнению с потоком  $\text{CO}_2$  до и после цикла промерзания-оттаивания [2, 7, 9]. В нашей работе было проведено два цикла промерзания-оттаивания с двухнедельным интервалом. Во время каждого оттаивания почвы было зарегистрировано увеличение скорости выделения  $\text{CO}_2$  (Рис. 1). Всплеск эмиссии  $\text{CO}_2$  начинался сразу после начала оттаивания почвы и длился примерно один день. В течение первого пика скорость выделения  $\text{CO}_2$  достигла 0.15 и 0.23 мкг С/г/час, на чернозёме южном и чернозёме типичном, соответственно, превысив средние значения скорости выделения  $\text{CO}_2$  при температуре  $+5^\circ\text{C}$  в 6-8 раз. Не смотря на то, что в диапазоне температур от  $+5^\circ\text{C}$  до  $-5^\circ\text{C}$  различия между дыханием вариантов были не достоверными, всплески выделения  $\text{CO}_2$  на исследуемых почвах достоверно различались в 1.5 раза, что на наш взгляд обусловлено свойствами почв. Ряд авторов полагают, что различный отклик разных почв при промерзании-оттаивании связан с разной доступностью органического субстрата в этих почвах, и разными размерами и структурой микробного сообщества [2].

Скорость выделения  $\text{CO}_2$  во время второго пика была в обоих вариантах примерно в два раза

меньше, чем во время первого. Считается, что это обстоятельство связано с тем, что после первого заморозания-оттаивания преимущественно выделяется  $\text{CO}_2$ , вызванный разложением микробной биомассы, и в результате, при последующих циклах заморозания-оттаивания воздействие самого микробного сообщества на почвенную органическую часть уменьшается. [2, 9]. Следовательно, дополнительной минерализации при чередовании циклов промерзания-оттаивания подвергается довольно ограниченное количество почвенного органического вещества. Поэтому, по мере расходования доступного микроорганизмам субстрата эффект усиления эмиссии  $\text{CO}_2$  от промерзания-оттаивания уменьшается [11].

На основе данных по суммарному количеству  $\text{CO}_2$ , выделившегося в течение всего эксперимента показано, что поток  $\text{CO}_2$  в варианте с чернозёмом типичным почти в два раза превысил поток  $\text{CO}_2$  в варианте с чернозёмом южным (Рис. 2А). Стоит отметить, что порядка 78 - 85% (в зависимости от варианта) суммарного потока составляет вклад периода с температурой  $+21^\circ\text{C}$ , т.е. основная масса углекислого газа выделилась в течение первых 9 дней эксперимента. Именно в этот период сформировалось различие между вариантами, которое осталось практически неизменным до конца эксперимента.

Как видно из рисунка 2 количество  $\text{CO}_2$ , выделившееся в течение промерзания-оттаивания не является существенным на фоне суммарного потока углекислого газа (53 суток), поскольку продолжительность всплеска выделения  $\text{CO}_2$  не превышает одних суток. За оба цикла промерзания-оттаивания (35 суток) выделилось порядка 13 - 15 мкг углерода (Рис. 2В), что составило лишь 8 - 11 % от суммарного потока за весь эксперимент. Вклад каждого пика эмиссии  $\text{CO}_2$  на чернозёме типичном в суммарную эмиссию за эксперимент

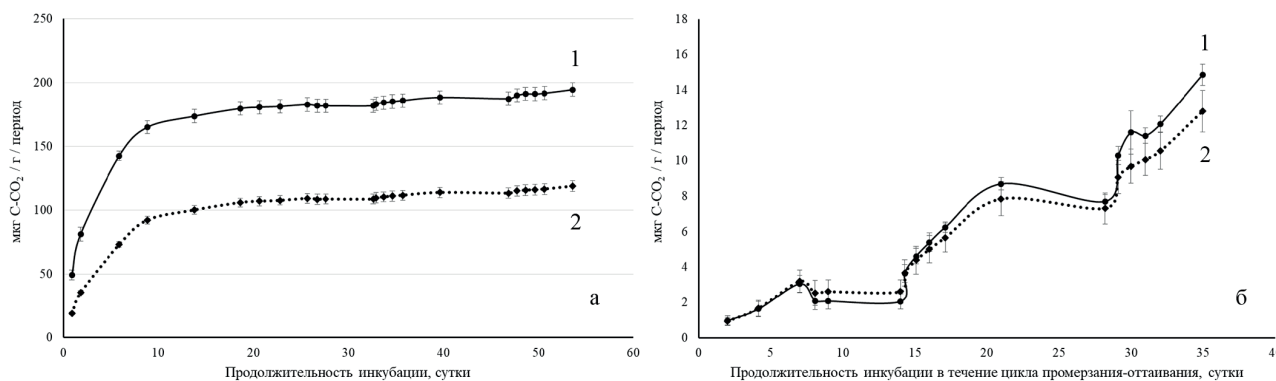


Рис. 2. Динамика кумулятивного потока  $\text{CO}_2$  (а) в течение эксперимента и (б) за период с температурой от  $+5^\circ\text{C}$  до  $-5^\circ\text{C}$  (35 суток). Обозначения: 1 - Чернозём типичный, 2 - Чернозём южный



составил 1.3%, а на чернозёме южном – 0,9%. В тоже время вклад этих же всплесков относительно суммарного потока за холодный период ( $\pm 5^\circ\text{C}$ , 35 суток) составлял уже до 20 – 30 %.

Таким образом, при проецировании результатов нашего лабораторного эксперимента на поток CO<sub>2</sub> в естественных условиях можно сделать вывод о том, что вклад единичных циклов промерзания-оттаивания почвы в обще годовой поток CO<sub>2</sub> незначителен. Однако, при значительном числе повторяющихся циклов промерзания-оттаивания импульсная продукция CO<sub>2</sub> может существенно отразиться на суммарном потоке CO<sub>2</sub>, особенно в течение отдельных сезонов. В этой связи, одной из первоочередных задач является детальный мониторинг осенне-зимне-весеннего периода с точным определением числа случаев замерзания-оттаивания почвы и ее гидротермического режима.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Характер выделения углекислого газа из типичного и южного чернозема во время цикла промерзания-оттаивания был сходен, а отличия проявлялись в размерах эмиссии, что было обусловлено разным содержанием органического вещества в исследуемых типах почвы. В почве обоих типов чернозема в ходе замерзания эмиссия CO<sub>2</sub> снижалась до отрицательных значений, а при последующем оттаивании почвы наблюдался всплеск выделения CO<sub>2</sub> из почв. Полученные результаты показывают, что вклад единичных циклов промерзания-оттаивания почвы в общий годовой поток CO<sub>2</sub> незначителен. Однако при значительном числе циклов за осенне-зимне-весенний период их вклад может оказаться существенным.

*Работа выполнена в рамках темы государственного задания «Исследование почвенных предшественников, источников и стоков парниковых газов в связи с климатическими изменениями», рег. № АААА-А18-118013190177-9, (2018–2020), рук. член-корр. Кудеяров В.Н.*

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Skogland T., Lomeland S., Goksoyr J. Respiratory burst after freezing and thawing of soil: experiments with soil bacteria // *Soil Biology and Biochemistry*. 1988. V. 20. pp. 851-856.
2. Schimel J.P., Clein J.S. Microbial response to freeze-thaw cycles in tundra and taiga soils // *Soil Biology and Biochemistry*. 1996. V. 28. pp. 1061-1066.
3. <http://www.mnr.gov.ru/maps/?region=36>, (дата обращения 22.02.2018)

4. Эколого-географический Атлас-книга Воронежской области / Рус. геогр. о-во, Воронеж. гос. ун-т; [науч. ред. и авт. идеи В.И. Федотов ; авт.-сост. В.И. Федотов и др. ; фот. М.П. Вязового и др.]. — Воронеж : Изд-во Воронежского государственного университета, 2013 .— 514 с.: цв. ил., табл., карт. — На обл. загл.: Атлас-книга Воронежской области .— Библиогр. в конце ст. — ISBN 978-5-93737-087-7. (С.70)].

5. Крамарева Т.Н. Ферментативная активность почв при различных антропогенных воздействиях: Диссертация. канд. биол. наук: 03.00.07 / Т.Н. Крамарева; Воронеж. гос. ун-т; Науч. рук. А.П. Щербаков .— Защищена 19.02.03 .— Воронеж, 2003 .— 163 с.

6. Курганова И.Н. Эмиссия и баланс диоксида углерода в наземных экосистемах России. Автореф. дисс. .... д.б.н. М., 2010. – 50 с.

7. DeLuca T.H., Keeney D.R., Mc Carty G.W. Effect of freeze-thaw events on mineralization of soil nitrogen // *Biology and Fertility of Soils*. 1992. V. 14. pp. 116-120.

8. Herrmann A., Witter E. Sources of C and N contributing to the flush in mineralization upon freeze-thaw cycles in soils // *Soil Biology and Biochemistry*. 2002. V. 34. pp. 1495-1505.

9. Kurganova I., Teepe R., Lofffield N. Influence of freeze-thaw events on carbon dioxide emission from soil at different moisture and land use // *Carbon Balance and Management*. 2007. 2:2. pp. 1-9.

10. Wang F.L., Bettany J.R. Influence of freeze-thaw and flooding on the loss of soluble organic carbon and carbon-dioxide from soil // *Journal of Environmental Quality*. 1993. V. 22. pp. 709-714.

11. Семенов В.М., Когут Б.М., Лукин С.М. Влияние повторяющихся циклов высушивания–увлажнения–замораживания–оттаивания на активный пул органического вещества почвы // *Почвоведение*. 2014. № 4. С. 443-454

12. Семенов В.М., Когут Б.М., Зинякова Н.Б., Масютенко Н.П., Малюкова Л.С., Лебедева Т.Н., Тулина А.С. Биологически активное органическое вещество в почвах европейской части России // *Почвоведение*. 2018. № 4. С. 457-472

13. Кудеяров В.Н., Заварзин Г.А., Благодатский С.А. и др. Пулы и потоки углерода в наземных экосистемах России. М.: Наука, 2007. 315 с.

14. Лопес де Гереню В.О., Курганова И.Н., Типе Р., Лофтфильд Н. Влияние процессов замораживания-оттаивания на эмиссию парниковых газов из пахотной бурозёмной почвы // *Агрохимия*. 2004. № 2. С. 23-30

15. Kurganova, I.N., Teepe, R. The effects of freezing-thawing processes on soil respiration activity // *Eurasian Soil Science*. 2003. V. 36. pp. 976–985.

16. Kurganova I., Lopes de Gerenyu V., Rozanova L., Sapronov D., Myakshina T., Kudеyаrov V. Annual and seasonal CO<sub>2</sub> fluxes from Russian southern taiga soils // *Tellus*. 2003. 55B. pp. 338-344.

17. Lopes de Gerenyu, V.O., Kurganova, I.N., Rozanova, L.N., Kudеyаrov, V.N. Annual emission of carbon dioxide from soils of the Southern taiga zone of Russia // *Eurasian Soil Science*. 2001. № 34. pp. 931–944.

18. Teepe R., Brumme R., Beese F. Nitrous oxide emission from soil during freezing and thawing peri-

ods // *Soil Biology and Biochemistry*. 2001. V. 33. pp. 1269-1275.

19. Christensen S., Christensen B.T. Organic matter available for denitrification in different soil fractions: effect of freeze/thaw cycles and straw disposal // *Journal of Soil Science* 1991. V. 42. pp. 637-647.

20. Soulides D.A., Allison F.E. Effects of drying and freezing soils on carbon dioxide production, available mineral nutrients, aggregation, and bacterial population // *Soil Science*. 1961. V. 91. pp. 291-298.

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН*

Сапронов Д. В., кандидат биологических наук, старший научный сотрудник,  
Тел.: +7 (4967)73-18-96;  
E-mail: [sadmvas@gmail.com](mailto:sadmvas@gmail.com)

*Institute of Physicochemical and Biological Problems in Soil Science Russian Academy of Sciences*

Sapronov D. V., PhD, Senior researcher  
Ph.: +7 (4967)73-18-96;  
E-mail: [sadmvas@gmail.com](mailto:sadmvas@gmail.com)

*Воронежский государственный университет*  
\*Крамарева Т. Н., кандидат биологических наук, старший преподаватель,  
Тел. +7 920 406-16-22  
E-mail: [tkramarewa@mail.ru](mailto:tkramarewa@mail.ru)

*Voronezh State University*  
\*Kramareva T. N., PhD, Senior lecturer  
Ph.: +7 920 406-16-22  
E-mail: [tkramarewa@mail.ru](mailto:tkramarewa@mail.ru)

## EMISSION OF CO<sub>2</sub> BY THE FREEZING-THAWING OF CHERNOZEMS

D. V. Sapronov<sup>1</sup>, T. N. Kramareva<sup>2</sup>

- Institute of physicochemical and biological problems in soil science Russian Academy of Science.*
- Voronezh State University*

**Abstract.** The influence of periodically recurring short-term freeze-thaw cycles on CO<sub>2</sub> emissions from soils was investigated in the laboratory experiment. Objects of the study: typical chernozem (Voronezh region, Kamennaya Step 'reserve) and southern chernozem (Volgograd region, Rodnikovsky farm). During the experiment (55 days), two cycles of freezing-thawing with a total duration of 35 days were carried out.

The emission of carbon dioxide from typical and southern chernozem during the freeze-thaw cycle differed in magnitude, but it had a similar dynamics. The differences between CO<sub>2</sub> emission from chernozems studied were statistically insignificant in the temperature range from +5 °C to –5 °C. At the beginning of freezing, the emission of CO<sub>2</sub> decreased to negative values and it was recorded in small amounts from completely frozen soils. The low rate of CO<sub>2</sub> emission was associated with high humidity, which caused a monolithic freezing of the sample, which made difficult diffusion of carbon dioxide. The freezing and subsequent thawing of the soil promoted the enhancement of the emission of CO<sub>2</sub>, regardless of the type of soil. The burst of CO<sub>2</sub> emission began immediately after the beginning of thawing of the soil and lasted approximately one day. During the first thawing, the rate of CO<sub>2</sub> emission reached 0.15 and 0.23 μg C / g / hour, from southern chernozem and typical chernozem, respectively. These values exceeded the

average values of the rate of CO<sub>2</sub> emission at a temperature of + 5 °C in 6-8 times. The bursts of the rate of CO<sub>2</sub> emission from the soils studied differed significantly in 1.5 times. The rate of CO<sub>2</sub> emission during the second burst was almost two times less in both variants than during the first one.

During both freeze-thaw cycles, about 13-15 µg of carbon was released, which was only 8-11% of the total flux for the whole experiment. The contribution of each CO<sub>2</sub> emission burst to the total emission for the experiment was 0.9 - 1.3%. At the same time, the contribution of these bursts relative to the total flux over the cold period was already 20-30%. Thus, the results obtained show that the contribution of single freeze-thaw cycles to the total annual flux of CO<sub>2</sub> can be negligible. However, with a large number of cycles during the autumn-winter-spring period, their contribution can be significant, especially in individual seasons.

**Keywords:** soil, chernozem, soil respiration, CO<sub>2</sub> emission, carbon dioxide, freezing-thawing of soil.

## REFERENCES

1. Skogland T., Lomeland S., Goksoyr J. Respiratory burst after freezing and thawing of soil: experiments with soil bacteria // *Soil Biology and Biochemistry*. 1988. V. 20. pp. 851-856.
2. Schimel J.P., Clein J.S. Microbial response to freeze-thaw cycles in tundra and taiga soils // *Soil Biology and Biochemistry*. 1996. V. 28. pp. 1061-1066.
3. <http://www.mnr.gov.ru/maps/?region=36>, (accessed 22.02.2018)
4. *Ekologo-geografichesky Atlas book of the Voronezh region / Russian geogr. about-in, Voronezh. state. un-t; [scientific editor and author of the idea V.I. Fedotov; authors-originators V.I. Fedotov, etc.; M.P. Vyazovy's photos, etc.]*. — Voronezh: Publishing house of the Voronezh State University, 2013. — 514 p.: color illustrations, tab., cards. — On a cover the title: Atlas book of the Voronezh region. — Bibliogr. at the end of the Art. — ISBN 978-5-93737-087-7. (P. 70)].
5. Kramareva T.N. Enzymatic activity of soils at various anthropogenic influences: Diss. cand. biol. nauk: 03.00.07 / T.N. Kramareva; Voronezh. state. un-t; Research supervisor A.P. Scherbakov. — It is protected 19.02.03. — Voronezh, 2003. — 163 p.
6. Kurganova I.N. An emission and balance of carbon dioxide in land ecosystems of Russia. Autoref. diss. ... Doctor of Biological Science M., 2010. — 50 p.
7. DeLuca T.H., Keeney D.R., Mc Carty G.W. Effect of freeze-thaw events on mineralization of soil nitrogen // *Biology and Fertility of Soils*. 1992. V. 14. pp. 116-120.
8. Herrmann A., Witter E. Sources of C and N contributing to the flush in mineralization upon freeze-thaw cycles in soils // *Soil Biology and Biochemistry*. 2002. V. 34. pp. 1495-1505.
9. Kurganova I., Teepe R., Loftfield N. Influence of freeze-thaw events on carbon dioxide emission from soil at different moisture and land use // *Carbon Balance and Management*. 2007. 2:2. pp. 1-9.
10. Wang F.L., Bettany J.R. Influence of freeze-thaw and flooding on the loss of soluble organic carbon and carbon-dioxide from soil // *Journal of Environmental Quality*. 1993. V. 22. pp. 709-714.
11. Semenov V.M., Kogut B.M., Lukin S.M. The Influence of drying – wetting and freezing – thawing repeating cycles on active pool of soil organic matter // *Pochvovedenie*. 2014. № 4. pp. 443-454.
12. Semenov V.M., Kogut B.M., Zinyakova N.B., Masyutenko N.P., Malyukova L.S., Lebedeva T.N., Tulina A.S. Biologically active organic matter in the soils of the European part of Russia // *Pochvovedenie*. 2018. № 4. pp. 457-472.
13. Kudeyarov V.N., Zavarzin G.A., Blagodatskiy S.A. et al. Pools and fluxes of carbon in terrestrial ecosystems of Russia. M.: Science, 2007. 315 c.
14. Lopes de Gerenyu V.O., Kurganova I.N., Teepe R., Loftfield N. Effect of freezing – thawing processes on emission of greenhouse gases from arable soil // *Agrochemistry*. 2004. № 2. pp. 23-30.
15. Kurganova, I.N., Teepe, R. The effects of freezing-thawing processes on soil respiration activity // *Eurasian Soil Science*. 2003. V. 36. pp. 976–985.
16. Kurganova I., Lopes de Gerenyu V., Rozanova L., Sapronov D., Myakshina T., Kudeyarov V. Annual and seasonal CO<sub>2</sub> fluxes from Russian southern taiga soils // *Tellus*. 2003. 55B. pp. 338-344.
17. Lopes de Gerenyu, V.O., Kurganova, I.N., Rozanova, L.N., Kudeyarov, V.N. Annual emission of carbon dioxide from soils of the Southern taiga zone of Russia // *Eurasian Soil Science*. 2001. № 34. pp. 931–944.
18. Teepe R., Brumme R., Beese F. Nitrous oxide emission from soil during freezing and thawing periods // *Soil Biology and Biochemistry*. 2001. V. 33. pp. 1269-1275.
19. Christensen S., Christensen B.T. Organic matter available for denitrification in different soil fractions: effect of freeze/thaw cycles and straw disposal // *Journal of Soil Science* 1991. V. 42. pp. 637-647.
20. Soulides D.A., Allison F.E. Effects of drying and freezing soils on carbon dioxide production, available mineral nutrients, aggregation, and bacterial population // *Soil Science*. 1961. V. 91. pp. 291-298.