

Влияние различных гидротермических условий почвы на продуцирование CO₂ из чернозема выщелоченного (модельный опыт)

А.Г. Шепелев

Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН, г. Якутск

В контролируемых гидротермических условиях показано, что скорость минерализационных процессов в черноземе выщелоченном (центральная лесостепь Западной Сибири) определяется в значительно большей степени ее температурой, чем влажностью. Интенсивная фаза процесса минерализации органического вещества почвы, обусловленная увлажнением, завершается в первые 15 дней, а динамика образования CO₂ в меньшей степени зависит от гидротермических показателей в эксперименте. На динамику эмиссии углекислого газа влияет количество находящегося в почве доступного для разложения растительного материала, который со временем истощается. Вследствие этого происходит постепенное уменьшение продуцирования CO₂ почвой. Температурный коэффициент минерализации Q_{10} для чернозема выщелоченного в диапазоне температур 10–25 °C изменяется в пределах 1,3–2,9. В эксперименте определено, что чем меньше коэффициент Q_{10} , тем выше скорость выделения CO₂ из чернозема выщелоченного.

Ключевые слова: продуцирование углекислого газа, минерализация, влажность, температура, температурный коэффициент Q_{10} .

Effect of Different Soil Hydrothermal Conditions on Production of CO₂ from the Leached Chernozem Soil (Modeling Experiment)

A.G. Shepelev

Melnikov Permafrost Institute SB RAS, Yakutsk

In controlled hydrothermal conditions it has been shown that the rate of mineralization processes in the leached chernozem soil (the central forest-steppe zone of Western Siberia) is determined mostly by temperature compare to humidity. The intensive phase of the process of mineralization of soil organic matter, due to moisture, is completed in the first 15 days, and the dynamics of the emission CO₂ is less dependent on hydrothermal indicators in the experiment. The dynamics of the formation of carbon dioxide affects the amount available in the soil for degradation of plant material that is depleted over time. Consequently there is a gradual decrease in CO₂ production soil. Temperature coefficient Q_{10} for leached chernozem in the temperature range of 10–25 °C varied between 1,3–2,9. It was revealed in the experiment, that the less Q_{10} ratio, the higher the rate of release of CO₂ was from the leached chernozem soil.

Key words: carbon dioxide production, mineralization, moisture, temperature, temperature coefficient Q_{10} .

Введение

Процесс разложения органических компонентов, поступающих в почву в виде растительного опада или находящихся в почве в составе гумусовых веществ, имеет фундаментальное значение в функционировании и развитии наземных

экосистем. Скорость их разложения может изменяться во времени в зависимости от условий окружающей среды, качества и количества органического материала [12]. Известно, что она во многом контролируется температурой и влажностью почвы. Изучение зависимости скорости продуцирования CO₂ от этих факторов важно для оценки изменения интенсивности минерализационных процессов в почве в тех или иных климатических условиях, и эта связь

неоднократно исследовалась [1, 2, 10, 13, 15–18, 22], причем была выявлена прямая корреляционная зависимость интенсивности дыхания и концентрации CO_2 в почвенном воздухе от температуры и влажности почвы. В периоды значительного переувлажнения почвы зависимость от влажности почвы может быть обратной, а увеличение температуры при низкой влажности почвы вызывает снижение интенсивности дыхания и концентрации CO_2 в почвенном воздухе. Повышение температуры и влажности почвы до оптимального предела: 25–35 °С и 80 % от полной влагоемкости почвы, стимулирует скорость минерализации органического вещества в почве. В случае роста гидротермических показателей сверх этого предела происходит снижение общей биологической активности почвы, что и проявляется в уменьшении скорости продуцирования CO_2 [2, 9, 11].

Целью настоящей работы было определение в лабораторном опыте эмиссии CO_2 из чернозема выщелоченного при различных гидротермических условиях почвы и выявление температурных коэффициентов Q_{10} в результате изменения температуры почвы.

Материалы и методы исследований

Исследования проводили в многолетнем полевом опыте (зерновой агроценоз), заложенном в центральной лесостепи Приобья – Новосибирская область. В почвенно-географическом районировании исследуемая территория относится к суббореальному (умеренному) поясу Центральной лесостепной и степной областей, к Предалтайской лесостепной провинции черноземов оподзоленных, выщелоченных и серых лесных почв [6].

Для модельного лабораторного эксперимента смешанные почвенные образцы отбирали из слоя почвы 0–25 см в зерновом агроценозе в 5-кратной повторности. Почва – чернозем выщелоченный среднесуглинистый среднегумусовый с содержанием гумуса 5,8 %, $N_{\text{общ}}$ – 0,27 %, $pH_{\text{сол}}$ – 6,6. В свежесобранной почве исключали заметные корни и затем почву высушивали до стационарного воздушно-сухого состояния. Перед проведением эксперимента воздушно-сухую почву просеивали через сито с диаметром ячеек 2 мм, чтобы исключить попадания в почву крупных растительных остатков. Затем навеску почвы по 250 г помещали в полиэтиленовые широкогорловые сосуды объемом 500 мл. Почву в сосудах увлажняли до 15, 20, 25 и 35 %. Сосуды с почвой отстаивали в течение 3 суток для равномерного распределения влаги в сосудах при комнатной температуре и 24 ч для температуры, соответствующих каждому варианту

эксперимента. Инкубирование проводили в течение 9 недель в термостатах при 10, 15, 20 и 25 °С. Для расчета статистики и сравнения вариантов между собой выбраны оптимальные гидротермические показатели: 25 °С и 25 % влажности – контрольный вариант.

В процессе инкубирования определяли скорость продуцирования CO_2 почвой абсорбционным методом [8], учет выделившегося CO_2 производили с интервалом экспозиций (час): 24, 24, 48, 48, 72, 72, 72, 72, 72, 120, 120, 192, 120, 120, 120 и 216. Указанный порядок экспозиций в опыте выбран не случайно, поскольку на начальном этапе минерализации почвенного органического вещества происходит усиленная активизация микробиологических процессов вследствие увлажнения и прогревания почвы выше 0 °С и она может продолжаться от 2 до 5 суток в зависимости от веса почвы в сосуде. На этот интервал суток приходится наибольшее выделение CO_2 . В последующие сутки минерализация выравнивается, а к концу опыта устанавливается на минимальных значениях. В естественных условиях минерализационный процесс пролонгирован и затухает в соответствии с ходом температуры, чем ниже температура, тем меньше выделяется углекислого газа. Регистрацию скорости продуцирования CO_2 черноземом выщелоченным вели при 4 температурах и нескольких уровнях влажности почвы. Число повторений в модельном опыте 3-кратное для каждого варианта опыта. Всего в эксперименте использовано 6 различных вариантов и 18 сосудов для инкубирования.

Отклик биохимических процессов на изменение температуры в почве характеризуется температурным коэффициентом Q_{10} . Он представляет собой увеличение или уменьшение скорости выделения CO_2 из почвы соответственно при повышении или понижении температуры почвы на 10 °С. Расчет температурного коэффициента (Q_{10}) производили по формуле Вант-Гоффа: $Q_{10} = (V_2 / V_1)^{10 / (T_2 - T_1)}$, где V_2 и V_1 – средние скорости эмиссии CO_2 при температурах T_2 и T_1 соответственно.

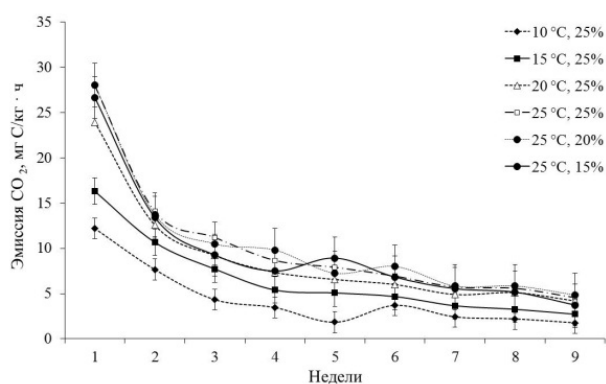
Статистическая обработка данных проводилась в системе «Statistica 6.0», StatSoft (США).

Результаты и обсуждение

Скорость минерализации органического вещества в почве при прочих равных факторах зависит от сочетания гидротермических условий. Недостаток влаги, как и ее избыток, может тормозить процессы разложения растительных остатков, а с повышением температуры интенсивность минерализации органического веще-

ства, как правило, возрастает, но с неодинаковой скоростью в различных температурных интервалах. Условия, которые принято считать оптимальными для функционирования микроорганизмов в почве и их участия в процессах превращения органических веществ, соответствуют температуре 22–25 °С и влажности 60–65 % от предельной полевой влагоёмкости [16]. По данным [20], повышение температуры почвы на 1 °С в пределах 5–25 °С стимулирует скорость минерализационных процессов примерно на 10 %.

На рисунке показана динамика продуцирования CO₂ почвой в зависимости от температуры и влажности почвы. В течение первой недели во всех вариантах эксперимента наблюдается максимум выделения CO₂, что связано с активизацией процесса минерализации после увлажнения почвы и началом разложения почвенного органического вещества. Количество выделившегося углекислого газа тесно связано с сочетанием различных комбинаций: температура – влажность, а скорость продуцирования CO₂ в большей степени зависит от температуры, чем от влажности почвы. На динамику образования CO₂, помимо гидротермических показателей, влияет и количество находящегося в почве доступного для разложения растительного материала, который со временем истощается, что и приводит к постепенному уменьшению продуцирования CO₂ к завершающей стадии опыта. Известно [7, 19], что вследствие процесса разложения, в первую очередь, расходуются запасы негумифицированного органического вещества (мортмассы) и легкоминерализуемые соединения, что обуславливает их утрату как основных источников образования углекислого газа, но только в том случае, если в почву не поступает дополнительного количества растительного материала.



Динамика скорости продуцирования CO₂ почвой при различных гидротермических условиях

Не обнаружено существенных различий в продуцировании CO₂ при температуре 25 °С между вариантами увлажнения почвы. В первую неделю инкубации скорость продуцирования CO₂ в этих вариантах составила 26,6–28,0, в последнюю – 3,7–4,6 мг С/кг·ч. В целом за инкубационный период при влажности почвы 25 % продуцирование углекислого газа в диапазоне температур от 25 до 10 °С, 25 до 15 °С и 25 до 20 °С снизилось соответственно в 2,3, 1,6 и 1,2 раза. При температуре инкубации 25 °С снижение влажности почвы от 25 до 15 % уменьшило скорость продуцирования CO₂ в 1,1 раза.

Это свидетельствует о том, что одним из главных факторов, определяющим скорость минерализации органического вещества, является температура, что подтверждается результатами исследований других авторов [3–5, 14, 21].

Суммарные потери углерода были минимальными при температуре 10 °С и влажности почвы 25 % – минерализация органического вещества снизилась на 57 % в сравнении с контрольным вариантом (табл. 1). При температурах 15 и 20 °С это снижение составило соответственно 36 и 14 %. В сравнении с первыми 15 днями потери углерода в период 45–60 дней в разных вариантах опыта уменьшились в 3,1–3,8 раза. По-видимому, вспышка минерализации органического вещества в начальный период опыта была обусловлена повышением доступности соединений почвенным микроорганизмам под влиянием высушивания почвы.

Анализ полученных данных в табл. 2 показал, что значения коэффициента Q₁₀ для исследуемой почвы при уровне увлажнения почвы 25 % изменяются от 2,9 до 1,3 (шаг 5 °С) и от 2,2 до 1,6 (шаг 10 °С). Чем меньше интервал температуры отличается от ее оптимального значения (25 °С), тем ниже будет температурный коэффициент. Температурные коэффициенты Q₁₀, рассчитанные для влажности почвы 15 %, изменяются в интервалах температур (10–25 °С) от 1,8 до 3,4, для влажности 25% – от 1,3 до 2,9. Низкая и высокая влажность почвы при оптимальных значениях температуры тормозит минерализацию органического вещества, что и фиксировалось скоростью выделения CO₂ из почвы.

Таким образом, температурные коэффициенты Q₁₀, рассчитанные для продуцирования CO₂ в различных гидротермических условиях, изменяются в широких пределах. В эксперименте было установлено, что чем меньше коэффициент Q₁₀, тем сильнее проявляется скорость выделения CO₂ из чернозема выщелоченного, и возрастают суммарные потери углерода из

Суммарные потери углерода из почвы в процессе инкубирования, С-СО₂, мг/кг почвы

Температура инкубации, °С	0–15 дн.			15–30 дн.			30–45 дн.			45–60 дн.			0–60 дн.		
	Влажность почвы, %														
	25	20	15	25	20	15	25	20	15	25	20	15	25	20	15
10	141*	Нет данных	Нет данных	56*	Нет данных	Нет данных	50*	Нет данных	Нет данных	37*	Нет данных	Нет данных	284*	Нет данных	Нет данных
15	195*	"	"	98*	"	"	73*	"	"	57*	"	"	423*	"	"
20	266*	"	"	123*	"	"	94*	"	"	86	"	"	569*	"	"
25 (контроль)	306	305	292	148	147	128	112	118	113	94	99	83	660	669	616
НСР ₀₅	14	-	-	12	-	-	6	-	-	9	-	-	20	-	-

Примечание. НСР₀₅ – наименьшая существенная разность при уровне достоверности 95 % (в иностранной литературе статистический критерий НСР известен под названием – least significant difference или LSD); * различия с контролем достоверны.

Т а б л и ц а 2

Значения температурного коэффициента Q₁₀ для различных интервалов температур инкубирования почвы

Влажность почвы, %	Интервалы температур, °С					
	10–15	15–20	20–25	10–20	10–25	15–25
15	3,4	Нет данных	Нет данных	Нет данных	3,0	1,8
25	2,9	1,9	1,3	2,2	Нет данных	1,6

органического вещества почвы, причем данное обстоятельство характерно для оптимальных значений температуры и увлажнения почвы.

Заключение

Температура почвы является наиболее значимым агентом, определяющим скорость минерализационных процессов в почве. Интенсивность выделения углекислого газа из почвы инкубационного опыта контролируется в значительно большей степени ее температурой. Вспышка процесса минерализации, обусловленная ее увлажнением, завершается в основном в первые 15 дней. За этот период потери углерода в виде углекислого газа из почвы превышают этот показатель за 45–60 дней в 3,1–3,8 раза. Из опыта следует, что изменение влажности почвы от 75 до 40 % от наименьшей влагоемкости (от оптимального значения влажности до влажности завядания) слабо влияет на выделение СО₂, что может служить одним из объяснений отсутствия связи между эмиссией углекислого газа и влажностью почвы.

Литература

1. Задорожный А.Н., Семенов М.В., Ходжаева А.К. и др. Почвенные процессы продукции, по-

требления и эмиссии парниковых газов // *Агротехника*. 2010. № 10. С. 75–92.

2. Кононова М.М. Органическое вещество почвы, его природа, свойства и методы изучения. М.: Наука, 1963. 313 с.

3. Курганова И.Н., Лопес де Гереню В.О., Розанова Л.Н. и др. Оценка эмиссии диоксида углерода из пахотных серых лесных почв // *Агротехника*. 2002. № 9. С. 52–57.

4. Лопес де Гереню О.В., Курганова И.Н., Розанова Л.Н. и др. Годовая эмиссия диоксида углерода из почвы южнотаежной зоны России // *Почвоведение*. 2001. № 9. С. 1045–1049.

5. Макаров Б.Н. Газовый режим почвы. М.: Агропромиздат, 1988. 104 с.

6. Почвенно-географическое районирование СССР (в связи с сельскохозяйственным использованием земель). М., 1962. 422 с.

7. Титлянова А.А., Кирюшин В.И., Охинько И.П. и др. Агроценозы степной зоны. Новосибирск: Наука, 1984. 246 с.

8. Шарков И.Н. Абсорбционный метод определения эмиссии СО₂ из почв // *Методы исследований органического вещества почв*. М.: Россельхозакадемия, Изд-во ГНУ ВНИПТИОУ, 2005. С. 401–407.

9. Bekku Y.S., Nakatsubo T., Kume A. et. al. Effect of warming on the temperature dependence of soil respiration rate in arctic, temperate and tropical soils // *Applied Soil Ecology*. 2003. V. 22. P. 205–210.

10. Buyanovsky C.A., Wagner C.H. Annual cycles of carbon dioxide level in soil air // *Soil Science Society of America*. 1983. V. 47, № 6. P. 1139–1145.

11. Chen H., Tian H.-Q. Does a general temperature-dependent Q₁₀ model of soil respiration exist at biome and global scale? // *Journal of Integrative Plant Biology (Formerly Acta Botanica Sinica)*. 2005. V. 47, № 11. P. 1288–1302.

12. *Ivannikova P.A.* Application absorption method to determine the natural flow of CO₂ from the soil // *Eurasian Soil Science*. 1992. № 6. P. 113–139.

13. *Kätterer T., Reichstein M., Andren O. et. al.* Temperature dependence of organic matter decomposition: a critical review using literature data analyzed with different model // *Biology and Fertility of Soils*. 1998. № 7. P. 258–262.

14. *Kirschbaum M.U.F.* The temperature dependence of soil organic matter decomposition, and the effect of global warming on soil organic C storage // *Soil Biology and Biochemistry*. 1995. V. 27, № 6. P. 753–760.

15. *Kirschbaum M.U.F.* Will changes in soil organic carbon act as a positive or negative feedback on global warming // *Biogeochemistry*. 2000. V. 48. P. 21–51.

16. *Kurganova I.N., de Gerenyu V.O.L., Lancho J.F.G. et. al.* Evaluation of the rates of soil organic matter mineralization in forest ecosystems of temperate continental, mediterranean, and tropical monsoon climates // *Eurasian Soil Science*. 2012. № 1. P. 82–94.

17. *Raich J.W., Potter C.S., Bhagavatti D.* Inter-annual variability in global soil respiration, 1980-94 // *Global Change Biology*. 2002. № 8. P. 800–812.

18. *Raich J.W., Schlesinger W.H.* The global carbon dioxide flux in soil respiration and its relationship to vegetation and climate // *Tellus*. 1992. V. 44B. P. 81–89.

19. *Sharkov I.N., Bukreeva S.L., Danilova A.A.* The role of easily mineralized organic matter carbon stocks stabilize in arable soils // *Contemporary Problems of Ecology*. 1997. № 4. P. 363–368.

20. *Singh J.S., Gupta S.R.* Plant decomposition and soil respiration in terrestrial ecosystems // *Botanical Review*. 1977. V. 43, № 4. P. 449–528.

21. *Tulina A.S., Semenov V.M.* Evaluation of the sensitivity of the mineralizable pool of soil organic matter to changes in temperature and moisture // *Soil Science*. 2015. V. 48, № 8. P. 831–840.

22. *Winkler J.P., Cherry R.S., Schlesinger W.H.* The Q₁₀ relationship of microbial respiration in a temperate forest soil // *Soil Biology and Biochemistry*. 1996. V. 28. P. 1067–1072.

Поступила в редакцию 22.12.2016

УДК 551.32:551.34

К методике исследований гидротермических деформаций на автомобильных дорогах криолитозоны

Д.М. Шестернев*, Т.В. Острельдина**

**Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН, г. Якутск*

***Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова, г. Якутск*

Анализ ранее выполненных исследований выявил актуальность проблемы для разработки эффективных способов и мероприятий управления гидротермическими деформациями, численное значение которых определяется как разность между пучением при промерзании и осадок при оттаивании основания и земляного полотна автомобильных дорог в годовом климатическом ритме. В настоящее время для ее решения используются методики и оборудования, не учитывающие конструктивных особенностей (высоты насыпи, наличия или отсутствия в их основании мерзлых грунтов, обводненности и т.п.). В работе с учетом этих недостатков предложена усовершенствованная система оценки деформаций, состоящая из двух площадок в границах природно-технической системы и литотехнической системы. В первом случае измеряются гидротермические деформации за пределами проезжей части автомобильной дороги, во втором – в пределах проезжей части. Новизна методики заключается в том, что в ее структуре предусмотрены исследования неравномерности деформаций конструктивных элементов автомобильных дорог в пространстве и во времени (дорожной одежды,

ШЕСТЕРНЕВ Дмитрий Михайлович – д.т.н., зав. лаб., shesdm@mail.ru; ОСТРЕЛЬДИНА Тамара Владимировна – аспирант.