

**ЗАПАСЫ АКТИВНОГО ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА
И ЭМИССИОННЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ЗОНАЛЬНЫХ
И ИНТРАЗОНАЛЬНЫХ ПОЧВ НА ТЕРРИТОРИИ
ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ РОССИИ**

*В.М. Семенов**, *Н.Б. Зинякова*

Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН,
Россия, 142290, Московская область, г. Пушкино, Институтская ул., 2; **v.m.semenov@mail.ru*

Реферат. Оценены запасы валового и активного (потенциально-минерализуемого) органического вещества в тринадцати почвах, залегающих в листовенно-лесной, лесостепной, степной и полупустынной почвенно-биоклиматических областей Европейской части Российской Федерации. В верхних слоях 0-20 и 0-50 см исследуемых зональных и интразональных почв содержится соответственно 0.81-2.73 и 1.54-5.84 т С га⁻¹ потенциально-минерализуемого органического вещества. Эти величины потенциально минерализуемого углерода были количественно соизмеримы объемам почвенной эмиссии С-СО₂, установленным в полевых условиях.

Ключевые слова. Углерод, минерализация, эмиссия, диоксид углерода, биомаркеры, глобальные изменения.

**ACTIVE ORGANIC MATTER STOCKS AND EMISSION
POTENTIAL OF ZONAL AND INTRAZONAL SOILS
ON THE TERRITORY OF THE EUROPEAN PART OF RUSSIA**

*V.M. Semenov**, *N.B. Zinyakova*

Institute of Physicochemical and Biological Problems in Soil Science of RAS,
2, Institutskaya ul., Pushchino, 142290, Moscow Region, Russia; **v.m.semenov@mail.ru*

Abstract. The stocks of total and active (potentially mineralizable) organic matter in thirteen soils located in the foliar-forest, forest-steppe, steppe, and semi-desert soil-climatic areas of the European part of the Russian Federation were estimated. In considered zonal and intrazonal soils there were 0.81-2.73 and 1.54-5.84 t C ha⁻¹ of potentially mineralizable organic matter in the top 0-20 cm and 0-50 cm layers, respectively. These amounts of potentially mineralizable carbon were quantitatively commensurate to soil emission of C-CO₂ measured in the field.

Keywords. Carbon, mineralization, emission, carbon dioxide, biomarkers, global changes.

Введение

Изменение химии атмосферы Земли из-за роста концентраций «парниковых» газов – одна из главных причин разбалансирования и дестабилизации климатической системы с увеличением аномалий температуры воздуха и числа экстремальных метеоявлений. По самому широкому спектру гуманитарных, политических и экономических вопросов проблема глобальных изменений климата не имеет себе равных среди других экологических проблем (Замолодчиков, 2013). Диоксид углерода относится к числу главных парниковых газов. Средневзвешенная концентрация CO_2 в атмосфере в 2015 году достигла нового исторического максимума, составив 400 ± 0.1 ppm, что на 20.9 ppm больше по сравнению с 2005 годом (WMO Greenhouse Gas Bulletin, 2016). В атмосфере содержится приблизительно 829 Гт углерода преимущественно в виде CO_2 , что в 1.3-2.0 раза больше, чем в биомассе наземных экосистем, но 1.8-2.9 раза меньше, чем в почве (Ciais et al., 2013). Относительно небольшой размер атмосферного пула углерода делает его более чувствительным к сбоям, вызванным разбалансированием обмена с другими пулами. Предполагается, что изменение почвенных запасов органического углерода всего лишь на 10% будет эквивалентно 30 годам антропогенных выбросов (Kirschbaum, 2000).

Образование CO_2 в почве осуществляется в ходе микробного разложения 1) почвенного органического вещества, 2) органических веществ, продуцируемых вегетирующими корнями (экссудаты, секретины, отмирающие ткани корней), 3) мертвых остатков растений, микроорганизмов и почвенных животных, а также за счет 4) дыхания корней и автотрофных микроорганизмов (Кузюаков, 2000). Размеры почвенной эмиссии диоксида углерода оцениваются преимущественно путем прямого измерения величины его потока с поверхности почвы (Задорожний и др., 2010). В этом случае учитывается CO_2 , продуцируемый и органотрофными организмами, и корнями вегетирующих растений, что приводит к завышению нетто-величин почвенного дыхания на 46% под лесной растительностью и на 60% под другими видами растительности (Hanson et al., 2000). По другим оценкам средний годовой вклад корней в эмиссию диоксида углерода из почвы составляет 33%, варьируя от 10 до 58% (Ларионова и др., 2003). Оценка эмиссионного потенциала разных почв по данным полевых измерений газового потока осложняется также сильной вариабельностью получаемых значений из-за суточных и сезонных флуктуаций температуры и влажности, что требует непрерывного и даже многолетнего мониторинга эмиссии CO_2 .

Есть все основания считать, что размеры продуцируемого почвой CO_2 не могут превышать запасов биологически активного органического вещества (Ходжаева, Семенов, 2015). Биологически активным органическим веществом называется потенциально-минерализуемая, преимущественно высокого энергетического и питательного статуса, быстро утилизируемая микроорганизмами, способная к химическим и биохимическим взаимодействиям, хими-

чески и физически незащищенная часть почвенного органического вещества с продолжительностью существования менее 3-10 лет (Семенов, Тулина, 2011). Определение содержания активного почвенного органического вещества производится по кумулятивному количеству $C-CO_2$, выделившегося при инкубации (влажность 60% ППВ, температура 22°C) предварительно высушенных (65°C, 24 час) образцов почвы за время равное по продолжительности теплomu периоду года (Семенов и др., 2006).

Целью данной работы было определить запасы потенциально-минерализуемого органического вещества в зональных и интразональных почвах Европейской части Российской Федерации.

Методы и материалы

Объектом исследований были почвы центральной лиственно-лесной, лесостепной, степной и полупустынной почвенно-биоклиматических областей Европейской части Российской Федерации. Названия почв, местоположение и условия залегания приведены в табл. 1.

Таблица 1. Коллекция образцов зональных и интразональных почв

№	Почва	Угодье	Местоположение
1	Серая лесная	Лес	Тульская область, Щекинский район, N 53°9740' E 37°1801'
2	То же	Пашня	Там же, N 53°9720' E 37°1782'
3	Темно-серая лесная	Лес	Тульская область, Щекинский район, N 53°9746' E 37°1543'
4	Чернозем обыкновенный	Луговая степь	Воронежская область, Таловский район. Каменная Степь, N 51°0491' E 40°7234'
5	То же	Пашня	Там же, N 51°0476' E 40°7223'
6	Луговая слитизированная	Луг	Волгоградская область, Новоаннинский район, пойма реки Бузулук, N 50°5048' E 42°5614'
7	Луговой солонец солончаковый мелкий	Луг	Волгоградская область, Новоаннинский район, пойма реки Бузулук, N 50°4972' E 42°5699'
8	Лугово-каштановая	Луг	Там же, N 50°5029' E 42°5820'
9	Солонец степной мелкий на микроплакоре	Степь	Волгоградская область, Иловлинский район, N 49°0994' E 44°0397'
10	Каштановая солонцеватая	Степь	Волгоградская область, Иловлинский район, N 49° 0978' E 44°0413'
11	Лугово-болотная глеевая	Луг	Волгоградская область, Среднеахтубинский район, пойма реки Ахтуба, N 48°6892' E 44°9124'
12	Пойменная луговая на повышении	Дубрава	Там же, N 48°6910' E 44°9068'
13	Натриево-кальциевый солончак	Такыр	Астраханская область, Ахтубинский район, озеро Баскунчак, N 48°0280' E 46°8353'

Образцы почв были отобраны в ходе почвенно-географической экспедиции 2014 г. Отбор почвенных образцов производился из трех стенок почвенного разреза посередине выделенных генетических горизонтов на всю глубину их распространения. Свежеотобранные образцы высушивали на открытом воздухе до воздушно-сухого состояния. В дальнейшем все почвенные образцы доводились до размера частиц меньше 3 мм путем размельчения комков и просеивания через сито с удалением видимых остатков растений и мезофауны.

Активное органическое вещество в образцах генетических горизонтов почв определяли в лабораторных условиях с количественным учетом C-CO₂ в течение длительной инкубации почвенных образцов (Семенов и др., 2005). Навески почв массой 20 г помещали в стеклянные флаконы емкостью 100 мл. Флаконы с почвенными образцами выдерживали в течение суток в термостате при температуре 65°C в соответствии с требованиями биокинетического метода (Семенов и др., 2006). Прогретые образцы почв доводили до комнатной температуры, после чего увлажняли до 25 массовых процентов, добавляя дистиллированную воду. Образцы почв инкубировались в термостате в герметично закрытых силиконовыми пробками флаконах при 22°C. Постоянную влажность образцов поддерживали периодическим добавлением воды до исходной массы. Продолжительность инкубации первой серии образцов составляла 163 суток, второй – 167. Повторность – трехкратная. Первое измерение концентрации C-CO₂ в газовой фазе инкубируемых образцов проводили через 3-4 ч, а последующие – ежедневно в течение первой недели, затем три раза в неделю, в течение второго месяца инкубации – два раза в неделю, начиная с третьего месяца инкубации – один раз в неделю. За весь период инкубации первой серии образцов проведено 34 отбора газовых проб, второй – 35 отборов. Концентрацию C-CO₂ определяли на газовом хроматографе Кристалл Люкс 4000М. После каждого измерения флаконы проветривали. Скорость потока C-CO₂ (мг/100 г в сутки) рассчитывали по разнице концентраций CO₂ за время экспозиции.

Кумулятивную величину продуцирования C-CO₂ устанавливали путем прибавления количества C-CO₂ в каждый срок измерения к сумме за предыдущие сроки. Содержание углерода активного (потенциально-минерализуемого) органического вещества (C₀) в почве на момент начала инкубации рассчитывали по кумулятивному количеству C-CO₂, выделившемуся за весь период инкубации, используя однокомпонентное уравнение кинетики первого порядка:

$$C_t = C_0 \cdot (1 - \exp(-k \cdot t)),$$

где: C_t – кумулятивное количество C-CO₂ (мг/100 г почвы) за время t (сутки);

C₀ – содержание углерода активного (потенциально минерализуемого) органического вещества (мг/100 г);

k – константа скорости минерализации (сутки⁻¹).

Вычисление биокинетических параметров C₀ и k проводили методом нелинейной оценки программы Statistica 6.0.

Содержание валового органического углерода ($C_{\text{орг}}$) в почве определяли с помощью CNHS-анализатора (Leco 932, USA) в растертых до частиц <0.25 мм образцах. Запасы углерода органического вещества в слоях 0-20 и 0-50 см рассчитывали исходя из его содержания в горизонтах, выделенных на этой глубине, мощности этих горизонтов и значений объемной массы в соответствующих горизонтах, взятых из Единого реестра почв (Единый государственный реестр ..., 2014).

Результаты и дискуссия

Известно, что запасы органического вещества объективнее и точнее отображают гумусное состояние разных типов почв, отличающихся строением профиля, мощностью горизонтов, гранулометрическим составом, плотностью сложения и другими показателями, чем валовое содержание $C_{\text{орг}}$ в выделенных слоях или горизонтах (Орлов и др., 1996). Определение запасов органического углерода в почве востребовано при оценке биогеохимического цикла углерода и его баланса в экосистемах, сравнении вклада природных и антропогенных источников эмиссии диоксида углерода и эффективности разных технологий, предусматривающих секвестрацию углерода (Кудеяров и др., 2007; Семенов, Когут, 2015). Однако в силу разнородности, многокомпонентности и био-физико-химической защищенности органических компонентов, содержащихся в почве, а также высокой чувствительности микроорганизмов к факторам внешней среды значимому разложению и минерализации подвергается только некоторая часть почвенного органического вещества, слагающая его активный пул. Поэтому более точным предиктором эмиссионного потенциала почвы следует считать запасы не валового органического вещества, а только его активного (потенциально-минерализуемого) пула.

Зональные и интразональные почвы центральной лиственно-лесной, лесостепной, степной и полупустынной почвенно-биоклиматических областей Европейской части Российской Федерации существенно отличаются по запасам общего и активного органического вещества в слое 0-20 см (табл. 2). Почвы разных зон и местоположений по запасам активного органического вещества в 0-20 см слое образуют следующий убывающий ряд: пойменная луговая > чернозем обыкновенный = луговая слитизированная > темно-серая лесная > серая лесная = солонец степной мелкий > луговой солонец солончак-мелкий > лугово-каштановая > каштановая солонцеватая > лугово-болотная глеевая > натриево-кальциевый солончак (табл. 2). Самая высокая доля активного пула в валовом почвенном органическом веществе была свойственна лугово-болотной глееватой почве и солонцу степному (5.3 и 5.2% от запасов $C_{\text{орг}}$ соответственно), а самая низкая – чернозему обыкновенному (1.9% от запасов $C_{\text{орг}}$). Запасы валового и активного органического вещества в пахотной серой лесной почве были соответственно в 1.15 и 1.35 раза меньше, чем в целинной почве, а в пахотном черноземе обыкновенном – в 1.09 и 1.54 раза меньше, чем в необрабатываемом его аналоге.

Таблица 2. Запасы валового ($C_{\text{орг}}$) и активного (C_0) органического вещества в ряду зональных и интразональных почв, т С га⁻¹

Почва	0-20 см		0-50 см	
	$C_{\text{орг}}$	C_0	$C_{\text{орг}}$	C_0
1	52	1.99	104	3.11
2	45	1.47	100	3.04
3	60	2.05	121	3.96
4	93	2.50	199	5.05
5	86	1.62	209	3.57
6	90	2.49	222	5.84
7	47	1.84	98	2.26
8	48	1.74	105	2.73
9	37	1.98	66	2.84
10	37	1.54	69	1.99
11	32	0.97	69	1.76
12	52	2.73	103	4.32
13	24	0.81	50	1.54

Примечание. Обозначения почв приведены в табл. 1

Известно, что оценка почвенного пула углерода по его содержанию и запасам в пределах верхнего слоя 0-20 см дает неполное или даже искаженное представление о степени вовлеченности почвенного углерода в биогеохимическом цикле. По обобщенным данным, включающим 2073 почвенных профилей, описанных в различных природных зонах и экосистемах, в метровой толще большинства почв содержится соответственно в 3.1 и 4.3 раза больше $C_{\text{орг}}$, чем на глубине 1-2 и 2-3 м, а в верхнем слое 0-20 см в зависимости от вида экосистемы находится от 33 до 50% $C_{\text{орг}}$ от содержащегося в метровом слое (Jobbágy, Jackson, 2000). В исследуемых нами почвах на слой 0-20 см приходилось 40-57% $C_{\text{орг}}$ от его запасов в 0-50 см слое, что свидетельствует о довольно равномерном распределении органического вещества в пределах полуметрового слоя всех тринадцати почв (табл. 2).

Распределение углерода активного органического вещества в полуметровом слое почвы было более неравномерным по сравнению с $C_{\text{орг}}$. Хотя верхний горизонт почвы, в котором расположена основная масса корней растений, характеризуется наибольшей биологической активностью с доминированием относительно молодого и быстро оборачиваемого органического вещества (Fontaine et al., 2007), довольно большая часть активного органического вещества находится за пределами 0-20 см слоя. В зависимости от типа почвы в слое 20-50 см обнаруживалось 19-43% от запасов активного органического вещества, сосредоточенного в полуметровом слое (табл. 2).

Верхняя часть полуметрового профиля была самой насыщенной активным органическим веществом в луговом солонце солончаковом, солонце степном и в каштановой солонцеватой почве, а нижняя часть – в луговой слитизиро-

ванной почве, черноземе обыкновенном и в темно-серой лесной почве. Поэтому последовательность почв по запасам активного органического вещества в слое 0-50 см несколько отличалась от таковой при оценке запасов в слое 0-20 см: луговая слитизированная > чернозем обыкновенный > пойменная луговая > темно-серая лесная > серая лесная > солонец степной мелкий > лугово-каштановая > луговой солонец солончаковый мелкий > каштановая солонцеватая > лугово-болотная глеевая > натриево-кальциевый солончак. Характерным было и сглаживание различий по запасам валового и активного органического вещества между целинными и пахотными видами обыкновенного чернозема и серой лесной почвы. Хотя исследуемые почвы существенно отличались между собой по запасам как валового, так и активного органического вещества, прослеживалась прямая зависимость между этими показателями (рис. 1). При этом запасы в слое 0-50 см точнее характеризовали гумусное состояние почв, по сравнению со слоем 0-20 см, демонстрируя более тесную корреляционную связь между $C_{орг}$ и C_0 .

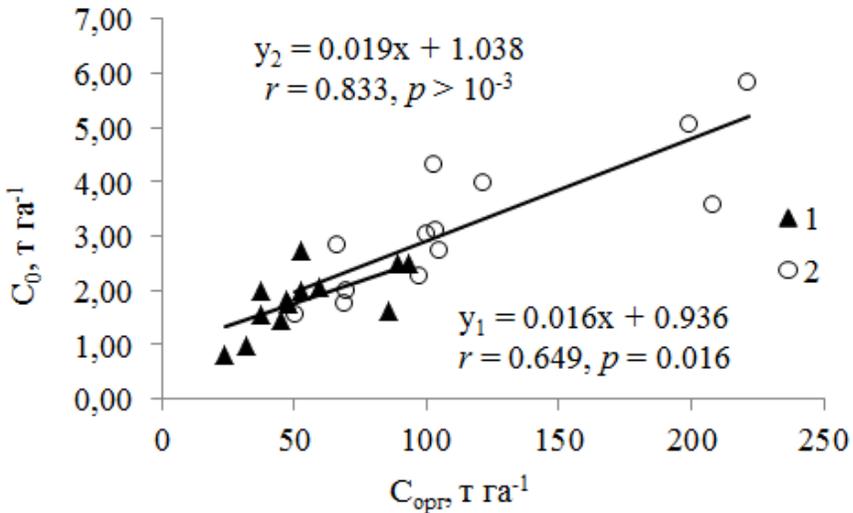


Рисунок 1. Зависимость запасов валового ($C_{орг}$) и активного (C_0) органического вещества в исследуемом ряду почв
1 и 2 – слои 0-20 и 0-50 см соответственно

Итак, в слоях 0-20 и 0-50 см зональных и интразональных почв, залегающих в центральной лиственный-лесной, лесостепной, степной и полупустынной почвенно-биоклиматических областях Европейской части России, содержится соответственно 0.81-2.73 и 1.54-5.84 т га⁻¹ углерода органического вещества потенциально способного минерализоваться до диоксида углерода. Полученные нами величины запасов потенциально-минерализуемого органического вещества соответствуют усредненным величинам эмиссии диоксида углерода почвами России, принятым от 0.33 до 6.13 т С га⁻¹ (Кудеяров и др., 2007). По данным этих авторов наибольшая удельная эмиссия С-СО₂ на территории России характерна для чернозема, что полностью согласуется с самыми высокими запасами потенциально-минерализуемого органического вещества в этой почве. Можно предположить, что чистые размеры

эмиссии C-CO₂ почвами северных широт будут меньше запасов потенциально-минерализуемого органического вещества из-за низкой температуры и непродолжительного периода биологической активности, а почвами аридных зон – вследствие засушливых условий. Для серой лесной почвы в лесу, на лугу и в агроценозе суммарные размеры валового дыхания, оцениваемые одними авторами в 3.8-6.4, 1.8-4.8 и 1.4-1.8 т С га⁻¹ соответственно (Ларионова и др., 2001), а другими – в 6.1-8.0, 6.2-7.3 и 2.6-4.7 т С га⁻¹ (Лопес де Гереню и др., 2001) превышают запасы углерода потенциально-минерализуемого органического вещества (табл. 2). Это превышение в большей мере проявляется на участках с естественной растительностью, и в меньшей мере на пашне. Разница между годовыми объемами эмиссии CO₂ и запасами потенциально-минерализуемого органического вещества в почве характеризует вклад других источников: корневого дыхания, разложения лесной подстилки (травяного очеса) и свежих растительных остатков. В естественных угодьях роль каждого из этих трех перечисленных источников в общую эмиссию CO₂, как правило, более значима, чем в сельскохозяйственных посевах. Дополнительным свидетельством того, что продукция CO₂, разлагающимся лесной подстилкой (травяным очесом) и поверхностным растительным опадом, может завьшать чистый вклад почвенного органического вещества, является более высокая (от 1.2 раза в агроценозе до 2.6 раз на лугу) величина потока CO₂, полученная методом закрытых камер по сравнению с профильным методом (Ларионова и др., 2001). Очевидно, что вклад в эмиссию CO₂ потенциально-минерализуемого органического вещества нижних горизонтов почвы будет меньше, чем поверхностного слоя. В экспериментах *in situ* установлено, что на долю слоя почвы 0-20 см приходится до 75% от всей эмиссии диоксида углерода почвой (Jassal et al., 2005), а на глубине 35 см из 1 г C_{орг} образуется в 100 раз меньше CO₂, чем в верхнем слое (Risk et al., 2008). Однако для диагностики эмиссионного потенциала почвы следует ориентироваться не на верхний 0-20 см слой почвы, а как минимум, на полуметровый.

Таким образом, накопление активного органического вещества в ряду зональных и интразональных почв зависит не столько от биоклиматического потенциала, свойственного природно-географической зоне, сколько от литологической, гидрологической и флористической специфичности мест залегания почв, а также вовлеченности почв в земледелие. Наибольшим запасом активного органического вещества характеризуются чернозем обыкновенный, луговая слитизированная и пойменная луговая почвы, а самым низким – лугово-болотная, каштановая солонцеватая и натриево-кальциевый солончак. Запасы углерода активного органического вещества в почве могут быть предиктором эмиссионного потенциала почв разных биоклиматических областей.

Благодарности

Образцы почв отобраны во время почвенно-географической экспедиции под руководством профессора Геттингенского университета (Германия)

Я.В. Кузякова. Лабораторная и теоретическая части работы выполнены при поддержке Российского научного фонда, проект № 17-14-01120.

Список литературы

Единый государственный реестр почвенных ресурсов России. Версия 1.0. 2014. – М., Почвенный ин-т им. В.В. Докучаева Россельхозакадемии, 768 с.

Задорожний А.Н., Семенов М.В., Ходжаева А.К., Семенов В.М. 2010. Почвенные процессы продукции, потребления и эмиссии парниковых газов. – *Агрохимия*, № 10, с. 75-92.

Замолодчиков Д.Г. 2013. Естественная и антропогенная концепции современного потепления климата. – *Вестник РАН*, т. 83, № 3, с. 227-235.

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

Ларионова А.А., Розанова Л.Н., Демкина Т.С., Евдокимов И.В., Благодатский С.А. 2001. Годовая эмиссия CO₂ из серых лесных почв южного Подмосковья. – *Почвоведение*, № 1, с. 72-80.

Ларионова А.А., Евдокимов И.В., Курганова И.Н., Сапронов Д.В., Кузнецова Л.Г., Лопес де Гереню В.О. 2003. Дыхание корней и его вклад в эмиссию CO₂ из почвы. – *Почвоведение*, № 2, с. 183-194.

Лопес де Гереню В.О., Курганова И.Н., Розанова Л.Н., Кудеяров В.Н. 2001. Годовая эмиссия диоксида углерода из почв южнотаежной зоны России. – *Почвоведение*, № 9, с. 1045-1059.

Орлов Д.С., Бирюкова О.Н., Суханова Н.И. 1996. Органическое вещество почв Российской Федерации. – М., Наука, 256 с.

Семенов В.М., Иванникова Л.А., Кузнецова Т.В. 2005. Лабораторная диагностика биологического органического вещества почвы. – В кн.: *Методы исследований органического вещества почвы*. – М., Россельхозакадемия, с. 214-230.

Семенов В.М., Иванникова Л.А., Кузнецова Т.В. 2006. Структурно-функциональное состояние органического вещества почвы. – В кн.: *Почвенные процессы и пространственно-временная организация почв*. – М., Наука, с. 230-247.

Семенов В.М., Когут Б.М. 2015. Почвенное органическое вещество. – М., ГЕОС, 233 с.

Семенов В.М., Тулина А.С. 2011. Сравнительная характеристика минерализуемого пула органического вещества в почвах природных и сельскохозяйственных экосистем. – *Агрохимия*, № 12, с. 53-63.

Ходжаева А.К., Семенов В.М. 2015. Распределение активного органического вещества в профиле почв природных и сельскохозяйственных экосистем. – *Почвоведение*, № 12, с. 1496-1504.

Ciais P., Sabine C., Bala G., Bopp L., Brovkin V., Canadell J., Chhabra A., DeFries R., Galloway J., Heimann M., Jones C., Le Quéré C., Myneni R.B., Piao

S., Thornton P. 2013. Carbon and Other Biogeochemical Cycles. – In: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. / Stocker T.F. et al. (eds.) – Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, USA, pp. 465-570.

Fontaine S., Barot S., Barré P., Bdioui N., Mary B., Rumpel C. 2007. Stability of organic carbon in deep soil layers controlled by fresh carbon supply. – *Nature*, vol. 450, pp. 277-280.

Hanson P.J., Edwards N.T., Garten C.T., Andrews J.A. 2000. Separating root and soil microbial contributions to soil respiration: A review of methods and observations. – *Biogeochemistry*, vol. 48(1), pp. 115-146.

Jassal R., Black A., Novak M., Morgenstern K., Nesic Z., Gaumont-Guay D. 2005. Relationship between soil CO₂ concentrations and forest-floor CO₂ effluxes. – *Agricultural and Forest Meteorology*, vol. 130(3-4), pp. 176-192.

Jobbágy E.G., Jackson R.B. 2000. The vertical distribution of soil organic carbon and its relation to climate and vegetation. – *Ecological Applications*, vol. 10(2), pp. 423-436.

Kirschbaum M.U.F. 2000. Will changes in soil organic carbon act as a positive or negative feedback on global warming? – *Biogeochemistry*, vol. 48, pp. 21-51.

Kuzyakov Y. 2006. Sources of CO₂ efflux from soil and review of partitioning methods. – *Soil Biology and Biochemistry*, vol. 38(3), pp. 425-448.

Risk D., Kellman L., Beltrami H., Diocion A. 2008. In situ incubations highlight the environmental constraints on soil organic carbon decomposition. – *Environmental Research Letters*, vol. 3(4), pp. 1-5.

WMO Greenhouse Gas Bulletin. 2016. No. 12, 8 p. URL: http://library.wmo.int/opac/doc_num.php?explnum_id=3084.

References

Edinyj gosudarstvennyj reestr pochvennyh resursov Rossii. Versiya 1.0. [Unified State Register of Soil Resources of Russia. Version 1.0.] 2014. Moscow, 768 p.

Zadorozhnyj A.N., Semenov M.V., Hodzhaeva A.K., Semenov V.M. 2010. Pochvennye processy produkcii, potrebleniya i emissii parnikovyh gazov [Soil processes of production, consumption and emission of greenhouse gases]. *Agrohimiya – Agrochemistry*, no. 10, pp. 75-92.

Zamolodchikov D.G. 2013. Estestvennaya i antropogennaya koncepcii sovremennogo potepneniya klimata [Natural and anthropogenic concepts of modern climate warming]. *Vestnik RAN – Bulletin of the Russian Academy of Sciences*, vol. 83, no. 3, pp. 227-235.

Kudeyarov V.N., Zavarzin G.A., Blagodatskij S.A. i dr. 2007. *Puly i potoki ugleroda v nazemnyh ekosistemah Rossii* [Pools and carbon fluxes in terrestrial ecosystems in Russia]. Moscow, 315 p.

Larionova A.A., Rozanova L.N., Demkina T.S., Evdokimov I.V., Blagodatskij S.A. 2001. Godovaya emissiya CO₂ iz seryh lesnyh pochv yuzhnogo Podmoskov'ya [Annual emission of CO₂ from gray forest soils of the southern suburbs]. *Pochvovedenie – Soil Science*, no. 1, pp. 72-80.

Larionova A.A., Evdokimov I.V., Kurganova I.N., Sapronov D.V., Kuznecova L.G., Lopes de Gerenyu V.O. 2003. Dyhanie kornej i ego vklad v emissiyu CO₂ iz pochvy [Breathing roots and its contribution to the emission of CO₂ from the soil]. *Pochvovedenie – Soil Science*, no. 2, pp. 183-194.

Lopes de Gerenyu V.O., Kurganova I.N., Rozanova L.N., Kudeyarov V.N. 2001. Godovaya emissiya dioksida ugleroda iz pochv yuzhnotaеzhnoj zony Rossii [Annual emission of carbon dioxide from soils of the southern taiga zone of Russia]. *Pochvovedenie – Soil Science*, no. 9, pp. 1045-1059.

Orlov D.S., Biryukova O.N., Suhanova N.I. 1996. *Organicheskoe veshchestvo pochv Rossijskoj Federacii* [Organic matter of soils of the Russian Federation]. Moscow, 256 p.

Semenov V.M., Ivannikova L.A., Kuznecova T.V. 2005. Laboratornaya diagnostika biologicheskogo organicheskogo veshchestva pochvy [Laboratory diagnostics of the biological organic matter of the soil]. V kn.: *Metody issledovanij organicheskogo veshchestva pochvy* [In: Methods for studying the organic matter of the soil]. Moscow, pp. 214-230.

Semenov V.M., Ivannikova L.A., Kuznecova T.V. 2006. Strukturno-funkcional'noe sostoyanie organicheskogo veshchestva pochvy [Structural and functional state of soil organic matter]. V kn.: *Pochvennye processy i prostranstvenno-vremennaya organizaciya pochv* [In: Soil processes and spatio-temporal organization of soils]. Moscow, pp. 230-247.

Semenov V.M., Kogut B.M. 2015. *Pochvennoe organicheskoe veshchestvo* [Soil organic matter]. Moscow, 233 p.

Semenov V.M., Tulina A.S. 2011. Sravnitel'naya karakteristika mineralizuemogo pula organicheskogo veshchestva v pochvah prirodnyh i sel'skohozyajstvennyh ekosistem [Comparative characteristics of the mineralized pool of organic matter in soils of natural and agricultural ecosystems]. *Agrohimiya – Agrochemistry*, no. 12, pp. 53-63.

Hodzhaeva A.K., Semenov V.M. 2015. Raspredelenie aktivnogo organicheskogo veshchestva v profile pochv prirodnyh i sel'skohozyajstvennyh ekosistem [Distribution of active organic matter in the soil profile of natural and agricultural ecosystems]. *Pochvovedenie – Soil Science*, no. 12, pp. 1496-1504.

Ciais P., Sabine C., Bala G., Bopp L., Brovkin V., Canadell J., Chhabra A., DeFries R., Galloway J., Heimann M., Jones C., Le Quéré C., Myneni R.B., Piao

S., Thornton P. 2013. Carbon and Other Biogeochemical Cycles. – In: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. / Stocker T.F. et al. (eds.) – Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, USA, pp. 465-570.

Fontaine S., Barot S., Barré P., Bdioui N., Mary B., Rumpel C. 2007. Stability of organic carbon in deep soil layers controlled by fresh carbon supply. – Nature, vol. 450, pp. 277-280.

Hanson P.J., Edwards N.T., Garten C.T., Andrews J.A. 2000. Separating root and soil microbial contributions to soil respiration: A review of methods and observations. – Biogeochemistry, vol. 48(1), pp. 115-146.

Jassal R., Black A., Novak M., Morgenstern K., Nesic Z., Gaumont-Guay D. 2005. Relationship between soil CO₂ concentrations and forest-floor CO₂ effluxes. – Agricultural and Forest Meteorology, vol. 130(3-4), pp. 176-192.

Jobbágy E.G., Jackson R.B. 2000. The vertical distribution of soil organic carbon and its relation to climate and vegetation. – Ecological Applications, vol. 10(2), pp. 423-436.

Kirschbaum M.U.F. 2000. Will changes in soil organic carbon act as a positive or negative feedback on global warming? – Biogeochemistry, vol. 48, pp. 21-51.

Kuzyakov Y. 2006. Sources of CO₂ efflux from soil and review of partitioning methods. – Soil Biology and Biochemistry, vol. 38(3), pp. 425-448.

Risk D., Kellman L., Beltrami H., Diocion A. 2008. In situ incubations highlight the environmental constraints on soil organic carbon decomposition. – Environmental Research Letters, vol. 3(4), pp. 1-5.

WMO Greenhouse Gas Bulletin. 2016. No. 12, 8 p. URL: http://library.wmo.int/opac/doc_num.php?explnum_id=3084.

Статья поступила в редакцию: 26.04.2017 г.

После переработки: 20.05.2017 г.