

ДИНАМИКА БИОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ АГРОСЕРОЙ ПОЧВЫ И ОЦЕНКА СТЕПЕНИ ЕЕ УСТОЙЧИВОСТИ

А. А. Белоусов, Е. Н. Белоусова

ФГБОУ ВО Красноярский государственный аграрный университет

660049, г. Красноярск, пр. Мира, 90

E-mail: svoboda57130@mail.ru

Поступила в редакцию 26 марта 2018 г., принята к печати 26 ноября 2018 г.

В статье изложены результаты исследования влияния минеральных удобрений и белитовой муки на биологические свойства агросерой почвы. Наблюдения проводились на полевом стационаре Красноярского научно-исследовательского института сельского хозяйства (КНИИСХ). Стационар размещен на территории землепользования ТОО «Зареченское» (Тюхтетский район) в пределах зоны травяных лесов Ачинского округа (56° с. ш.; 88° в. д.). Формирование почвенного покрова района исследований осуществляется в условиях резко континентального климата. Органическое вещество почв испытывает влияние антропогенного воздействия, а легкоминерализуемое вещество (лабильное и подвижное) часто присутствует в минимуме. Микроорганизмы испытывают дефицит энергии и легкодоступного органического углерода. В связи с этим исследования по изучению роли агроприемов в стабилизации органического углерода в почвах весьма актуальны. Цель настоящей работы заключалась в оценке агробиологического состояния исследуемых объектов и степени их устойчивости к антропогенным воздействиям в условиях зоны травяных лесов Красноярского края. Схема опыта включала следующие варианты: целина; чистый бессменный пар; зерновые культуры, выращиваемые без удобрений; зерновые культуры, выращиваемые с применением минеральных удобрений и зерновые культуры, выращиваемые с применением минеральных удобрений на фоне известкования. Почва под луговой растительностью продуцировала большее количество диоксида углерода по сравнению с почвой агроценозов. Паровой участок характеризовался самыми низкими значениями биологической активности. Впервые для условий района исследования выявлена положительная роль белитовой муки в пополнении расходной части бюджета цикла углерода в агросерой почве. Содержание $C_{\text{мб}}$ было максимальным в почве целины, там же отмечена наиболее значительная доля $C_{\text{мб}}$ в составе органического вещества (9–17%). Динамика $C_{\text{мб}}$ в большей степени определялась условиями увлажнения, в меньшей – температурой и уровнем дыхательной активности микроорганизмов. Внесение минеральных удобрений способствовало усилению иммобилизации углерода микробной клеткой.

Ключевые слова: продуцирование углекислого газа, микробная биомасса, водопрочность структуры, метаболический коэффициент.

DYNAMICS OF AGRICULTURAL GREY SOIL BIOLOGICAL PROPERTIES AND ASSESSMENT OF IT'S SUSTAINABILITY DEGREE

A. A. Belousov, E. N. Belousova

Krasnoyarsk State Agrarian University

90, Mira Ave., Krasnoyarsk, 660049, Russia

E-mail: svoboda57130@mail.ru

The paper presents the results of a study of the mineral fertilizers and belite flour influence on biological properties of an agricultural grey soil. The observations have been carried out at the field experimental plot of the Krasnoyarsk Research Institute of Agriculture. The experimental plot is located on the land of Zarechenskoe, within the zone of grass forests of Achinsk District (56° 41' N; 89° 25' E). The soil cover of the studied area is formed in the sharp continental climate. Soil organic matter is influenced by anthropogenic impact, and easily mineralized fractions (labile and mobile) are often present at a minimum. Microorganisms are deficient in energy and readily available organic carbon. In this regard, studies on the role of agricultural practices in the stabilization of organic carbon in soils are very relevant. The purpose of this research was to assess the agrobiological state of the studied soils and the degree of their resistance to anthropogenic influences in the conditions of the grass forests zone. The scheme of the experiment included the following treatments: virgin soil; permanent fallow; grain crops grown without fertilizers; grain crops grown with the use of mineral fertilizers and grain crops grown with the use of mineral fertilizers with preliminary liming. The soil under meadow vegetation produced more carbon dioxide than the soil of agricultural lands. The fallow area was characterized by the lowest values of

biological activity. For the first time in the conditions of the studied area, the positive role of belite flour in the accumulation of the expenditure part of the carbon cycle budget in the agricultural gray soil was revealed. The content of C_{mb} was maximum in the soil of virgin land, a large proportion of C_{mb} in the composition of organic matter (9–17%) was also found there. C_{mb} dynamics was largely determined by the conditions of moistening, and to a smaller degree by the temperature and the level of microorganisms respiratory activity. The application of mineral fertilizers contributed to the enhancement of carbon immobilization by microbial cells.

Key words: carbon dioxide production, microbial biomass, water resistance of soil structure, metabolic rate coefficient.

ВВЕДЕНИЕ

Сельскохозяйственное использование почв приводит к нарушению их устойчивости. Среди всех компонентов почвы именно живое вещество представляет интерес при оценке устойчивости почв. Современные исследования направлены на поиск оценочных показателей, с помощью которых можно было бы диагностировать и документировать потенциальный риск изменения устойчивости почвы в результате внешних воздействий (Ананьева, 2003). Одним из направлений изучения устойчивости почв является исследование взаимосвязей между показателями функционирования микробного сообщества и физическими свойствами почв (Балашов, Ануфриева, 2004). Микробная биомасса является одним из наиболее чувствительных индикаторов изменений в почвенной среде. Содержание C_{mb} в почве зависит от количества всех живых организмов в почве – как функционирующих, так и находящихся в состоянии относительного покоя (Звягинцев, 1987). Деградация почвенной структуры и уменьшение размеров почвенных агрегатов приводят к изменению биогеохимических циклов биофильных элементов в почвах и функций почвенной биоты в отношении трансформации органического вещества (Степанов и др., 2004). Согласно Н. В. Верховцевой с соавт. (2004), биогенный студень, создаваемый почвенным живым сообществом, образует связнодисперсные системы, стабилизирующие структуру микробного консорциума и агрегатной фракции в целом. Однако к настоящему времени целесообразность применения данных показателей в конкретных условиях землепользования недостаточно обоснована.

Цель работы заключалась в оценке агробиологического состояния исследуемых объектов и степени их устойчивости к антропогенным воздействиям в условиях зоны травяных лесов Красноярского края. Для достижения указанной необходимо было решить следующие задачи: 1) изучить динамику продуцирования C - CO_2 почвой и величину микробной иммобилизации углерода (C -микроббиомассы, далее – C_{mb}); 2) оценить их зависимость от температуры, влажности и структурного состояния почвы; 3) определить уровень устойчивости исследуемых почв (паровые участки) по величине микробного метаболического коэффициента (qCO_2); 4) оценить зависимость между водопоглощаемостью почвенных агрегатов и содержанием микробной биомассы.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Исследования проводились на полевом стационаре Красноярского научно-исследовательского института сельского хозяйства (КНИИСХ). Стационар расположен на территории землепользования ТОО «Зареченское» (Тюхтетский район) в пределах зоны травяных лесов Ачинского округа (56° с. ш.; 88° в. д.). Объектом исследований являлась агросерая глубокоовескислая среднесильносуглинистая иловато-крупнопылеватая почва со следующими агрохимическими показателями: содержание гумуса изменялось от 1,6% на целине до 2,6–3,1% в агроценозах, с глубиной оно резко убывало; реакция почвенного раствора на целине сильноокислая, в пахотном слое окультуренных почв – слабоокислая; содержание суммы обменных оснований и ее распределение по вариантам опыта неравномерное: в верхнем слое почвы под лугом ее величина составляла 12 смоль (экв) kg^{-1} почвы, в поле пара отмечено незначительное содержание (10,4 смоль (экв) kg^{-1}), в почве под посевами зерновых культур – максимальное значение (16,3 смоль (экв) kg^{-1}) в варианте без удобрений. Схема опыта включала варианты: 1) целина (бобово-злаковое разнотравье); 2) чистый бессменный пар; 3) зерновые культуры (пшеница и овес), выращиваемые без удобрений; 4) зерновые культуры, выращиваемые с применением минеральных удобрений ($N_{90}P_{90}K_{90}$); 5) зерновые культуры, выращиваемые с применением минеральных удобрений на фоне известкования ($N_{90}P_{90}K_{90}$ + б.м. (белитовая мука)). Посевы зерновых культур в первый год исследований были представлены яровой пшеницей сорта Тулунская-12, во второй – овсом сорта Сельма. Вариант № 3 (зерновые культуры) служил контролем по отношению к четвертому и пятому вариантам. В указанных вариантах перед посевом зерновых культур в почву делянок были внесены минеральные удобрения в дозе 90 kg/ga д. в. ($N_{90}P_{90}K_{90}$). В качестве минеральных удобрений применялись аммиачная селитра, двойной суперфосфат и хлористый калий, в качестве известковующего мелиоранта – белитовая мука. Доза мелиоранта составляла 9 т/ ga (рассчитывалась по полной гидролитической кислотности).

Опыт проводился в трехкратной повторности. В течение вегетационных сезонов первого (1 г. и.) и второго (2 г. и.) годов исследований осуществлялся отбор образцов почвы из слоя 0–20 см. Химические и физико-химические показатели были получены по общепринятым прописям современных методов (Воробьева, 2006). Содержание

щелочнорастворимого углерода ($C_{0,1NaOH}$) определялось по И. В. Тюрину (Пономарева, Плотнокова, 1975). Микробная биомасса (C_{mb}) в почвенных образцах была определена регидратационным методом (Благодатский, 1987), влажность – термостатно-весовым методом. Рядом с местом отбора образцов был установлен поглотитель для определения интенсивности выделения углекислоты. Скорость эмиссии $C-CO_2$ определялась при помощи абсорбционного метода с интервалом в 15 дней (Шарков, 1986). Одновременно проводилось измерение температуры почвы термометрами Савинова. Метаболический коэффициент (qCO_2) рассчитывался как отношение скорости выделения углекислого газа к углероду микробной биомассы (Anderson, Domsh, 1989). Водопрочность почвенных агрегатов определялась на приборе Б. М. Бакшеева в девятикратной повторности. Статистический анализ данных проводился с использованием пакета программ MS Excel.

В годы наблюдений распределение тепла и влаги было неравнозначным (табл. 1). Сумма осадков за летний период (май – август) первого года наблюдений составила 294 мм, что превысило среднемноголетнюю норму. Наибольшее количество осадков выпало во вторую декаду мая (51 мм). Среднесуточная температура воздуха не превышала $15,4^{\circ}C$. Третья декада июня и первая половина июля характеризовались недостатком осадков, запасы влаги в почве также были весьма незначительными, однако затем они были пополнены обильными осадками, выпавшими в течение августа (76 мм).

Вегетационный сезон второго года исследований отличался более благоприятными гидротермическими условиями. Годовая сумма осадков соответствовала среднемноголетней норме. Среднесуточная температура воздуха в июне-августе составила $18^{\circ}C$. Лишь в третьей декаде июля выпадение значительного количества осадков (46 мм) сопровождалось понижением температуры. Август характеризовался достаточно теплой температурой воздуха и умеренной влажностью. Климатические показатели в целом соответствовали характеру приподной зоны.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты наблюдений за ходом динамики $C-CO_2$ в вариантах опыта свидетельствуют о непостоянстве эколого-трофических условий. Эмиссия диоксида углерода из почвы под луговой растительностью была больше, чем из почвы агроценозов (рис.). Полученные данные согласуются с результатами комплексных исследований по изучению эмиссии $C-CO_2$ из почв России (Курганова и др., 2004; Кудеяров и др., 2007), в которых вклад корневого дыхания в естественных биоценозах определялся как наиболее значимый. Луговая экосистема (целина), являющаяся замкнутой с точки зрения цикла углерода, по характеру динамики $C-CO_2$ отличалась достаточно равномерной линией тренда, что было также отмечено в работе М. М. Ландиной (1992). Подобное было характерно и для других вариантов. Полученные данные свидетельствуют о

высокой обратной зависимости скорости продуцирования $C-CO_2$ от влажности почвы (табл. 2). По мнению Л. А. Ларионовой и Л. Н. Розановой (1993), интенсивность дыхания корней и микроорганизмов, а также их устойчивость к неблагоприятной температуре и влажности определяют продуцирование углекислого газа в данных гидротермических условиях. Установленный в рамках настоящего исследования интервал значений влажности почвы (15–20%), характерный для периода наблюдений, свидетельствует скорее о ее обратной сопряженности с температурой.

Почва парового участка по степени биологической активности отличалась самыми низкими значениями. В среднем за два года ее уровень, оцененный по шкале Д. Г. Звягинцева (1978), был низким, что связано с отсутствием поступления в почву свежих органических остатков. Их дефицит, по данным В. Н. Кудеярова (2007), в большей степени лимитирует интенсивность эмиссии в атмосферу углекислого газа. Для динамики продуцирования $C-CO_2$ была характерна «пилообразная» кривая, которая иллюстрировала заметное отличие почвы делянок без растений от почвы в других вариантах. Наблюдаемые флуктуации связаны с циклами высушивания-увлажнения и естественной сменой термических условий. Таким образом, гидротермические условия воздействовали на эмиссию $C-CO_2$ опосредованно, т.е. через почвенное живое вещество.

Посевы яровой пшеницы в целом не оказали существенного влияния на интенсивность продуцирования $C-CO_2$ в рассматриваемых вариантах. Уровень эмиссии характеризовался низкими и средними значениями. Почва под зерновыми культурами, выращиваемыми без удобрений, диффундировала меньшее количество $C-CO_2$, чем почва на целине, но большее, чем почва под паром (рис.). В первом случае это связано с меньшим биологическим разнообразием зернового фитоценоза, во-втором – с экссудатами корневых систем колосовых культур, стимулирующими почвенную микрофлору. Средние сезонные и двухгодовые количественные значения свидетельствуют об отсутствии достоверного влияния полного минерального удобрения на величину эмиссии $C-CO_2$. По данным исследователей, занимающихся вопросами дыхания почвы, влияние минеральных удобрений на данный процесс весьма противоречивое и разноплановое. Вероятно, внесение физиологически кислых минеральных удобрений привело к повышению уровня почвенной кислотности и снижению активности почвенной биоты.

Воздействие белитовой муки на интенсивность эмиссии $C-CO_2$ было максимальным в первый год наблюдений и снизилось во второй. В целом внесение известкового мелиоранта способствовало пополнению расходной части бюджета цикла углерода в агросерой почве. По данным И. В. Евдокимовой (1975), известкование почвы и внесение минеральных удобрений приводят к увеличению общего количества пожнивно-корневых остатков зерновых культур в

почве, в результате чего повышается продуцирование CO_2 в приземный слой.

Динамические наблюдения в первый год исследований, особенно в начале вегетационного сезона, позволили установить, что максимальная величина эмиссии C-CO_2 была характерна для почвы пятого варианта. В течение следующего периода наблюдений выявленная тенденция отсутствовала. Анализ динамики C-CO_2 свидетельствует о том, что в почве под зерновыми культурами интенсивность потока в большей степени зависит от гидротермических условий, чем в почвах на участках целины и пара.

В отличие от природной экосистемы, агроценозы характеризовались меньшими запасами $\text{C}_{\text{мб}}$. В почве, не подвергнутой механическим обработкам, в первый год наблюдений изменения были связаны с колебаниями гидротермических условий, во второй – с водопрочностью почвенных агрегатов. Несмотря на отсутствие растительности, в почве пара отмечены довольно высокие концентрации C-микробобиомассы – больше, чем в почве под посевами зерновых, но меньше, чем в почве на целине. В отдельные периоды содержание $\text{C}_{\text{мб}}$ было максимальным в почве пара, для которой, в отличие от почвы луга, характерна обратная зависимость содержания $\text{C}_{\text{мб}}$ от динамики влажности в течение периода наблюдений (табл. 2). По-видимому, в длительно парующейся почве при отсутствии поступления свежего органического вещества доминировало микробное сообщество, использующее г-стратегию и стабильное при низких значениях влажности.

Содержание $\text{C}_{\text{мб}}$ в почве агроценозов злаковых культур при использовании минеральных удобрений было максимальным по сравнению с вариантами без удобрений и с известкованием, что обусловлено изменчивостью влажности почвы, а также повышением содержания доступного энергетического субстрата – подвижного органического вещества (водорастворимого и щелочногидролизуемого).

Ход динамики $\text{C}_{\text{мб}}$ в почвах под зерновыми культурами при разной степени агрогенного воздействия не всегда был одинаковым, что вызвано различными причинами. Данные корреляционного анализа свидетельствуют о том, что на иммобилизацию углерода микробной биомассой в почве под яровой пшеницей, выращиваемой без применения минеральных удобрений и белитовой муки, оказывали влияние разные факторы и ни один из них не был доминирующим. Внесение в почву минеральных удобрений привело к увеличению концентрации углерода микробной биомассы. Полученные данные согласуются с результатами других исследований, в которых установлено, что внесение азотных удобрений способствовало стимуляции физиологических процессов в растениях и увеличению выделений углеродсодержащих соединений из его корневой системы. Примечательно, что динамика содержания $\text{C}_{\text{мб}}$ здесь определялась уровнем влажности ($r = -0,7$; $-0,78$ в первый и второй год соответственно). При этом интенсивность общего

дыхания почвы на 25% зависела от колебаний C-микробобиомассы .

Противоположная картина наблюдалась при внесении удобрений в ранее произвесткованную почву. Статистические данные, полученные в первый год исследований, свидетельствуют о прямой зависимости C-микробобиомассы от влажности ($r = 0,85$), а с ростом температуры содержание $\text{C}_{\text{мб}}$, наоборот, снижалось ($r = -0,7$). Также установлен обратный характер зависимости между содержанием $\text{C}_{\text{мб}}$ и эмиссией CO_2 . По-видимому, внесение белитовой муки, оптимизирующей физико-химические условия и структурное состояние почвы, способствовало сохранению C-микробобиомассы . Результаты настоящего исследования свидетельствуют о дестабилизации микробного фонда углерода при сельскохозяйственном использовании почвы.

Удельная дыхательная активность объединяет анализируемые биологические свойства. Методические ограничения позволили рассчитать данный коэффициент только для почвы парового поля. Результаты показали, что почвенная система здесь отличалась стабильностью в начале вегетационных сезонов, а затем, по мере прогревания почвы, стали фиксироваться более высокие величины qCO_2 , не отмечавшиеся впоследствии вплоть до конца периода наблюдений. В первый год устойчивость в основном определялась влажностью почвы ($r = -0,94$) и температурой ($r = 0,85$), во второй – изменениями в структуре микробной биомассы ($r = -0,8$).

Для определения степени устойчивости в остальных вариантах использовался метод нахождения взаимосвязей между физическим свойством почвы (водопрочностью) и состоянием микробного сообщества ($\text{C}_{\text{мб}}$). Целесообразность применения указанных характеристик обсуждалась ранее (Балашов, Ануфриева, 2004). Достоверная взаимосвязь между количеством водопрочных агрегатов и $\text{C}_{\text{мб}}$ установлена только в почве луговой экосистемы ($r = 0,8$). В почве агроценозов яровой пшеницы и овса корреляционные зависимости были слабыми.

ВЫВОДЫ

1. Почва лугового ценоза продуцировала наибольшее количество C-CO_2 и характеризовалась максимальным содержанием углерода микробной биомассы, его доля в составе органического вещества была весьма значительной (9–17%).

2. В рассматриваемых вариантах динамика углерода микробной биомассы в агросерой почве в большей степени определялась условиями увлажнения, в меньшей – температурой почвы и уровнем дыхательной активности микроорганизмов.

3. Паровой участок характеризовался самыми низкими значениями биологической активности. Выявлена положительная роль белитовой муки в пополнении расходной части бюджета цикла углерода в агросерой почве.

4. Внесение минеральных удобрений способствовало усилению иммобилизации углерода микробной клеткой.

**Таблица 1. Агроклиматические показатели исследуемой территории, метеостанция с. Тюхтет
(по данным Краевой государственной гидрометеорологической службы)**

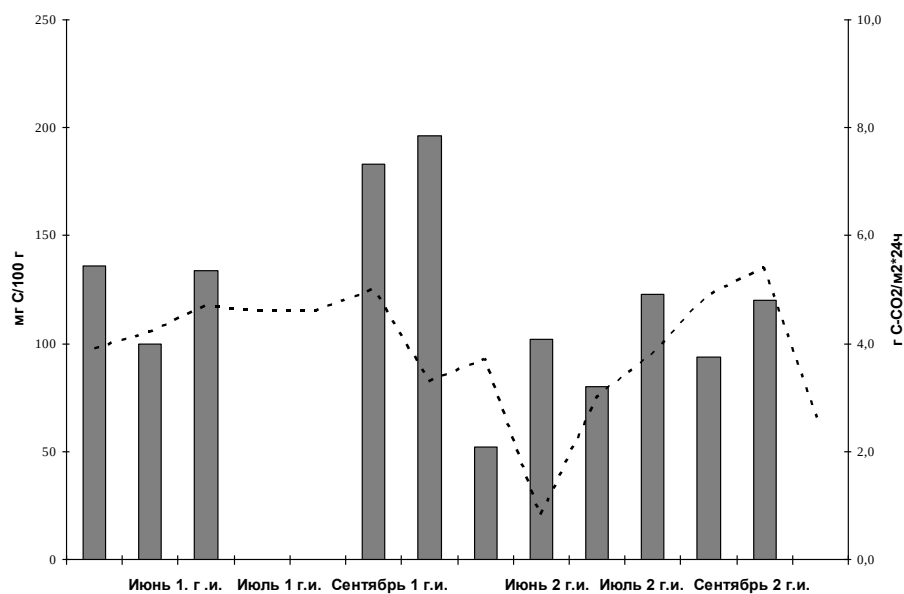
Показатель		Месяцы													XI–III	IV–X
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	год		
Температура воздуха, °С	Норма (1961–1990 гг.)	–17,6	–16,0	–9,0	0,8	8,6	15,7	18,3	14,8	8,8	0,8	–9,6	–16,6	–0,1	–	–
	1-й год исследований	–20,2	–10,2	–4,6	3,3	10,0	17,4	17,3	16,7	9,8	–1,4	–14,4	–17,8	0,5	–	–
	2-й год исследований	–24,1	–14,0	–5,6	2,3	14,4	18,1	16,3	17,9	9,6	4,1	–5,8	–16,6	1,4	–	–
Сумма осадков, мм	Норма (1961–1990 гг.)	21,0	16,0	17,0	26,0	45,0	61,0	74,0	73,0	50,0	44,0	41,0	27,0	495,0	122,0	373,0
	1-й год исследований	12,5	28,2	23,1	37,5	90,9	66,8	60,0	76,0	29,3	56,0	44,6	45,5	570,5	153,9	416,6
	2-й год исследований	22,9	23,1	39,2	25,3	33,6	56,8	94,4	21,8	55,8	30,5	49,3	35,9	488,6	170,4	318,2

Таблица 2. Корреляционные зависимости биологических свойств агросерой почвы

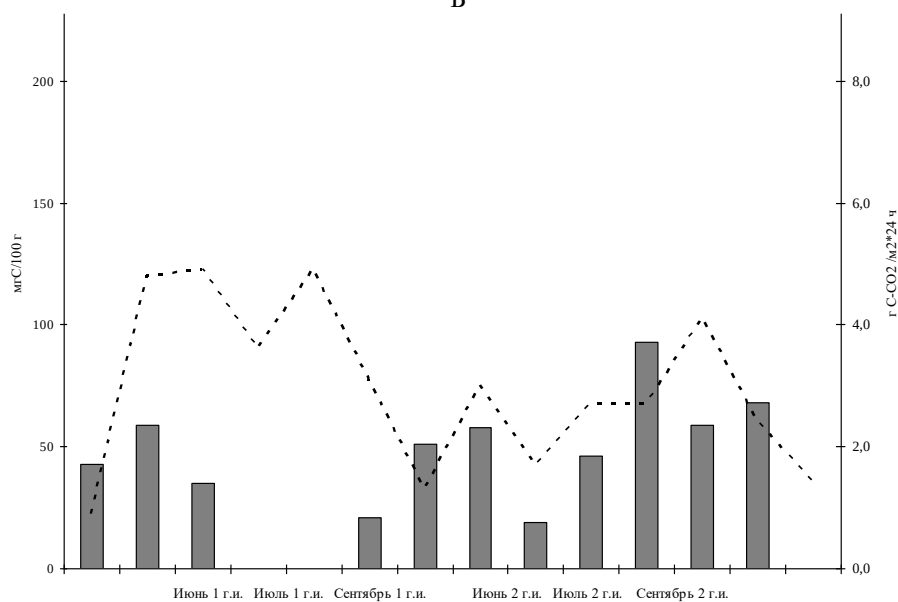
Варианты	C _{0,1NaOH} , мг/100 г	Биологические свойства	Первый год исследований					Второй год исследований				
			влажность	температура	водопрочность	C- CO ₂	C _{мб}	влажность	температура	водопрочность	C- CO ₂	C _{мб}
1. Целина	480	C-CO ₂ , г/м ²	–0,35	0,10	–*	–	–0,17	–0,97	0,38	–	–	0,16
		C _{мб} , мг/100 г	0,78	–0,90	0,80	–0,17	–	–0,10	–0,10	0,80	0,20	–
2. Чистый ранний пар	574	C-CO ₂ , г/м ²	0,00	0,60	–	–	0,55	0,00	0,20	–	–	0,49
		C _{мб} , мг/100 г	–0,90	0,85	–0,36	0,55	–	–0,46	0,10	–0,36	0,49	–
3. Пшеница, овес	650	C-CO ₂ , г/м ²	–0,68	0,70	–	–	0,00	–0,50	0,66	–	–	0,50
		C _{мб} , мг/100 г	0,24	0,00	–0,38	0,00	–	–0,40	0,20	–0,38	0,50	–
4. Пшеница, овес + NPK	662	C-CO ₂ , г/м ²	–0,20	0,66	–	–	0,56	–0,70	0,53	–	–	0,42
		C _{мб} , мг/100 г	–0,78	0,60	–0,30	0,56	–	–0,70	–0,15	–0,30	0,42	–
5. Пшеница, овес + NPK + б.м.	574	C-CO ₂ , г/м ²	–0,58	0,36	–	–	–0,90	–0,70	0,29	–	–	0,40
		C _{мб} , мг/100 г	0,85	–0,70	0,39	–0,90	–	–0,60	0,44	0,39	0,40	–
Даты определений qCO ₂		30.05	16.06	01.07	20.08	31.08	02.06	16.06	02.07	18.07	16.08	01.09
qCO ₂ , мг/г*ч		0,25	1,32	0,38	0,16	0,94	0,19	1,67	0,27	0,53	0,45	0,9
			Первый год исследований					Второй год исследований				
			влажность	температура	водопрочность	C- CO ₂	C _{мб}	влажность	температура	водопрочность	C- CO ₂	C _{мб}
Чистый пар, корреляция за два года		ММК, мг/г*ч	–0,94	0,85	0,9	0,86	0,13	–0,46	0,14	0,9	0,0	–0,8

Примечание. * – коэффициенты не определялись.

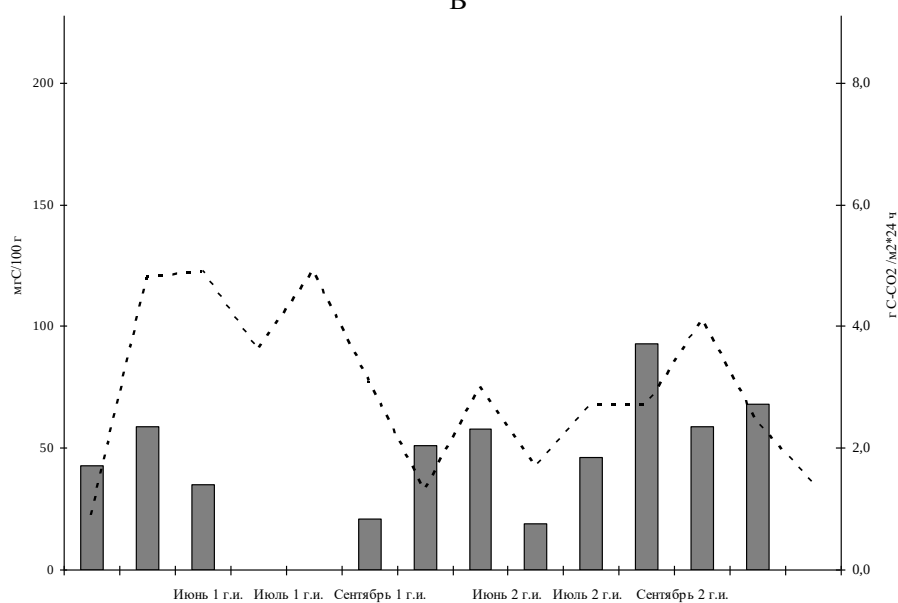
А



Б



В



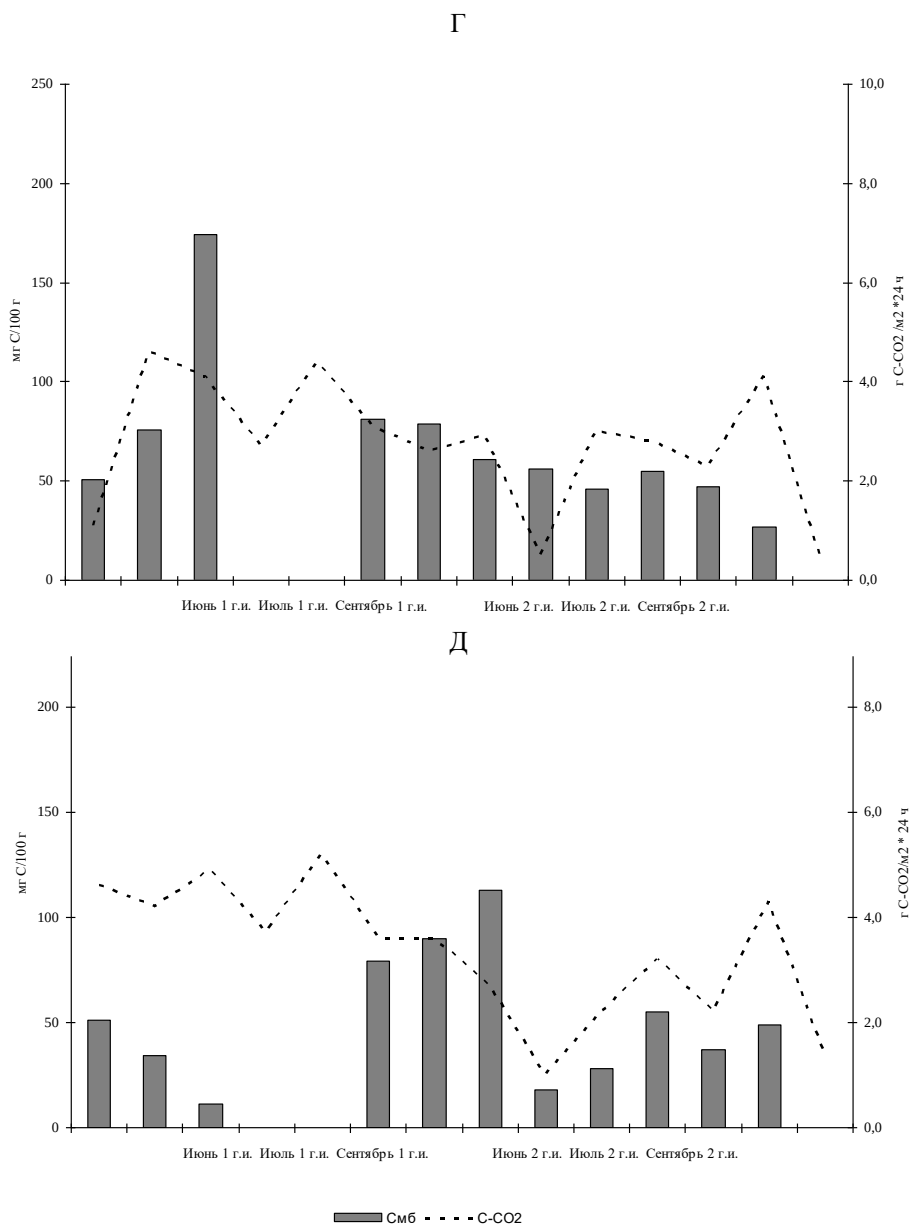


Рис. Динамика скорости эмиссии C-CO₂ и содержания C_{мб} в почве целины (А), чистого пара (Б), под зерновыми культурами, выращиваемыми без удобрений (В), под зерновыми культурами, выращиваемыми с использованием минеральных удобрений (Г) и белитовой муки совместно с удобрениями (Д).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Ананьева Н. Д. Микробиологические аспекты самоочищения и устойчивости почв. М.: Наука, 2003. 223 с.
- Балашов Е. В., Ануфриева А. В. Оценка устойчивости дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы по состоянию органического вещества и микробного сообщества // Материалы IV Всероссийского съезда общества почвоведов. Книга 1. Новосибирск, 2004. С. 598.
- Благодатский С. А., Благодатская Е. В., Горбенко А. Ю., Паников Н. С. Регидратационный метод определения микробной биомассы в почве // Почвоведение. 1987. № 4. С. 64–71.
- Верховцева Н. В., Милановский Е. Ю., Шейн Е. В., Тюгай З. Н. Распределение микроорганизмов и гумусовых веществ по гранулометрическим и агрегатным фракциям чернозема // Материалы IV Всероссийского съезда общества почвоведов. Книга 1. Новосибирск, 2004. С. 30.
- Воробьева Л. А. Теория и практика химического анализа почв. М.: ГЕОС, 2006. С. 400.
- Звягинцев Д. Г. Биологическая активность почв и шкалы для оценки некоторых ее показателей // Почвоведение. 1978. № 6. С. 44–52.
- Звягинцев Д. Г. Почва и микроорганизмы. М.: Изд-во МГУ, 1987. 256 с.
- Евдокимова Н. В. Влияние удобрений на биологическую активность дерново-подзолистой почвы. Автореферат дисс. канд. с.-х. наук. М.: ТСХА, 1975. 19 с.
- Евдокимова Г. А., Переверзев В. Н. Критерии оценки устойчивости почв к антропогенному воздействию // Устойчивость почв к естественным и антропогенным воздействиям. Тез. докл. Всеросс. конф. М., 2002. С. 22.
- Кудеяров В. Н., Заварзин Г. А., Благодатский С. А., Борисов А. В., Воронин П. Ю., Демкин В. А., Курмаев А. С. Пулы и потоки углерода в аземных экосистемах России. М.: Наука, 2007. 315 с.
- Курганов И. Н., Кудеяров В. Н., Лопес де Гереню В. О. Эмиссия CO₂ из пахотных почв России // Материалы IV Всероссийского съезда общества почвоведов. Книга 1. Новосибирск, 2004. С. 355.
- Ландина М. М. Почвенный воздух. Новосибирск: Наука, 1992. 169 с.
- Ларионова А. А., Розонова Л. Н. Влияние температуры и влажности почвы на эмиссию CO₂ // Дыхание почвы / под ред. Г. А. Заварзина, В. Н. Кудеярова. Пушкино: ОНТИ, 1993. С. 59–68.
- Пономарева В. В., Плотнокова Т. А. Методические указания по определению содержания и состава гумуса в почвах. Л., 1975. 105 с.
- Степанов А. Л., Манучарова Н. А., Умаров М. М., Судницин И. И., Кожевин П. А. Почвенные агрегаты и их функции в биосферных процессах // Материалы IV Всероссийского съезда общества почвоведов. Книга 1. Новосибирск, 2004. С. 48.
- Шарков И. Н. Метод оценки потребности в органических удобрениях для создания бездефицитного баланса углерода в почве пара // Агрохимия. 1986. № 2. С. 109–118.
- Anderson J. P. E., Domsh K. H. A physiological method for the quantitative measurement of microbial biomass in soils // Soil Biol. Biochem., 1989, no. 10, pp. 215–221.

REFERENCES

- Anan'eva N.D. *Mikrobiologicheskie aspekty samoochishhenija i ustojchivosti pochv* [Microbiological aspects of self-purification and stability of soils]. Moscow: Nauka, 2003. 223 p.
- Balashov E.V., Anufrieva A.V. Ocenka ustojchivosti dernovo-podzolistoj legkosuglinistoj pochvy po sostojaniju organicheskogo veshhestva i mikrobnogo soobshhestva [Assessment of stability of sod-podzolic light loamy soil according to state of organic matter and microbial community]. *Materialy 4-go Vserossijskogo sjezda obshhestva pochvovedov. Kniga 1. Novosibirsk, 2004* [Materials of the 4th all-Russian Congress of society of soil scientists. Book 1. Novosibirsk, 2004]. Novosibirsk, 2004. 598 p.
- Blagodatskij S.A., Blagodatskaja E.V., Gorbenko A.Ju., Panikov N.S. Regidratacionnyj metod opredelenija mikrobnaj biomassy v pochve [Rehydration method for determining microbial biomass in soil]. *Pochvovedenie*, 1987, no. 4, pp. 64–71.
- Verhovceva N.V., Milanovskij E.Ju., Shein E.V., Tjugaj Z.N. Raspredelenie mikroorganizmov i gumusovyh veshhestv po granulometricheskim i agregatnym frakcijam chernozema [The distribution of the microorganisms and humic substances by particle size and aggregate fractions of black soil]. *Materialy 4-go Vserossijskogo sjezda obshhestva pochvovedov. Kniga 1. Novosibirsk, 2004* [Materials of the 4th all-Russian Congress of society of soil scientists. Book 1. Novosibirsk, 2004. 598 p.]. Novosibirsk, 2004, pp. 30.
- Vorob'eva L.A. *Teorija i praktika himicheskogo analiza pochv* [Theory and practice of chemical analysis of soils]. Moscow: GEOS, 2006. 400 p.
- Zvjaginцев D.G. Biologicheskaja aktivnost' pochv i shkaly dlja ocenki nekotoryh ee pokazatelej [Soil biological activity and the scale to assess some of the indicators]. *Pochvovedenie*, 1978, no. 6, pp. 44–52.
- Zvjaginцев D.G. *Pochva i mikroorganizmy* [Soil and microorganisms]. Moscow: Publishing house of Moscow State University, 1987. 256 p.
- Evdokimova N.V. *Vliyanie udobrenij na biologicheskuyu aktivnost' dernovo-podzolistoj pochvy*. Avtoreferat dis. kand. s.-h. nauk. [Effect of fertilizers on biological activity of sod-podzolic soil. Abstract diss. cand. agric. sci.]. TSKHA, 1975. 19 p.

- Evdokimova G.A., Pereverzev V.N. Kriterii ocenki ustojchivosti pochv k antropogennomu vozdeystviyu [The criteria for assessing the resistance of soils to anthropogenic impacts]. *Ustojchivost' pochv k estestvennym i antropogennym vozdeystviyam. Tez. dokl. Vseross. konf. Moscow, 2002* [The resistance of soils to natural and anthropogenic impacts. Proc. dokl. Vseross. conf. Moscow, 2002]. Moscow, 2002, pp. 22.
- Kudeyarov V.N., Zavarzin G.A., Blagodatskij S.A., Borisov A.V., Voronin P.Yu., Demkin V.A., Komarov A.S. Puly i potoki ugleroda v azemnykh ehkossistemah Rossii [Carbon pools and fluxes in terrestrial ecosystems in Russia]. Moscow: Nauka, 2007. 315 p.
- Kurganova I.N., Kudejarov V.N., Lopes de Gerenju V.O. Jemissija SO₂ iz pahotnykh pochv Rossii [CO₂ emission from arable soils of Russia]. *Materialy 4-go Vserossijskogo sjezda obshhestva pochvovedov. Kniga 1. Novosibirsk, 2004* [Materials of the 4th all-Russian Congress of society of soil scientists. Book 1. Novosibirsk, 2004]. Novosibirsk: 2004, p. 598.
- Landina M.M. *Pochvennyj vozduh* [Soil air]. Novosibirsk: Nauka, 1992. 169 p.
- Larionova A.A., Rozonova L.N. Vliyanie temperatury i vlazhnosti pochvy na ehmissiyu SO₂ [Effect of soil temperature and humidity on CO₂ emissions] // *Dyhanie pochvy / Pod red. G.A. Zavarzina, V.N. Kudeyarova*. Pushchino: ONTI, 1993, pp. 59–68.
- Ponomareva V.V., Plotnikova T.A. *Metodicheskie ukazaniya po opredeleniju soderzhaniya i sostava gumusa v pochvakh* [Guidelines for the definition of the content and composition of humus in the soil]. Leningrad, 1975. 105 p.
- Stepanov A.L., Manucharova N.A., Umarov M.M., Sudnicin I.I., Kozhevnikov P.A. Pochvennye agregaty i ih funktsii v biosfernykh processakh [Soil aggregates and their functions in biosphere processes]. *Materialy 4-go Vserossijskogo sjezda obshhestva pochvovedov. Kniga 1. Novosibirsk, 2004* [Materials of the 4th all-Russian Congress of society of soil scientists. Book 1. Novosibirsk, 2004]. Novosibirsk: 2004, 48 p.
- Sharkov I.N. Metod ocenki potrebnosti v organicheskikh udobreniyakh dlja sozdaniya bezdefitsitnogo balansa ugleroda v pochve para [Method of estimating the need for organic fertilizers to create a deficit-free balance of carbon in the soil of steam]. *Agrohimija*, 1986, no. 2, pp. 109–118.
- Anderson J.P.E., Domsh K.H. A physiological method for the quantitative measurement of microbial biomass in soils // *Soil Biol. Biochem.*, 1989, no. 10, pp. 215–221.

УДК 630.114.22

DOI:10.25695/AGRPH.2018.04.02

ТРАНСФОРМАЦИЯ ПОЧВЕННОГО ПОГЛОЩАЮЩЕГО КОМПЛЕКСА ЧЕРНОЗЕМНЫХ ПОЧВ КАМЕННОЙ СТЕПИ ПРИ ДЛИТЕЛЬНОМ АНТРОПОГЕННОМ И ПОСТМЕЛИОРАТИВНОМ ВОЗДЕЙСТВИИ

В. А. Беспалов, Ю. И. Чевердин, Т. В. Титова

Научно-исследовательский институт сельского хозяйства

Центрально-Черноземной полосы им. В. В. Докучаева

397463, Воронежская область, Таловский район, п. 2 участка института им. Докучаева, квартал 5, д. 81

E-mail: vabespalov@bk.ru

Поступила в редакцию 29 января 2018 г., принята к печати 26 ноября 2018 г

Интенсивное антропогенное и длительное постмелиоративное воздействие на почвенный покров приводят к заметному изменению состава почвенного поглощающего комплекса

