

УДК 631.433

СВЯЗЬ МЕЖДУ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ВАРИАЦИЕЙ ПОТОКОВ
С -С ОДЕРЖАГЦИХ ГАЗОВ И СВОЙСТВАМИ ПОЧВЫ
ДЛИТЕЛЬНОГО ОПЫТА ТСХА

М.В. ЧИСТОТИН¹, К.П. ХАЙДУКОВ¹, А.Ф. САФОНОВ²

(¹ Всероссийский НИИ агрохимии имени Д.Н. Прянишникова,
² РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, г. Москва)

Пространственную вариацию дыхания почвы и поглощения атмосферного метана исследовали в Длительном полевом опыте ТСХА на легкосуглинистой дерново-подзолистой почве. Наблюдения проведены на 15 площадках по 0,09 м², ратещенных на площади 34,5 м² в пределах делянки бессменного чистого пара с внесением X₁₀₀P₁₅₀K₁₂₀. Максимальные значения эмиссии CO₂ и поглощения CH₄, а также содержания органического вещества в почве и потенциальной активности его окисления наблюдались вблизи границ с соседними делянками, почва которых характеризуется более высоким плодородием.

Ключевые слова: дерново-подзолистая почва, органическое вещество почвы, диоксид углерода, метан, пространственная вариация.

CONNECTION BETWEEN SPATIAL VARIATION OF C-CONTAINING
GASES FLOWS AND SOIL PROPERTIES IN THE LONG-TERM
EXPERIMENT OF RTSAU

M.V. CHISTOTIN¹, K.P. HAIDUKOV¹, A.F. SAFONOV²

(¹ Pryanishnikov All-Russian Institute of Agrochemistry, Moscow,² RTSAU, Moscow)

Spatial variation in soil respiration and consumption of atmospheric methane is studied at the Moscow Long-Term Field Experiment on a light-loam soddy podzolic soil. The measurements were carried out for 15 sites, 0.09 m² each, situated within a 34.5 m² area at the plot of continuous bare fallow with application of N₁₀₀P₁₅₀K₁₂₀. The rates of CO₂ emission and CH₄ uptake, as well as the respiration under controlled conditions and SOM content, appeared to be maximal near the borders with adjacent plots, which surpass the studied plot by soil fertility.

Key words: soddy podzolic soil, soil organic matter, carbon dioxide, methane, spatial variation.

В круговороте углерода почва определяется как место депонирования С, связанного растениями суши при фотосинтезе. Соотношение конечных продуктов микробиологической трансформации прижизненного опада и мортмассы, поступающих в почву, определяется значением редокс-потенциала. Доля предельно окисленной формы — диоксида углерода — колеблется от 50 до 100%, в то время как вклад

предельно восстановленного соединения — метана — не превышает 50%. Продуцирование CO_2 и CH_4 в почве обуславливает их экспорт в атмосферу. Одновременно аэробное окисление в почвах является крупным стоком атмосферного метана.

Интенсивность процессов трансформации углеродных соединений в почве — важнейший фактор, воздействующий как на ее плодородие, так и на динамику других резервуаров С, которые имеются на поверхности Земли. При этом среди компонентов, входящих в цикл углерода, пахотные почвы как объекты исследования занимают особое место, которое определяется: 1 — значительной площадью этих почв (около 10% площади суши), 2 — значением их плодородия как важнейшего экономического ресурса, 3 — большими в сравнении с другими ландшафтами возможностями целенаправленного воздействия на биогеохимические процессы.

Процессы обмена углеродных соединений между почвой и атмосферой характеризуются высокой вариацией в разных пространственных масштабах [13]. Притом что информация о факторах пространственной вариации принципиально важна для экстраполяции результатов наблюдений, такая информация до настоящего времени недостаточна. Для дыхания почвы — показателя, для которого имеется весьма значительный объем экспериментальных данных — общей причиной, затрудняющей их интерпретацию, является то, что для большинства экосистем этот показатель двухкомпонентный: он включает дыхание корней растений и микробное окисление органического вещества почвы; параметры зависимостей от факторов среды для этих процессов различны.

Для лесных экосистем получены данные о корреляции пространственного распределения интенсивности дыхания почвы в масштабах порядка $n \cdot 10^{-1}$ - $n \cdot 10^1$ м с распределением содержания органического углерода, а также с мощностью гумусового горизонта [8, 12, 14]. Наблюдалась также положительная корреляция между мощностью гумусового горизонта и потреблением атмосферного метана [9].

В данном исследовании была поставлена цель охарактеризовать пространственную вариацию обмена углеродсодержащих газов между пахотной почвой и атмосферой в масштабе порядка нескольких метров, а также получить информацию о связи вариации со свойствами почвы. Исследование было начато в 2006 г., к настоящему времени оно не завершено; предполагается провести определение дополнительных показателей в почвенных образцах. К статье приводятся промежуточные результаты.

Методика

Исследование проводилось в Длительном полевом опыте ТСХА (г. Москва), заложенном на легкосуглинистой дерново-подзолистой почве [3]. Для наблюдений использован вариант бессменного чистого пара с 1912 г. Так как полевые измерения во все годы были выполнены вскоре после основной обработки почвы, при очень низкой численности сорных растений, один из определенных показателей — дыхание почвы — близок к интенсивности окисления органического вещества почвы. Выбор из схемы опыта варианта по фактору удобрений был основан на априорной информации о факторах, определяющих пространственную вариацию интенсивности процессов углеродного цикла. В вариантах с применением навоза вариация включает компонент, обусловленный неравномерностью разбрасывания. В рамках методики исследования этот компонент оказывается стохастическим. Исходя из этого, для измерений выбран вариант с внесением полного минерального удобрения (современные нормы — $\text{N}_{100}\text{P}_{150}\text{K}_{120}$).

На делянке указанного варианта (полевой опыт заложен без повторности) были размещены 15 учетных площадок по 0,091 м². Полосы по краям делянки шириной 0,8 м при этом не использовались; площадь делянки, охваченная измерениями, составляла 34,5 м².

В 2006 г. расположение площадок было задано исходя из условия приблизительно равномерной пространственной плотности в пределах исследуемой площади (рис. 1а, 2). Отбор проб почвы проведен 5 июля. Из проб, взятых (из слоя 5-10 см)

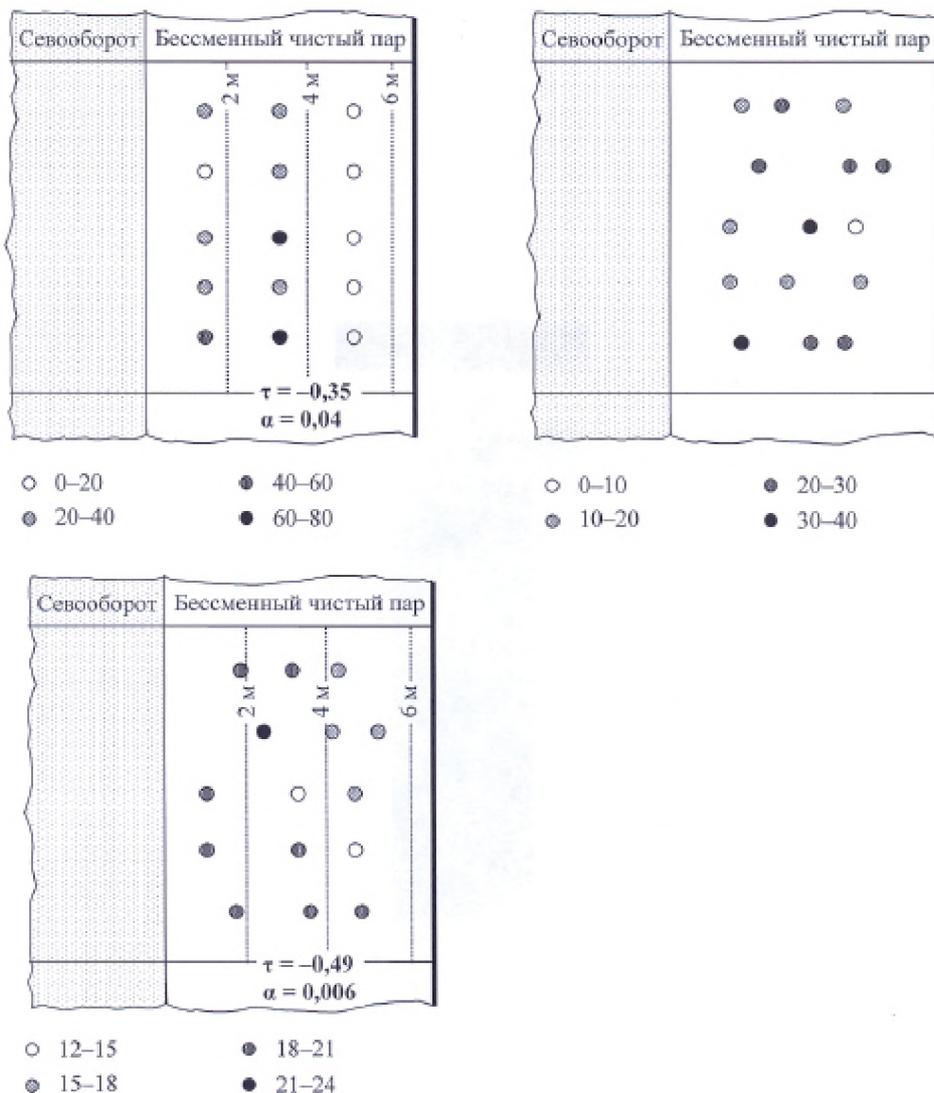


Рис. 1. Пространственное распределение дыхания почвы (мг С-СО₂ м⁻² · ч⁻¹) (а — 2006 г., б — 2007 г., в — 2010 г.). (На рис. 1 и 2 т, а — значения соответственно коэффициента корреляции Кендалла и уровня значимости для связи с расстоянием от границы делянки севооборота; ----- изолинии расстояния от границы делянки севооборота)

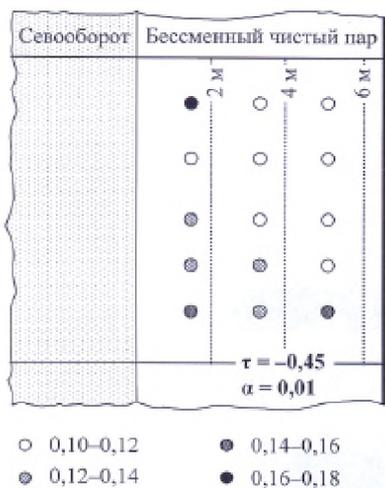


Рис. 2. Пространственное распределение потенциальной активности окисления органического вещества (мкг С-СО₂ на 1 г сухой почвы в час; ----- изолинии расстояния от границы делянки севооборота)

меньших квадратов, исходя из допущения о стационарности этого показателя в течение инкубации.

После зяблевой вспашки, в сентябре, на тех же учетных площадках, на которых были взяты почвенные пробы, измерили дыхание почвы, с использованием статического камерного метода [11]. Металлическое основание камеры устанавливали на поверхность почвы с заглублением его боковых стенок на 10 см; на основание помещали камеру, снабженную светоотражающим чехлом из фольги и вентилятором для перемешивания воздуха. Объем камеры 15 дм³, горизонтальное сечение соответствует размеру учетной площадки. Продолжительность экспозиции камеры составляла 20-30 мин; в течение этого времени из камеры отбирали три пробы воздуха объемом 25 см³. Одновременно измерения выполняли на трех площадках; затем основания извлекали из почвы и устанавливали на других площадках. После завершения первого цикла измерений, охватывающего все площадки, было выполнено еще два аналогичных цикла. Даты и время измерений приведены в таблице 1. Диоксид углерода в пробах определяли газохроматографическим методом; анализируемый объем пробы — 1,0 см³; остальные параметры анализа аналогичны инкубационному эксперименту.

В октябре 2006 г. определение дыхания почвы было повторено; в этом случае на нескольких из 15 площадок выполнили только два измерения (см. табл. 1).

В 2007 и 2010 гг. принцип размещения учетных площадок был модифицирован. Так как обработки почвы проводятся параллельно длинной стороне делянки, в перпендикулярном направлении имеет место квазипериодическое изменение свойств верхнего слоя почвы. Количество учетных площадок в исследовании недостаточно для описания этого компонента пространственной вариации. Для того чтобы элиминировать его, расстояние каждой площадки от длинной стороны делянки

с помощью бура в пяти точках на каждой площадке, были составлены объединенные пробы, использованные для инкубационного эксперимента по определению потенциальной активности окисления органического вещества. Влажность объединенных проб определяли гравиметрическим методом.

Инкубационный эксперимент был начат через 2 сут после отбора проб. Влажность каждой пробы доведена до 15% добавлением дистиллированной воды. Из каждой пробы было взято по три навески почвы (из расчета 30 г сухой массы). Их поместили в стеклянные флаконы объемом 120 мл, герметично закрыли и инкубировали при 25°С в течение 47 ч. Во время инкубации из флаконов трижды отбирали пробы газовой фазы объемом 1 см³. Объемную долю диоксида углерода измеряли на газовом хроматографе «Кристалл 2000М» (СКБ «Хроматэк», Россия) с пламенно-ионизационным детектором; газ-носитель — He; длина колонки 3 м, ее внутренний диаметр — 2 мм; сорбент Chromosorb-102 80/100; температура колонки 80°С, метанатора — 350°С, детектора — 160°С; анализируемый объем пробы 0,125 см³. Оценку скорости образования СО₂ рассчитывали методом наи-

Т а б л и ц а 1

Характеристика пространственной вариации потоков углеродсодержащих газов

Дата	Время измерения	Средняя температура воздуха, °С	Число учетных площадок	Медиана*	Квартильный коэффициент дисперсии
<i>Дыхание почвы, мг С-СО₂ м⁻² · ч⁻¹</i>					
04.09.06	10:20–12:50	17,4	15	18,2 (12,8–29,3)	0,32
	12:30–15:00	18,1	15	8,7 (4,6–15,4)	0,69
	14:50–17:20	18,2	15	7,6 (4,7–13,0)	0,56
08.10.06	10:20–12:50	12,2	11	46,5 (31,6–114,0)	0,70
	12:40–15:00	13,6	15	44,2 (24,0–74,0)	0,69
	14:50–17:10	13,7	15	41,4 (24,1–70,3)	0,39
18.09.07	11:20–13:30	15,5	12	26,1 (21,3–31,3)	0,19
	13:00–14:50	16,9	11	30,0 (22,5–40,3)	0,23
07.10.07	11:50–14:00	10,0	12	22,7 (18,6–28,4)	0,23
	13:30–15:40	10,2	13	20,3 (15,9–30,9)	0,32
11.10.07	12:00–14:00	4,1	15	12,4 (6,6–18,0)	0,53
	13:40–15:30	3,8	12	10,2 (3,3–17,5)	0,66
20.09.10	9:20–10:50	11,3	15	18,6 (16,8–20,2)	0,12
<i>Поглощение метана, мкг С-СН₄ м⁻² · ч⁻¹</i>					
20.09.10	10:40–14:50	13,4	15	1,28 (1,46–1,22)	0,12

* В табл. 1 и 2 в скобках приведен доверительный интервал для уровня значимости <0,05.

было рендомизированным. Расположение в перпендикулярном направлении осталось систематическим, как и в 2006 г. (рис. 1 б, 1 в, 3).

В 2007 г. в каждую из трех дат было выполнено по два цикла измерений дыхания почвы (см. табл. 1); методика аналогична использованной в 2006 г. Затем с помощью цилиндра-бура были отобраны пробы почвы объемом по 400 см³ из слоев 0-10 и 10-20 см (на каждой площадке по две пробы из каждого слоя). Влажность и плотность почвы определяли гравиметрическим методом. После этого из каждой пробы была взята средняя проба. Средние пробы высушили на воздухе, размолоты и пропустили через сито с отверстиями 1 мм. рН вытяжки 1 н. КС1 определяли на иономере ЭВ-74 с измерительным электродом ЭСЛ 43-07; масса навески почвы — 10 г, отношение почвы к раствору — 1 : 2,5.

Пробы почвы для определения органического углерода были дополнительно размолоты и пропущены через сито с отверстиями 0,25 мм; анализ выполнен методом Тюрина в модификации Никитина с титриметрическим окончанием [4]. Масса навески — 0,9 г, аналитическая повторность — двукратная.

В 2010 г. проведено одно измерение дыхания почвы и поглощения метана из атмосферы (см. табл. 1). Это измерение было выполнено одновременно на всех площадках. При этом 15 камер объемом 6 дм³ установили на поверхность

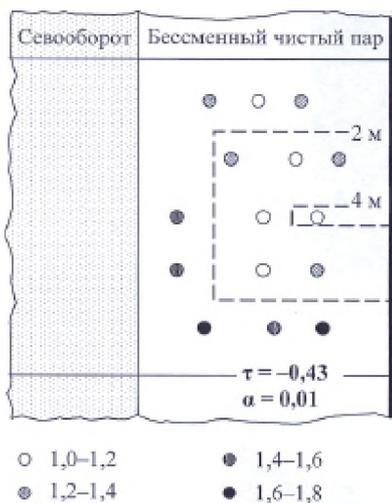


Рис. 3. Пространственное распределение поглощения метана почвой ($\text{мкг С-СН}_4 \text{ м}^{-2} \cdot \text{ч}^{-1}$). (τ , α — значения соответственно коэффициента корреляции Кендалла и уровня значимости для связи с расстоянием от границы любой из соседних делянок; ----- изолинии минимального расстояния от границ соседних делянок)

почвенными показателями, определенными после полевых измерений. Для каждой парной корреляции рассчитано значение коэффициента корреляции Кендалла и соответствующий уровень значимости [7].

Результаты и их обсуждение

Средние величины дыхания почвы для площади делянки, охваченной измерениями, колебались в течение трех лет в интервале $8\text{--}46 \text{ мг С-СО}_2 \text{ м}^{-2} \cdot \text{ч}^{-1}$ (см. табл. 1). Наблюдалась положительная связь этого показателя с температурой воздуха. Среднее содержание органического вещества для образцов почвы, отобранных в 2007 и 2010 гг., различается незначительно и составляет $0,56\text{--}0,57\%$ (табл. 2). По опубликованным результатам нескольких исследований, выполненных в 1980-1987 гг., среднее содержание органического углерода в почве той же делянки длительного опыта находилось в интервале $0,38\text{--}0,47\%$ [1, 2, 6]. В 1996 г. получено значение $0,54\%$ [5].

Измеренные нами среднеделячные значения $\text{pH}_{\text{кел}}$ $4,9\text{--}5,2$ (см. табл. 2) превышают данные, полученные другими исследователями в 1982 и 1996 гг. [2, 5].

Главной целью работы была характеристика и объяснение пространственного варьирования потоков углерода между почвой и атмосферой в пределах исследуемой площади. К особенностям варианта бессменного чистого пара без органических удобрений, являющегося объектом исследования, относится: 1 — очень низкий уровень поступления органического вещества в почву, 2 — снижение горизонтальной

почвы без оснований. К каждой камере лопатой сгребли почву, которую затем уплотнили; высота (над исходной поверхностью) слоя почвы вокруг камеры составляла $8\text{--}10 \text{ см}$. В течение $8\text{--}15 \text{ мин}$ экспозиции из каждой камеры были отобраны четыре пробы воздуха для определения СО_2 , затем в течение $3,8\text{--}4,0 \text{ ч}$ — шесть проб для определения СН_4 . Параметры определения метана: температура колонки 65°С , детектора — 160°С ; анализируемый объем пробы $1,0 \text{ см}^3$.

Определение влажности и плотности почвы в 2010 г. выполнено по методике, описанной выше. Затем из четырех проб, взятых на каждой площадке, была составлена объединенная проба, соответствующая слою почвы $0\text{--}20 \text{ см}$; из нее взята средняя проба для определения кислотности и содержания органического вещества.

Для каждого измеренного показателя по значениям для 15 площадок были рассчитаны выборочные квартили $K_{0,25}$, $K_{0,5}$, $K_{0,75}$. Получены доверительные интервалы для медианы, связанные с критерием Уилкоксона для одной выборки [7]. Квартальный коэффициент дисперсии D , характеризующий уровень межплощадочной вариации, рассчитан по формуле $D = (K_{0,75} - K_{0,25}) / (2 \cdot K_{0,5})$.

На основе значений дыхания почвы и интенсивности поглощения метана по площадкам оценена теснота связи каждого из этих показателей с

Характеристика пространственной вариации свойств почвы

Показатель	Дата отбора проб	Медиана	Квартальный коэффициент дисперсии
Плотность, г/см ³	27.10.07	1,72 (1,68-1,73)	0,01
	22.09.10	1,40 (1,34-1,42)	0,02
Массовая доля органического углерода, %	27.10.07	0,57 (0,55-0,59)	0,04
	22.09.10	0,56 (0,52-0,62)	0,09
рН _{КС1}	27.10.07	4,85 (4,67-5,09)	0,06
	22.09.10	5,17 (4,96-5,45)	0,05
Потенциальная активность окисления органического вещества, мкг С-СО ₂ на 1 г сухой почвы в час	05.07.06	0,12 (0,11-0,14)	0,12

неоднородности свойств пахотного слоя при ряде обработок почвы, выполняемых в течение года.

В 1997 г. уровень эмиссии диоксида углерода из почвы значительно различался между индивидуальными циклами измерений (см. табл. 1). На рис. 16 показано пространственное распределение средних по шести измерениям значений. Каким-либо пространственным трендом изменения показателя не выявлены. В течение двух других лет наблюдалось значимое повышение величины дыхания почвы от границы делянки, совпадающей с границей опытного участка (на рисунках — правая граница), к границе с делянкой, занятой вариантом севооборота во времени (чистый пар — озимая рожь — картофель — яровой ячмень — клевер — лен), с внесением N₁₀₀P₁₅₀K₁₂₀ (на рисунках — левая граница) (рис. 1а, в). Аналогичным пространственным распределением характеризовалась потенциальная активность окисления органического вещества (см. рис. 2), а также содержание органического углерода. Наиболее вероятным объяснением этих пространственных трендов является перемещение почвы через границу делянок, которое происходит при механических обработках. Почва севооборотной делянки, смежной с исследуемой, имеет существенно более высокое содержание органического вещества. Так как обработки выполняются в направлении, параллельном длинным сторонам делянок, скорость межделяночного обмена почвой, о котором идет речь, невысока. Тем не менее при вспашке перемещение почвы в перпендикулярном направлении имеет место.

Поток метана между почвой и атмосферой был измерен только в 2010 г. На всех площадках наблюдалось поглощение атмосферного метана. Для этого показателя наиболее выраженной является отрицательная корреляция с расстоянием от границы любой из трех соседних делянок (см. рис. 3). При интерпретации этой зависимости необходимо учитывать характеристики почвы двух делянок бесшумного чистого пара, которые граничат с изучаемой. Обе смежные делянки заняты вариантами с внесением навоза и характеризуются более высоким содержанием органического углерода. Горизонтальное перемещение почвы является наиболее вероятной причиной изменения ее свойств от центральной части к границам делянки.

Одновременно окисление CH_4 атмосферы тесно коррелирует с содержанием органического вещества в почве (табл. 3). Эту связь можно интерпретировать как косвенное подтверждение предположения о том, что окисление метана в атмосферной концентрации (около 2 млн⁴) может служить лишь дополнительным энергетическим источником для микроорганизмов, ответственных за этот процесс [10]; в этом случае закономерна их высокая численность в точках с большим содержанием других органических субстратов.

Т а б л и ц а 3

Связь между потоками углеродсодержащих газов и свойствами почвы
(г — коэффициент корреляции Кендалла, а — уровень значимости)

Показатель	Год	Дыхание почвы		Поглощение метана	
		г	а	г	а
Плотность	2007	0,01	0,50	—	—
	2010	-0,26	0,10	-0,10	0,31
Массовая доля органического углерода	2007	-0,07	0,39	—	—
	2010	0,37	0,03	0,52	0,003
РНка	2007	-0,03	0,42	—	—
	2010	0,34	0,10	0,48	0,01
Потенциальная активность окисления органического вещества	2006	0,39	0,02	—	—

Для выделения диоксида углерода в атмосферу наблюдалась значимая корреляция с потенциальной активностью окисления органического вещества, а также с содержанием органического углерода в 2010 г. (см. табл. 3). Таким образом, интенсивность разложения органического вещества, измеренная в полевых условиях, связана с количеством субстрата в почве.

Авторы благодарны М.А. Золотареву и Н.Ф. Хохлову (РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева) за полезные консультации, Л.Е. Дулову (ИНМИ имени С.Н. Виноградского) за большую помощь при выполнении хроматографического анализа, Д.М. Кошечевой (РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева) за участие в проведении измерений.

Библиографический список

1. *Боинчан Б.П.* Процессы трансформации органического вещества в интенсивно используемой дерново-подзолистой почве и продуктивность полевых культур. Автореф. канд. дис. М.: 1982.
2. *Клименко Н.Н.* Агрономическая оценка роли органического вещества в плодородии интенсивно используемой дерново-подзолистой почвы. Автореф. канд. дис. М., 1984.
3. *Мазиров М.А.; Сафонов А. Ф.* Длительный полевой опыт РГАУ-МСХА: сущность и этапы развития // Известия ТСХА, 2010. Вып. 2. С. 66-75.
4. Методы определения активных компонентов в составе гумуса почв. М.: ВНИИА, 2010. 32 с.
5. *Сафонов А.Ф., Кручина С.Н., Алферов А.А.* Биологическая активность почвы при длительном применении удобрений в бессменных посевах и в севообороте // Известия ТСХА, 2000. Вып. 3. С. 16-22.

6. *Tarabishi Z.* Роль длительного применения бессменных культур, севооборота и удобрений в изменении биологических свойств дерново-подзолистой почвы и урожайности полевых культур. Автореф. канд. дис. М., 1989.

7. *Xollender M., Vulf D.* Непараметрические методы статистики. М.: Финансы и статистика, 1983. 518 с.

1. *Boinchan B.P.* Processy' transformacii organicheskogo veshhestva v intensivno ispol'zuej demovo-podzolistoj pochve i produktivnost' polevy'x kul'tur. Dis. kand. М., 1982.

2. *Klimenko N.N.* Agronomicheskaya ocenka roli organicheskogo veshhestva v plodorodii intensivno ispol'zuej demovo-podzolistoj pochvy': Dis... kand. s.-x. nauk. М., 1984.

3. *Mazirov M.A.; Safonov A.F.* Dlitel'ny'j polevoj opy't RGAU — MSXA: sushhnost' i e'tapy' razvitiya // *Izv. Timiryazev. s.-x. akad.* 2010. № 2. S. 66-75.

4. *Metody' opredeleniya aktivny'x komponentov v sostave gumusa pochv.* М.: VNIIA, 2010. 32 с.

5. *Safonov A.E., Kruchina S.N., Alferov A.A.* Biologicheskaya aktivnost' pochvy' pri dlitel'nom primenenii udobrenij v bessmenny'x posevax i v sevooborote // *Izv. Timiryazev. s.-x. akad.*, 2000. Vy'p. 3. S. 16-22.

6. *Tarabishi Z.* Rol' dlitel'nogo primeneniya bessmenny'x kul'tur, sevooborota i udobrenij v izmenenii biologicheskix svojstv demovo-podzolistoj pochvy' i urozhajnosti polevy'x kul'tur: Dis... kand. s.-x. nauk. М.: 1989.

7. *Xollender M., Vulf D.* Непараметрические методы' статистики. М.: Финансы' i статистика, 1983. 518 с.

8. *Adachi M., Bekku Y.S., Rashidah W, Okuda T., Koizumi H.* Differences in soil respiration between different tropical ecosystems// *Applied soil ecology*, 2006. Vol. 34. P. 258-265.

9. *Bradford M.A., Wookey P.A., Ineson P., Lappin-Scott H.M.* Controlling factors and effects of chronic nitrogen and sulphur deposition on methane oxidation in a temperate forest soil // *Soil biology & biochemistry*, 2001. Vol. 33. P. 93-102.

10. *Conrad R.* Soil microorganisms as controllers of atmospheric trace gases (H₂, CO, CH₄, OCS, N₂O, and NO) // *Microbiological reviews*, 1996. Vol. 60. № 4. P. 609-640.

11. *Mosier A.R.* Chamber and isotope techniques // *Exchange of trace gases between terrestrial ecosystems and the atmosphere.* Chichester et al., 1989. P. 175-187.

12. *Scott-Denton L.E., Sparks K.L., Monson R.K.* Spatial and temporal controls of soil respiration rate in a high-elevation, subalpine forest // *Soil biology & biochemistry*, 2003. Vol. 35. P. 525-534.

13. *Smith K.A., Ball T., Conen F., Dobbie K.E., Massheder J., Rev A.* Exchange of greenhouse gases between soil and atmosphere: interactions of soil physical factors and biological processes // *European Journal of Soil Science*, 2003. Vol. 54. P. 779-791.

14. *Soe A.R.B., Buchmann N.* Spatial and temporal variations in soil respiration in relation to stand structure and soil parameters in an unmanaged beech forest // *Tree physiology*. Vol. 25, iss. 11. P. 1427-1436.

Информация об авторах

Чистотин Максим Викторович — к. б. н. Тел. (499) 976-86-17; e-mail: chistotinmvf@yahoо.com.

Хайдуков Константин Петрович, тел. (499) 976-46-23; e-mail: hvaber@yandex.ru.

Сафонов Афанасий Федорович — д. с.-х. н. Тел. (499) 976-12-69; e-mail: umoagro@timacad.ru.

Information about the authors

Chistotin Maksim Viktorovich — Ph.D. (Biology).

Tel. (499) 976-86-17; e-mail: chistotinmv@yahoо.com.

Hajdukov Konstantin Petrovich — Tel. (499) 976-46-23; e-mail: hvaber@yandex.ru.

Safonov Afanasij Fedorovich — Doctor of Sciences (Agriculture); RTSAU, Moscow. Tel. (499) 976-12-69; e-mail: umoagro@timacad.ru.