

ИЗМЕНЕНИЕ МИКРОБИОЛОГИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ СЕРЫХ ЛЕСНЫХ ПОЧВ В ПРОЦЕССЕ ЕСТЕСТВЕННОГО ЛЕСОВОССТАНОВЛЕНИЯ

А. С. Мостовая¹, И. Н. Курганова², В. О. Лопес де Гереню², О. С. Хохлова²,
А. В. Русаков³, А. С. Шаповалов⁴

¹ ФГБОУ ВПО Российский государственный аграрный университет –
МСХА имени К.А. Тимирязева;

² Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН

³ Санкт-Петербургский государственный университет

⁴ ФГБУ Государственный заповедник «Белогорье»

Поступила в редакцию 01.03.2014 г.

Аннотация. В данной работе определялась микробиологическая активность серых лесных почв в хроноряду, включающем пашню, разновозрастные залежи и зрелый коренной лес (Белгородская обл.). В ходе исследований было установлено, что при переходе пахотных земель в залежные в верхнем (0-10 см) слое бывшего пахотного горизонта изученных почв происходит накопление органического углерода, увеличение дыхательной активности почв и содержания углерода микробной биомассы. В нижележащем горизонте (10-20 см) на поздних стадиях восстановления бывших пахотных почв, под лесной растительностью получают развитие подзолообразовательные процессы, вследствие чего повышается кислотность почв и заметно снижается ее микробиологическая активность.

Ключевые слова: постагрогенная эволюция почв, органическое вещество, базальное дыхание, микробная биомасса, метаболический коэффициент.

Abstract. In this work we determined microbial activity of gray forest soils in chronological series, which includes farmland, abandoned lands of different ages, and mature native forest (Belgorod region). It was found that the conversion of arable land to natural vegetation led to the organic carbon accumulation, increase of respiratory activity and soil microbial biomass in the upper (0-10 cm) soil horizon. During the later stages of former arable soils restoration, the podzolic processes are developed in the underlying soil horizon (10-20 cm) under forest vegetation, thereby the acidity of the soil increased and the microbiological activity of soil reduced significantly.

Keywords: post-agrogenic evolution of soils, organic matter, basal respiration, microbial biomass, metabolic coefficient.

Почвенные микроорганизмы осуществляют основные ферментативные процессы в почве, запасая энергию и элементы питания в своей биомассе [1]. Микробные сообщества почв являются весьма чувствительными к любым изменениям природной среды, как естественным, так и антропогенным [2], а процентное содержание микробной биомассы (C_{mic}) на единицу органического углерода почвы (C_{org}) является важным экологиче-

ским показателем, характеризующим состояние и разнообразие микробного сообщества, а также степень зрелости экосистемы [3]. Так, было показано, что в связи с увеличением биоразнообразия микробного сообщества на поздних стадиях сукцессии, величина C_{mic}/C_{org} возрастает в ряду от молодых к зрелым экосистемам от 0.25 до 7% и стабилизируется на высоком уровне в климаксных сообществах [2]. Отношение C_{mic}/C_{org} зависит также от климатических условий и существенно изменяется в зависимости от землепользования: оно значительно ниже в монокультуре, чем в сево-

обороте, а также в пахотных почвах по сравнению с целинными аналогами [4, 5]. Было показано, что выведение пахотных почв из сельскохозяйственного использования ведет не только к увеличению их микробиологической (дыхательной) активности [6, 7, 8], но и к изменению структуры микробного сообщества [9, 10, 1, 11]. Очевидно, что степень этих изменений будет зависеть от периода, в течение которого бывшие пахотные почвы не обрабатывались. В рамках настоящего исследования было проведено определение микробиологической активности серых лесных почв нагорной дубравы «Лес на Ворскле» (заповедник «Белогорье»), на примере сукцессионного хроноряда, представляющего собой современную пашню, разновозрастные залежи с разными типами растительности и зрелый лесной ценоз.

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Сукцессионный хроноряд бывших пахотных угодий располагался в Белгородской области (лесостепная зона, заповедник «Белогорье»). Природно-географические условия и почвы заповедника подробно описаны в учебном пособии Санкт-Петербургского университета [12]. Территория, где проводились исследования, расположена на юго-западном склоне Среднерусской возвышенности с максимальными абсолютными отметками 200-250 м выше уровня моря. Климат района – умеренно-континентальный с жарким относительно сухим летом и довольно холодной зимой. Среднегодовая температура воздуха составляет +6.0°C, средняя температура января около -8.1°, июля – +19.9°C [12]. Средняя сумма атмосферных осадков составляет 565 мм/год, причем более половины годовой нормы выпадает в теплое время года (апрель-сентябрь). Для рассматриваемого региона характерны два типа растительности: широколиственные леса (преимущественно дубняки) и травянистые группировки, относящиеся к категории луговых степей.

Исследуемый хроноряд располагался на территории лесного массива «Лес на Ворскле», площадь которого составляет около 1000 га (50°33' с.ш. 36°03' в.д.). Практически всю территорию дубравы занимают серые лесные почвы различных подтипов, которые формируются под влиянием двух главных почвообразовательных процессов: биологической аккумуляции и элювиального [12]. Процесс биологической аккумуляции в почвах лесов лесостепной зоны выражен значительно сильнее, чем в таежно-лесной зоне, и здесь до-

минирует гумусонакопление, т.е. накопление специфических гуминовых веществ, прочно связанных с минеральной частью почвы, в отличие от южно-таежной зоны, где преобладает процесс подстилконакопления. Элювиальный процесс, приводящий к элювиально-иллювиальной дифференциации профиля, напротив, в почвах широколиственных лесов выражен слабее, чем в подзоне южной тайги, что объясняется меньшим сезонным промыванием почвенно-грунтовой толщи и менее агрессивным характером почвенных растворов. В серых лесных почвах элювиальный процесс отчасти маскируется и компенсируется процессом биологической аккумуляции, но всегда выражен в большей или меньшей степени.

Хроноряд серых лесных постагрогенных почв включал: молодую залежь возраста 5(10) лет, поросшую сорной растительностью; залежь 15(20)-летнего возраста под разнотравным лугом (последние 5 лет участок не косился); два участка залежей примерно одного возраста (35-40 лет), но с различной растительностью: только луговой и луговой с примесью деревьев 15(20)-летнего возраста (дикая груша, береза, ясень, дуб и липа); залежь 45-50 лет с древесной растительностью (клен, липа, дуб) и липово-дубовый лес примерно 100-летнего возраста. Старопахотный (~ 150 лет) участок пашни и коренной кленово-дубовый лес, возраст которого превышает 100 лет, служили двухсторонним контролем, позволяющим проанализировать постагрогенные изменения в серых лесных почвах.

На всех объектах исследования были заложены полнопрофильные почвенные разрезы и проведено их морфологическое описание. Для микробиологических анализов почвенные образцы отбирались только из двух верхних слоев: 0-10 и 10-20 см, которые не всегда соответствовали границам морфогенетических горизонтов. Такой способ отбора почвенных проб позволяет описать дифференциацию бывшего пахотного слоя (0-20 см) по общим свойствам и микробиологическим показателям в ходе пост-агрогенной сукцессии.

Перед проведением анализов почвенные образцы подсушивали до воздушно-сухого состояния и просеивали через сито с диаметром ячеек 2 мм. В лабораторных условиях в образцах нарушенного сложения определяли полную полевую влагоемкость, ППВ [13] и величину pH (потенциометрически) в 1М KCl вытяжке при соотношении почва:раствор = 1:2.5. Содержания общего углерода и азота в почвенных образцах анализировали на элементном CHNS анализаторе (Leco,

США).

Микробиологическую (дыхательную) активность почв (V_{basal}) измеряли в лабораторных условиях по интенсивности выделения CO_2 из почвы при увлажнении, соответствующем 65-70% от ППВ, и температуре $24^\circ C$ в 3-х кратной повторности. С этой целью навеску воздушно-сухой почвы (10 г) тщательно освобождали от корней и помещали во флаконы объемом 100 мл, увлажняли и закрывали пленками, пропускающими воздух, но препятствующими испарению влаги. После предварительного инкубирования почв при температуре $22-24^\circ C$ в течение 5 суток, флаконы герметично закрывали резиновыми пробками и выдерживали при той же температуре 10-12 часов. Затем определяли концентрацию CO_2 во флаконе с использованием портативного газоанализатора LiCor 840 (США). Расчет величины базального дыхания V_{basal} (мг С/кг/сут) проводили по формуле:

$V_{basal} = (C_f - C_0) \times 12 \times V_{флак} \times 1000 / m \times 22.4 \times t \times 100$ (1), где C_0 – начальная концентрация CO_2 во флаконе, объемные %; C_f – конечная концентрация CO_2 во флаконе; $V_{флак}$ – объем флакона, мл; t – время инкубации, сут; m – навеска почвы, кг.

Содержание микробного углерода (C_{mic}) определяли методом субстрат-индуцированного дыхания [14]. Считается, что первоначальное увеличение дыхания после внесения питательного субстрата (глюкозы) в почву пропорционально содержанию углерода в живой микробной биомассе [14]. Для определения C_{mic} флаконы с почвой после измерения V_{basal} проветривали и вносили 1 мл раствора глюкозы из расчета 10 мг глюкозы на 1 г почвы. Через час после добавления питательного субстрата флаконы снова проветривали, герметично закрывали, инкубировали при температуре $24^\circ C$ в течение 1.5-2 часов и затем снова определяли концентрацию CO_2 во флаконах. Скорость субстрат-индуцированного дыхания (V_{SIR}), отражающая отклик микробного сообщества почв на внесение дополнительного субстрата, рассчитывалась по формуле (1).

Расчет содержания микробной биомассы (C_{mic}) производили согласно уравнению [14]:

$$C_{mic} = 40.04 \cdot V_{SIR} + 0.37 \quad (2),$$

где C_{mic} – содержание углерода, иммобилизованного в микробной биомассе (мкг С/100 г почвы), V_{SIR} – скорость субстрат-индуцированного дыхания (мкг С/1 г почвы/час).

Метаболический коэффициент qCO_2 рассчитывали как соотношение скоростей выделения

CO_2 из необогащенной почвы и почвы, в которую вносили избыток доступного субстрата – глюкозы [15, 16]:

$$qCO_2 = V_{basal} / V_{SIR} \quad (3).$$

Статистическая обработка данных. Все анализы и эксперименты проводились в 2(3)-х кратной повторности. В таблицах и на графиках представлены средние значения и величины стандартной ошибки. Теснота корреляционных связей оценивалась при помощи коэффициента детерминации (R^2) с указанием уровня вероятности (P). Все расчеты проводились с использованием программы Excel 2007 (Microsoft Office XP).

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Проведенные исследования показали, что верхние горизонты изучаемых почв заметно отличались по величине ППВ и значениям рН солевой вытяжки (табл. 1). Величина ППВ в самом верхнем (0-10 см) горизонте изученных почв варьировала от 48.0 до 78.7% в зависимости от типа растительности. Максимальные значения ППВ наблюдались в зрелом коренном лесу, а минимальные – в молодой залежи, занятой сорной растительностью (участок ЗМ-10). За исключением пашни, величина ППВ в горизонте 10-20 см всех других участков была значительно ниже, чем в самом верхнем 10-см горизонте, и разница эта увеличивалась с возрастом залежей, достигая максимальной величины (26%) в зрелом коренном лесу, что, по всей видимости, объясняется меньшей гумусированностью и облегченным гранулометрическим составом нижней части бывшего пахотного горизонта (10-20 см) по сравнению с самым верхним 0-10 см слоем из-за активных процессов элювиирования в почвах под лесной растительностью.

Значения рН в верхних горизонтах изученных почв также довольно сильно варьировали: от 4.7 до 5.9 ед. рН в верхнем 0-10 см слое и от 3.5 до 5.2 ед. рН – в нижней части (10-20 см) бывшего пахотного горизонта. Разница в величине рН между изученными слоями практически не проявлялась на пашне и на залежах с луговой (участки ЗМ-10, ЗЛ-20) или молодой лесной растительностью (участок З_Лес-40). Самыми существенными различия в величине кислотности почв были под лесной растительностью, достигая максимальной величины (1.7 ед. рН) в зрелом коренном лесу (см. табл. 1).

Содержание органического углерода (C_{org}) в верхнем 10-см слое в почвах изученного хроно-

ряда последовательно нарастало от 15.4 г С/кг почвы в молодой залежи (ЗМ-10) до 47.0 г С/кг почвы – в зрелом коренном лесу (см. табл. 1; рис. 1). В нижней части бывшего пахотного горизонта (слой 10-20 см) содержание углерода в ходе постагрогенной эволюции, напротив, сначала уменьшалось от 16.4 г С/кг почвы – на пашне до 12.1-12.5 г С/кг – в почвах под луговой растительностью (площадки ЗЛ-20 и З_Луг-40), а затем постепенно возрастало до 17.0-19.7 г С/кг почвы – в лесных ценозах (площадки Л-100 и ЛЗК).

В ходе постагрогенной сукцессии наблюдалось существенное увеличение разницы в содержании C_{org} между слоями 0-10 и 10-20 см: от 1.5-1.9 г С/кг почвы – на пашне и молодой залежи до 12.1-30.0 г С/кг почвы – в лесных биогеоценозах (рис. 1). Эта закономерность может быть объяснена протеканием двух разнонаправленных процессов – гумусонакопления в верхнем 0-10 см слое и выщелачивания гумуса вследствие проявления подзолообразовательного процесса при развитии лесной растительности – в нижележащем горизонте (10-20 см).

Динамика органического азота в постагрогенных почвах практически полностью совпала с динамикой C_{org} с той лишь разницей, что почва молодой залежи под сорной растительностью (ЗМ-10) находилась в абсолютном минимуме по содержанию N_{org} , в то время как по содержанию C_{org} эта почва была близка к пахотной

почве (рис. 1). Отношение С/Н в изученных почвах было достаточно низким, что указывает на общую обогащенность азотом органического вещества изученных почв. Отношение С/Н в верхнем (0-10 см) слое изученных почв варьировало от 3.9-4.4 – в почве пашни, характеризующейся низким поступлением свежего органического субстрата, до 7.6-8.3 – в почве под молодой залежью (ЗМ-10), где поступление свежих органических остатков с широким соотношением С/Н, было, по-видимому, максимально.

Дыхательная активность, или базальное дыхание (V_{basal}) серых лесных почв (слой 0-10 см) в зависимости от типа растительности изменялось в очень широких пределах: от 12.3-12.5 мг С/кг почвы·сут – на пашне и молодой залежи с сорной растительностью до 40.3 мг С/кг почвы·сут – в зрелом кленово-дубовом коренном лесу (рис. 2А). В нижележащем горизонте (10-20 см) дыхательная активность почв заметно снижалась (1.5-4 раза) и изменялась от 7.6 до 10.7 мг С/кг почвы·сут, постепенно увеличиваясь от пашни к лесным участкам. Наиболее заметное снижение базального дыхания с глубиной наблюдалось под лесной растительностью, что, скорее всего, вызвано обеднением горизонта 10-20 см органическим веществом в результате его выщелачивания. Таким образом, при возобновлении естественной растительности, вызванном выведением пахотных почв из сельскохозяйственного использова-

Таблица 1

Свойства серых лесных почв в сукцессионном хроноряду постагрогенных экосистем нагорной дубравы «Лес на Ворскле»

Участок	Обозначение	Горизонт, см	ППВ, %	C_{org} , %	N_{org} , %	С/Н	pH_{KCl}
Пашня, 150 лет	П	0 - 10	51.0	1.82	0.41	4.4	5.00
		10 - 20	49.6	1.64	0.42	3.9	4.87
Залежь молодая, 5-10 лет	ЗМ-10	0 - 10	48.0	1.54	0.20	7.7	4.70
		10 - 20	42.9	1.40	0.18	7.8	4.78
Залежь луговая, 15-20 лет	ЗЛ-20	0 - 10	53.5	1.92	0.27	7.1	4.86
		10 - 20	44.1	1.25	0.22	5.8	5.02
Залежь, 35-40 лет (луговой ценоз)	З_Луг-40	0 - 10	55.6	1.82	0.33	5.5	5.37
		10 - 20	43.0	1.21	0.26	4.6	5.20
Залежь, 35-40 лет (лесной ценоз)	З_Лес-40	0 - 10	57.0	2.31	0.38	6.1	5.10
		10 - 20	48.8	1.43	0.27	5.3	5.09
Лес молодой, 45-50 лет	ЛМ-50	0 - 10	62.8	3.63	0.44	8.3	5.43
		10 - 20	46.4	1.47	0.21	7.1	4.91
Лес, 100 лет	Л-100	0 - 10	59.1	3.21	0.42	7.6	5.93
		10 - 20	51.3	1.97	0.31	6.4	4.95
Лес зрелый, коренной, > 100 лет	ЛЗК	0 - 10	78.7	4.70	0.73	6.4	5.17
		10 - 20	52.7	1.70	0.38	4.4	3.50

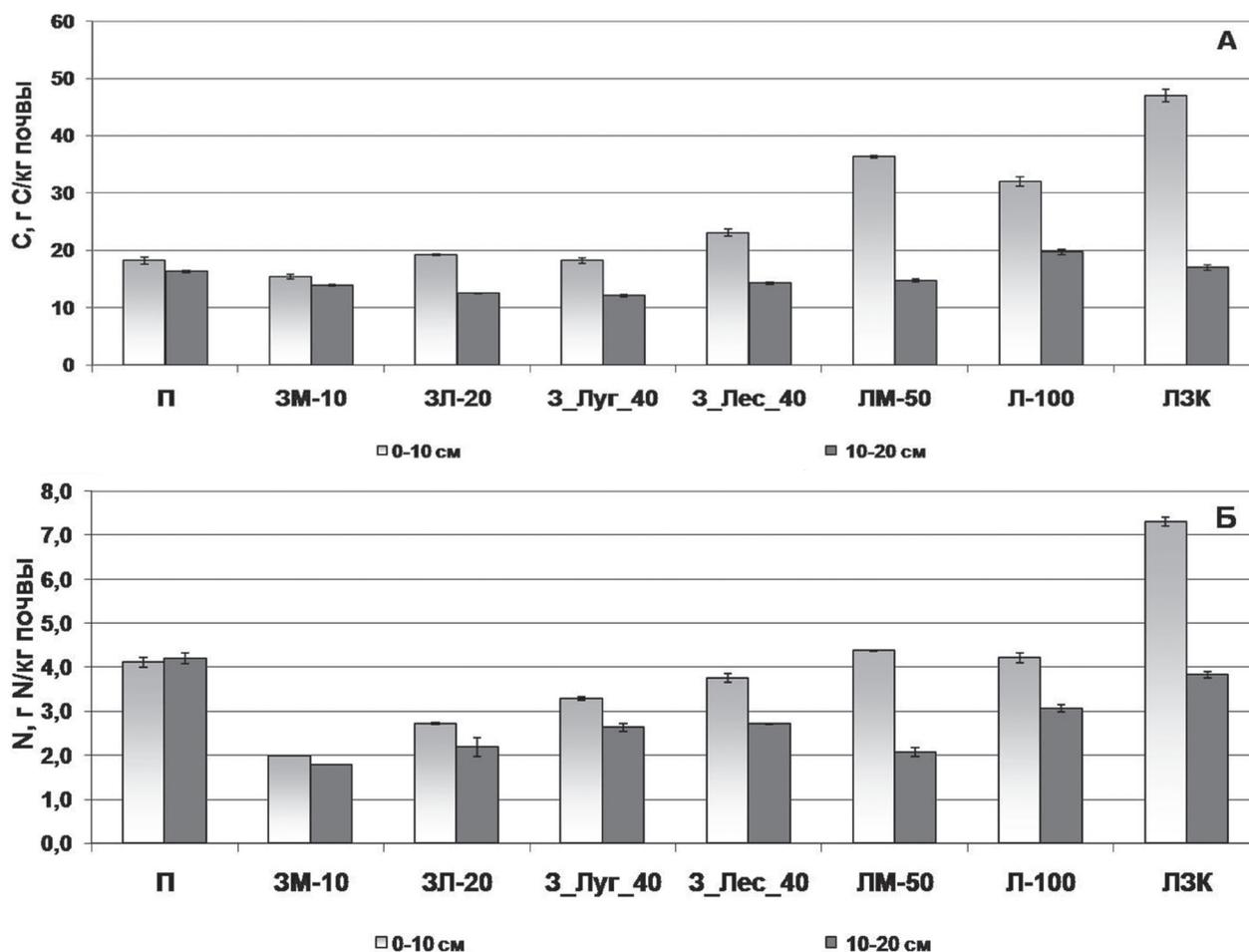


Рис. 1. Содержание органического углерода (А) и азота (Б) в почвах сукцессионного хронорядя: П – пашня, 150 лет; ЗМ-10 – залежь молодая, 5-10 лет; ЗЛ-20 – залежь луговая, 15-20 лет; З_Луг-40 – залежь (луговой ценоз), 35-40 лет; З_Лес-40 – залежь (лесной ценоз), 35-40 лет; ЛМ-50 – лес молодой, 45-50 лет; Л-100 – Лес, 100 лет; ЛЗК – лес зрелый, коренной, > 100 лет. Вертикальные линии показывают величину стандартной ошибки.

ния, дыхательная активность верхних горизонтов почв постепенно увеличивалась и достигала максимальных значений в лесных ценозах (см. рис. 2А). Сходные закономерности в изменении дыхательной активности почв были обнаружены в постагрогенных хронорядях на серых лесных почвах Московской области [6], а так же на дерново-подзолистых почвах Костромской области [1] и обыкновенных черноземах Ростовской области [17].

Углерод, иммобилизованный в микробной биомассе самого верхнего слоя (0-10 см), также как и V_{basal} , весьма чувствительно откликнулся на изменения в землепользовании. Его содержание было минимальным (0.40-0.50 г С/кг почвы) на пашне и в почве под молодой залежью, занятой сорной растительностью. В ходе постагрогенной эволюции, при восстановлении естественных ценозов на бывших пахотных почвах, содержа-

ние C_{mic} увеличивалось пропорционально возрасту залежи, достигая максимальных значений (1.31-1.42 г С/кг почвы) в почвах лесных ценозов. Таким образом, при восстановлении лесной растительности на бывших пахотных почвах произошло существенное увеличение (на 260-380%) пула микробной биомассы в верхнем 0-10 см слое бывшего пахотного горизонта. Исследования, проведенные в других регионах Европейской части России, показали, что в ходе восстановительной сукцессии пахотных почв рост микробной биомассы достигал: 360-480% - в дерново-подзолистых почвах Костромской области [1], 380% - на серых лесных почвах Московской области [6] и 180% - в черноземах обыкновенных Ростовской области [17].

Несколько иным в ходе восстановления пахотных почв было изменение величины C_{mic} в ни-

железащем слое 10-20 см. Оно постепенно увеличивалось от пашни и молодой залежи с сорной растительностью, где величина C_{mic} составляла 0.20-0.22 г С/кг почвы, к липово-дубовому лесу (участок Л-100), с максимальными значениями $C_{mic} = 0.37$ г С/кг почвы (см. рис. 2Б). В почвах молодого леса (ЛМ-50) содержание C_{mic} опускалось до 0.23 г С/кг почв и достигало минимума (0.12 г С/кг почвы) в почвах коренного кленово-дубового леса (см. рис. 2Б). Обнаруженная динамика содержания C_{mic} в нижней части бывшего пахотного горизонта в ходе пост-агрогенной сукцессии серых лесных почв объясняется неблагоприятными для функционирования микробных сообществ значениями рН (3.5-4.9 ед. рН) в этих горизонтах и недостатком в них органических субстратов – содержание C_{org} не превышает 20 г/

кг почвы (рис. 1).

Расчет парных коэффициентов корреляции между изучаемыми параметрами показал, что для горизонта 0-10 см наблюдалась тесная корреляция между величинами V_{basal} и C_{org} ($R^2= 0.98$; $P<0.001$), а так же C_{mic} и C_{org} ($R^2= 0.83$; $P<0.002$). Для обоих почвенных горизонтов (0-10 и 10-20 см) была обнаружена положительная корреляция между величиной C_{mic} и значениями рН ($R^2=0.51-0.52$; $P<0.05$). Оценка множественных регрессионных связей показала, что вариабельность величины C_{mic} в слое 0-10 см пост-агрогенных почв на 99% объясняется содержанием C_{org} , величиной рН и соотношением С/Ν.

Величина метаболического коэффициента qCO_2 в верхнем 10-см слое изученных почв не превышала 0.10, а в нижележащем горизонте ва-

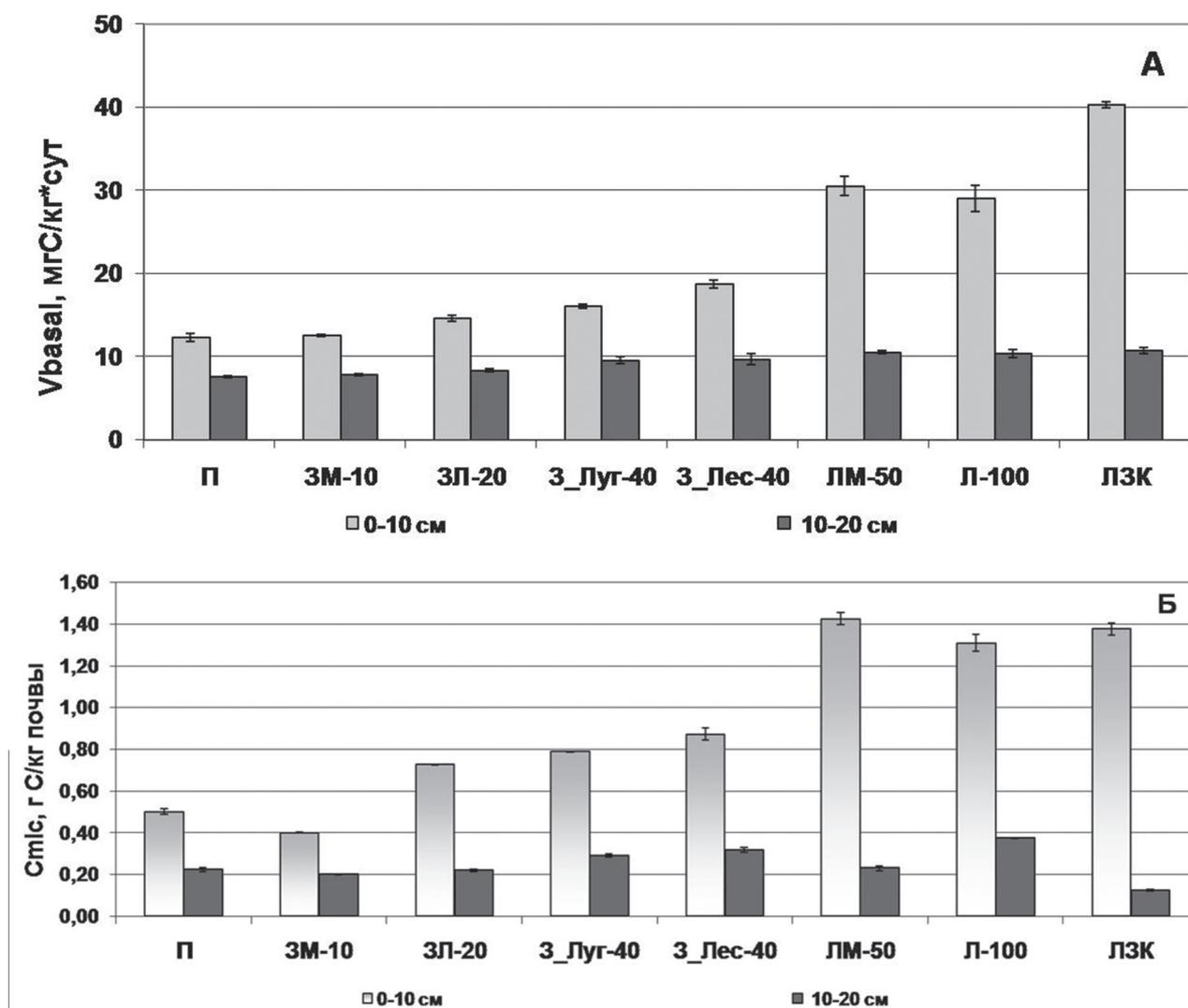


Рис. 2. Дыхательная активность почв (А) и содержание углерода, иммобилизованного в микробной биомассе (Б) почв сукцессионного хроноряда (обозначения объектов те же, что на рис. 1). Вертикальные линии показывают величину стандартной ошибки.

Экофизиологические показатели серых лесных почв в сукцессионном хроноряду постагрогенных экосистем на горной дубравы «Лес на Ворскле»

Обозначение объекта	qCO ₂		Vbasal/C _{орг} ² , мг С/г С почвы/сут		C _{mic} /C _{орг} ² , %	
	0 – 10 см	10 – 20 см	0 – 10 см	10 – 20 см	0 – 10 см	10 – 20 см
П	0.077	0.107	0.67	0.46	2.7	1.4
ЗМ-10	0.099	0.125	0.82	0.56	2.6	1.4
ЗЛ-20	0.063	0.122	0.76	0.67	3.8	1.8
З_Луг-40	0.064	0.104	0.88	0.79	4.3	2.4
З_Лес-40	0.067	0.096	0.81	0.68	3.8	2.2
ЛМ-50	0.067	0.145	0.84	0.72	3.9	1.6
Л-100	0.069	0.088	0.90	0.53	4.1	1.9
ЛЗК	0.092	0.276	0.86	0.63	2.9	0.7

рировала от 0.09 до 0.28 (табл. 2).

Полученные величины qCO₂ свидетельствуют в пользу того, что микробные сообщества верхнего, наиболее гумусированного горизонта испытывают недостаток доступных питательных веществ, обусловленный тем, что субстратов, высвобождающихся в процессе минерализации свежих органических материалов, не достаточно для обеспечения жизнедеятельности того объема микробной биомассы, который здесь активно формируется. В нижних горизонтах микробценозы большинства изученных почв находятся в условиях, близких к оптимальным, как по количеству доступных питательных веществ, так и по температурно-влажностным условиям [15, 16, 4].

Доля C_{mic} в общем количестве органического углерода в верхнем наиболее гумусированном слое изученных почв варьировала от 2.6 до 4.3%, а в горизонте 10-20 см она не превышала 2.4% (см. табл. 2). Можно предположить, что среди постагрогенных почв сукцессионного ряда наименее благоприятными условиями для функционирования микробных сообществ и более низким биоразнообразием характеризуются микробценозы пашни, молодой залежи под сорной растительностью и коренного кленово-дубового леса, поскольку соотношение C_{mic}/C_{орг} в этих почв самое низкое и составляет 2.6-2.9% – в слое 0-10 см и 0.7-1.4% – в слое 10-20 см.

Если скорость базального дыхания (Vbasal) выразить на единицу органического углерода, то получаемая величина (удельная скорость базального дыхания, Vbasal/C_{орг}², мг С/г С_{орг}²/сут) может служить косвенной характеристикой устойчивости органического вещества почв к разложению

и в какой-то степени отражать степень гумифицированности (стабильности) органического вещества [18, 19]. Другими словами, чем ниже значения Vbasal/C_{орг}², тем менее подвержено органическое вещество этих почв минерализации и соответственно более стабильно, и наоборот. Среди изученных почв самым стабильным является органическое вещество пахотных почв, где величина отношения Vbasal/C_{орг}² в верхнем 10-см слое бывшего пахотного горизонта составляет 0.67, а в нижней его части (слой 10-20 см) – 0.46 мг С/г С_{орг}²/сут (см. табл. 2). В ходе постагрогенной эволюции величина Vbasal/C_{орг}² увеличивается, изменяясь на отдельных участках, в зависимости от почвенно-растительных условий, от 0.76 до 0.90 мг С/г С_{орг}²/сут в слое 0-10 см и от 0.53 до 0.79 - в слое 10-20 см.

Перевод пахотных почв в залежные земли, занятые постоянной луговой или лесной растительностью, приводит к прогрессивному накоплению органического углерода в верхней части бывшего пахотного горизонта (слой 0-10 см), что вызывает усиление дыхательной активности почв и заметное увеличение в них микробного пула углерода. В то же время, за счет проявления процессов подзолообразования при развитии лесной растительности, на более поздних стадиях восстановительной сукцессии в нижней части бывшего пахотного горизонта (слой 10-20 см) происходит заметное увеличение кислотности почв, которое влечет за собой снижение микробиологической активности и уменьшение содержания C_{mic}. Среди постагрогенных почв изученного сукцессионного ряда наименее благоприятными условиями для функционирования микробных сообществ и

более низким биоразнообразием характеризуются микробоценозы пашни, молодой залежи под сорной растительностью и коренного кленово-дубового леса. Оценка множественных регрессионных связей показала, что вариабельность величины C_{mic} в изученных почвах на 99% объясняется содержанием C_{org} , величиной рН и соотношением C/N.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект № 15-04-05156а), гранта Научная школа НШ-6123.2014.4 и програм КОНТАКТ II of the Czech Ministry of Education, Youth and Sports.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ананьева Н.Д. Грибная и бактериальная микробная биомасса (селективное ингибирование и продуцирование CO_2 и N_2O дерново-подзолистыми почвами постагрогенных биогеоценозов / Н.Д. Ананьева, Е.В. Стольникова, Е.А. Сусьян, А.К. Ходжаева // Почвоведение. — 2010. — № 11. — С. 1387–1393.
2. Anderson T.H. Physiological analysis of microbial communities in soil: Applications and limitations / T.H. Anderson // Beyond the Biomass (eds. Rits K., Dighton J., and Giller K.E.) — London: J. Wiley & Sons Publ., — 1994. — P. 67–76.
3. Insam H. Relationship between soil organic carbon and microbial biomass on chronosequences of reclamation sites / H. Insam, K.H. Domsch // Microbial Ecology. — 1988. — V.15. — P. 177–188.
4. Anderson T.H. Microbial eco-physiological indicators to assess soil quality / T.H. Anderson // Agric. Ecosyst. Environ. — 2003. — V. 98. — P. 285–293.
5. Insam H. Are the soil microbial biomass and basal respiration governed by the climatic regime / H. Insam // Soil Biol Bioch. — 1990. — Vol.22. — P. 525–532.
6. Потоки и пулы углерода в залежных землях Подмосковья / И.Н. Курганова [и др.] // Почвенные процессы и пространственно-временная организация почв: Сб. научных трудов под ред. В.Н. Кудеярова. — М.: Наука, 2006. — С. 271–284.
7. Баланс углерода в залежных землях Подмосковья/ И.Н. Курганова [и др.] // Почвоведение. — 2007. — № 1. — С. 60–68.
8. Lopes de Gerenyu V. Carbon pools and sequestration in former arable Chernozems depending on restoration period / V. Lopes de Gerenyu, I. Kurganova, Ya. Kuzyakov // Ekologija. — 2008. — V.54. N4. — P. 38–44.
9. Fungal biomass development in a chronosequence of land abandonment / A. van der Wal [et al.] // Soil Boil. Biochem. — 2006. — V. 38. — P. 51–60.
10. Коробова Л.Н. Особенности сукцессии микробных сообществ в черноземах Западной Сибири. Автореф. докт. биол. наук..., Новосибирск, 2007. — 42с.
11. Susyan E.A. Forest succession on abandoned arable soils in European Russia e Impacts on microbial biomass, fungal-bacterial ratio, and basal CO_2 respiration activity / E.A. Susyan, S. Wirth, N.D. Ananyeva, E.V. Stolnikova // Eur J Soil Biol. — 2011. — V. 47. — P. 169–174.
12. Почвы природных зон Русской равнины (Учебное пособие по общему курсу «Почвоведение») / Э.И. Гагарина [и др.]; Под ред. Б.Ф. Апарина. — СПб: Изд-во Санкт-Петербургского ун-та, 2007. — 197 с.
13. Вадюнина А.Ф. Методы исследования физических свойств почв / А.Ф. Вадюнина, З.А. Корчагина – М.: Агропромиздат. 1986. — 416 с.
14. Anderson J. A physiological method for the quantitative measurement of microbial biomass in soils / J. Anderson, K.H. Domsch // Soil Biol. Biochem. — 1978. — Vol. 10. — P. 215–221.
15. Anderson T.H. The metabolic quotient for CO_2 (qCO_2) as a specific activity parameter to assess the effects of environmental conditions, such as pH, on the microbial biomass of forest soils / T.H. Anderson, K.H. Domsch // Soils Biol. Biochem. — 1993. — Vol. 25. — P. 393–395.
16. Благодатская Е.В. Характеристика состояния микробного сообщества по величине метаболического коэффициента / Е.В. Благодатская, Н.Д. Ананьева, Т.Н. Мякшина // Почвоведение. — 1995. — № 2. — С. 205–210.
17. Изменение пулов органического углерода при самовосстановлении пахотных черноземов / В.О. Лопес де Гереню [и др.] // Агрохимия. — 2009. — № 5. — С. 5–12.
18. Charro E. Degradability of soils under oak and pine in Central Spain / E. Charro, J. F. Gallardo, A. Moyano // Eur J Forest Res. — 2010. — Vol. 129. — P. 83–91.
19. Rovira P. Active and passive organic matter fractions in Mediterranean forest soils / P. Rovira, M. Jorba, J. Romanyà // Biol. Fert. Soils. — 2010. — Vol. 46. — P. 355–369.

Мостовая Анна Сергеевна — студентка 3 курса, факультет Почвоведения, агрохимии и экологии, кафедра экологии Российский государственный аграрный университет МСХА имени К.А. Тимирязева; e-mail: ankhen2009@yandex.ru

Курганова Ирина Николаевна — внс, дбн., институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН; e-mail: ikurg@mail.ru

Лопес де Гереню Валентин Овидиович — внс, ктн, институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН; E-mail: vlopes@mail.ru

Хохлова Ольга Сергеевна — внс, дгн, институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН

Русаков Алексей Валентинович, — дбн, факультет Географии и геоэкологии Санкт-Петербургского государственного университета

Шаповалов Александр Семенович — директор, ФГБУ «Государственный заповедник «Белогорье»

Mostovaya Anna S. — student, Faculty of soil science, agricultural chemistry and ecology, Russian State Agrarian University - Timiryazev Moscow Agricultural Academy; e-mail: ankhen2009@yandex.ru

Kurganova Irina N. — Leading researcher, Doctor of Biological Sciences ISSP; e-mail: ikurg@mail.ru

Lopes de Gerenyu Valentin O. — Leading researcher, Candidate of Technical Sciences ISSP; e-mail: vlopes@mail.ru

Khokhlova Olga S. — Leading researcher, Doctor of Geographic Sciences ISSP

Rusakov Aleksey V. — Doctor of Biological Sciences Saint Petersburg State University

Shapovalov Aleksandr S. — director, FSBI State Nature Reserve «Belogorie»