

В.И. Кулагина, Л.М. Сунгатуллина, С.С. Рязанов, Р.Р. Шагидуллин,
А.Б. Александрова, Э.Х. Рупова

Институт проблем экологии и недропользования АН РТ, viksoil@mail.ru

МИКРОБНАЯ БИОМАССА И ФЕРМЕНТАТИВНАЯ АКТИВНОСТЬ ЛЕСНЫХ ПОЧВ РАИФСКОГО УЧАСТКА ВОЛЖСКО-КАМСКОГО ЗАПОВЕДНИКА

В статье приведены результаты определения запасов микробного углерода, показателей активности каталазы и инвертазы в почвах разновозрастных лесов Раифского участка Волжско-Камского государственного природного биосферного заповедника. Содержание микробного углерода в верхних горизонтах почв колеблется от 0.44 до 1.24 мгС/г, а в слое 0–30 см его запасы варьируют от 1.33 до 2.69 тС/га. Относительное содержание микробного углерода от общего органического углерода почвы с глубиной увеличивается. В гумусовых горизонтах она составляет 2.5–4.4%, в иллювиальных достигает 14–70%. Минимальные значения содержания углерода микробной биомассы, инвертазной и каталазной активности наблюдаются в почвах под сосняками, в почвах под лиственными лесами эти показатели выше. Показана корреляционная связь между количеством микробной биомассы в почвах и активностью инвертазы ($r=0.87$), активностью каталазы и гумуса (0.73), активностью каталазы и инвертазы (0.79). Средняя корреляционная зависимость отмечена между содержанием микробного углерода и гумуса в верхних горизонтах почв ($r=0.53$), активностью инвертазы и содержанием гумуса (0.48), активностью каталазы и содержанием микробного углерода (0.60).

Ключевые слова: почва; микробная биомасса; инвертаза; каталаза; запасы микробного углерода.

DOI: <https://doi.org/10.24852/2411-7374.2023.2.49.56>

Введение

Микробная биомасса почв и почвенные ферменты играют важную роль в круговороте веществ в лесных экосистемах, отвечают за разложение поступающих в почву органических остатков, образование гумуса и поступление парниковых газов из почв в атмосферу (Lin et al., 1999; Стольникова и др., 2011; Хазиев, 2018). В связи с усилением интереса к оценке роли лесов в процессах секвестрации и эмиссии углерода, определение запасов микробной биомассы и показателей активности ферментов в почвах лесных экосистем приобретают особую значимость.

Цель работы – определить запасы микробного углерода, соотношение микробной биомассы и органического углерода, а также их взаимосвязь с ферментативной активностью почв лесных биогеоценозов Волжско-Камского государственного природного биосферного заповедника (ВКГПБЗ).

Материалы и методы исследования

Материалом для исследований послужили пробы почв, отобранные в мае–июне 2022 г. на шести учетных площадках Раифского участка

ВКГПБЗ. Участок расположен в Зеленодольском районе Республики Татарстан, занимает площадь 5921.2 га. В структуре почвенного покрова преобладают песчаные и легкосуглинистые разновидности дерново-подзолистых почв. По данным лесотаксации, на территории Раифского участка заповедника преобладают сосняки (3552.0 га), липняки (1003.6 га) и березняки (885.5 га). Меньшие площади занимают ельники, тополевики, ольшанники, кленовики, тальники, осинники. Раифский лес – старовозрастный. Молодняки занимают до 1.5% от общей его площади.

Пробные площадки были заложены с учетом преобладающих пород и возрастных групп деревьев (табл. 1). На каждой из площадок выполнен отбор проб почв из гумусовых горизонтов методом конверта. В центре площадки закладывали почвенный разрез, из которого образцы отбирали по генетическим горизонтам.

Углерод микробной биомассы ($C_{\text{мик}}$) в почвах определяли регидратационным способом по Т.П. Мирчинку и Н.С. Паникову, активность каталазы – методом Джонсона и Темпле, активность инвертазы – по Т.А. Щербакову, гумус – по И.В. Тю-

Таблица 1. Характеристика биогеоценозов пробных площадок
Table 1. Characteristics of biogeocenoses of test sites

Пробная площадка Trial site	Квартал Quarter	Тип биогеоценоза Type of biogeocenosis	Группа возраста Age group	Почва Soil
1	25	Сосняки	Перестойные	Дерново-подзолистая псевдофибровая песчаная
2	81	Липняки	Перестойные	Дерново-подзолистая легкосуглинистая
3	150	Березняки	Перестойные	Дерново-подзолистая контактно- глубокоглееватая легкосуглинистая
4	174	Сосняки	Средневозрастные	Дерново-подзолистая слабодифференцированная песчаная
5	151	Липняки	Средневозрастные	Дерново-подзолистая легкосуглинистая
6	151	Березняки	Средневозрастные	Дерново-подзолистая легкосуглинистая

рину. Степень обогащенности почв ферментами оценивали по шкалам Д.Г. Звягинцева (1978).

Лабораторные исследования гумусовых горизонтов проводили в пяти повторностях, минеральных – в двух.

Запас углерода микробной биомассы рассчитывали для верхнего 30-см слоя почвы, лесная подстилка в расчеты не включалась.

Показатели вариации исследуемых почвенных свойств рассчитывали только для гумусовых горизонтов. Для оценки различий между выборками использовали дисперсионный анализ (ANOVA) с последующим апостериорным сравнением групповых средних при помощи критерия Тьюки ($\alpha=0.05$). Для учета взаимосвязей между показателями использован корреляционный анализ по Спирмену ($\alpha=0.05$).

Результаты и их обсуждение

Содержание микробного углерода ($C_{\text{мик}}$) в гумусовых горизонтах почв Райфского участка заповедника изменялось от 0.44 до 1.24 мгС/г (табл. 2), эти значения в целом можно обозначить как характерные для дерново-подзолистых почв лесных биоценозов (Стольников и др., 2011; Курганова и др., 2022; Паринкина и др., 1995). Коэффициент вариации показателя на пробных площадках изменялся от 21.3% до 90.7%.

Микробная биомасса лесных почв тесно связана с их породным составом (Дубровина и др., 2021; Мостовая и др., 2015). В перестойных лесах ВКГПБЗ средняя микробная биомасса гумусовых горизонтов возрастала в ряду: сосняки – липняки – березняки (табл. 2). Относительное накопление

$C_{\text{мик}}$ в почвах под березняками может быть связано с их избыточной увлажненностью, признаком которой является глееватость нижних горизонтов. Статистически значимые различия отмечены между микробной биомассой почв под березняками и сосняками и ($p=0.002$), березняками и липняками ($p=0.038$).

В гумусовых горизонтах почв средневозрастных лесов хорошо заметна тенденция к увеличению $C_{\text{мик}}$ в ряду сосняки – березняки – липняки (табл. 2), однако наблюдаемые различия статистически не значимы.

В почвах под перестойными березняками $C_{\text{мик}}$ оказался в 2.5 раза выше, чем под средневозрастными ($p<0.01$). Для двух других типов леса $C_{\text{мик}}$ в почвах разновозрастных лесов находится примерно на одном уровне. Ранее для еловых, липово-дубовых и смешанных лесов было показано, что после достижения ими среднего возраста микробная биомасса почв, наоборот, снижается (Дубровина и др., 2021; Мостовая и др., 2015; Курганова и др., 2022).

Вполне ожидаемым результатом оказалось наличие тесной взаимосвязи между микробной биомассой и содержанием органического углерода в гумусовых горизонтах почв ($r=0.53$). Причем в пределах одного почвенного профиля взаимосвязь между указанными свойствами была еще более выражена: коэффициент корреляции для исследованных разрезов колебался от 0.89 до 0.98.

Вниз по профилю содержание гумуса и микробной биомассы почв закономерно снижается (табл. 2). На этом фоне доля углерода микробной биомассы в общем пуле органического углерода

Таблица 2. Углерод микробной биомассы и его доля в общем органическом углероде почв
Table 2. Carbon of microbial biomass and its share in the total organic carbon of soils

Горизонт, глубина, см Horizon, depth, cm	Общий углерод, мг/г Total carbon, mg/g	Микробный углерод Microbial carbon			
		Мин. – макс., мгC/г Min – max, mgC/g	Среднее содержание, мгC/г Average content, mgC/g	Доля от общего, % Share of the total, %	Запас в слое 30 см, тC/га Stock in 30 cm layer, tC/ha
Пробная площадка 1. Сосняк перестойный Trial site 1. Overmature pine forest					
A1 3–12	12.80	0.40–0.72	0.56	4.4	1.33
A2B 12–20	4.20	0.38–0.43	0.41	9.8	
B1 20–49	2.60	0.18–0.23	0.21	7.9	
B2 49–105	0.40	0.24–0.32	0.28	69.6	
Пробная площадка 2. Липняк перестойный Trial site 2. Overmature lime tree					
A1 2–18	25.00	0.53–1.29	0.77	3.1	1.39
A2 18–38	3.88	0.07–0.30	0.19	4.8	
A2B 38–46	1.68	0.14–0.18	0.16	9.6	
B1 46–75	2.09	0.16–0.18	0.17	7.9	
B2 75–100	2.03	0.32–0.36	0.34	16.8	
Пробная площадка 3. Березняк перестойный Trial site 3. Overmature birch forest					
A1 4–19	20.53	0.79–1.64	1.24	6.0	2.62
A2 19–47	2.03	0.49–0.58	0.54	26.6	
Пробная площадка 4. Сосняк средневозрастный Trial site 4. Middle-aged pine forest					
A1 5–14	11.4	0.19–1.01	0.44	3.9	1.39
A2 14–23	0.87	0.34–0.38	0.36	41.4	
B 23–65	1.16	0.27–0.40	0.34	29.3	
Пробная площадка 5. Липняк средневозрастный Trial site 5. Middle-aged lime tree					
A1 3–18	30.97	0.27–1.43	0.78	2.5	2.25
A2 18–40	2.67	0.47–0.48	0.48	17.9	
B 40–80	1.22	0.26–0.32	0.29	24.0	
Пробная площадка 6. Березняк средневозрастный Trial site 6. Middle-aged birch forest					
A1 3–18	12.29	0.34–0.68	0.54	4.4	1.34
A2 18–45	3.48	0.21–0.26	0.24	6.9	
B 45–83	1.74	0.24–0.25	0.24	13.8	

почв возрастает от нескольких процентов в гумусовых горизонтах до 14–70% в иллювиальных. Такой характер распределения микробного углерода согласуется с результатами Е.В. Стольниковой (Стольникова и др., 2011) и О.А. Фомичевой (Фомичева и др., 2006) и, по-видимому, связан с увеличением доли лабильных органических веществ, наиболее пригодных для питания микроорганизмов, в иллювиальных горизонтах дерново-подзолистых почв.

В абсолютном выражении запасы $C_{\text{мик}}$ в дерново-подзолистых почвах Раифского участка ВКГПБЗ (табл. 2) незначительны. При этом они в 1.5–5 раз выше, чем в дерново-подзолистых почвах лесов Карелии (Дубровина и др., 2021), что, по-видимому, связано с климатическими особенностями сравниваемых территорий.

Оценивая показатели активности ферментов,

следует отметить, что активность инвертазы в гумусовых горизонтах исследуемых почв проявляется более сильную корреляционную зависимость с содержанием микробного углерода ($r=0.87$), чем гумуса ($r=0.48$). Это свидетельствует о её преимущественно микробном, а не растительном происхождении (Гродницкая и др., 2016).

В пределах почвенного профиля взаимосвязь между содержанием гумуса и активностью инвертазы выражена сильнее ($r=0.98–0.99$), что в целом согласуется с литературными данными (Гродницкая и др., 2016; Мищенко и др., 2021; Казеев и др., 2012).

Инвертаза является катализатором процессов гидролиза поли- и дисахаридов и принимает активное участие в разложении лабильного гумуса (Казеев и др., 2012). В почвах Раифского участка активность инвертазы под сосняками ниже,

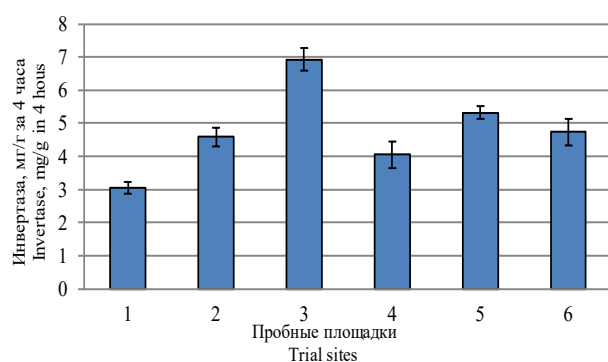


Рис. 1. Активность инвертазы в гумусовых горизонтах почв ($M \pm m$):

1 – сосняк перестойный, 2 – липняк перестойный, 3 – березняк перестойный, 4 – сосняк средневозрастный, 5 – липняк средневозрастный, 6 – березняк средневозрастный

Fig. 1. Invertase enzyme activity in the humus horizons ($M \pm m$):

1 – overmature pine forest, 2 – overmature lime forest, 3 – overmature birch forest, 4 – middle-aged pine forest, 5 – middle-aged linden forest, 6 – middle-aged birch forest

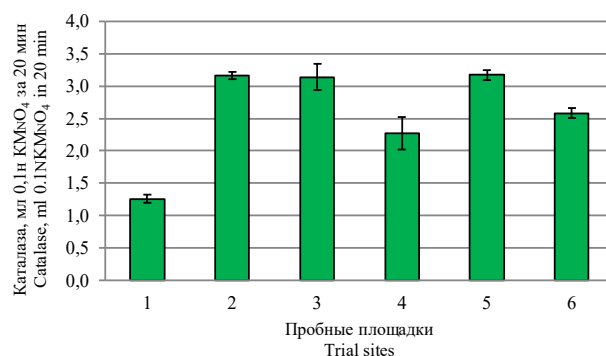


Рис. 2. Активность каталазы в гумусовых горизонтах почв ($M \pm m$):

1 – сосняк перестойный, 2 – липняк перестойный, 3 – березняк перестойный, 4 – сосняк средневозрастный, 5 – липняк средневозрастный, 6 – березняк средневозрастный

Fig. 2. Catalase activity in the humus horizons of the soils ($M \pm m$)

1 – overmature pine forest, 2 – overmature lime forest, 3 – overmature birch forest, 4 – middle-aged pine forest, 5 – middle-aged linden forest, 6 – middle-aged birch forest

чем под лиственными лесами (рис. 1). Согласно оценочным шкалам Д.Г. Звягинцева (1978), активность инвертазы на всех пробных площадках относилась к категории «средняя».

Результаты двухфакторного дисперсионного анализа с последующим попарным сравнением

значений показали, что, в отличие от средневозрастных лесов, в почвах перестойных лесов различия в активности инвертазы были статистически значимы (табл. 3). Между лесами одного породного состава, но разного возраста, статистически значимая разница в активности инвертазы

Таблица 3. Результаты попарного сравнения значений согласно критерию Тьюки по активности инвертазы в почвах пробных площадок (p -значение)

Table 3. Results of pairwise comparison of the values according to the Tukey test for the activity of invertase in the soils of the test plots (p -value)

Пробные площадки Trial sites	Сосняк перестойный Overmature pine forest	Липняк перестойный Overmature lime forest	Березняк перестойный Overmature birch forest	Сосняк средневозрастный Middle-aged pine forest	Липняк средневозрастный Middle-aged linden forest	Березняк средневозрастный Middle-aged birch forest
Сосняк перестойный Overmature pine forest	—	0.035*	< 0.001*	0.472	< 0.001*	0.016*
Липняк перестойный Overmature lime forest	0.035*	—	< 0.001*	0.881	0.524	0.999
Березняк перестойный Overmature birch forest	< 0.001*	< 0.001*	—	< 0.001*	0.006*	< 0.001*
Сосняк средневозрастный Middle-aged pine forest	0.472	0.881	< 0.001*	—	0.121	0.731
Липняк средневозрастный Middle-aged linden forest	< 0.001*	0.524	0.006*	0.121	—	0.739
Березняк средневозрастный Middle-aged birch forest	0.016*	0.999	< 0.001*	0.731	0.739	—

* статистически значимая разница

* statistically significant difference

Таблица 4. Результаты попарного сравнения значений согласно критерию Тьюки по активности каталазы в почвах пробных площадок (*p*-значение)
 Table 4. Results of pairwise comparison of the values according to the Tukey test for the catalase activity in the soils of the test plots (*p*-value)

Пробные площадки Trial sites	Сосняк перестойный Overmature pine forest	Липняк перестойный Overmature lime forest	Березняк перестойный Overmature birch forest	Сосняк сред- невозрастный Middle-aged pine forest	Липняк сред- невозрастный Middle-aged linden forest	Березняк сред- невозрастный Middle-aged birch forest
Сосняк перестойный Overmature pine forest	-	< 0.001*	< 0.001*	< 0.001*	< 0.001*	< 0.001*
Липняк перестойный Overmature lime forest	< 0.001*	-	0.999	< 0.001*	0.999	0.024*
Березняк перестойный Overmature birch forest	< 0.001*	0.999	-	< 0.001*	0.999	0.057
Сосняк средневозрастный Middle-aged pine forest	< 0.001*	< 0.001*	< 0.001*	-	< 0.001*	0.704
Липняк средневозрастный Middle-aged linden forest	< 0.001*	0.999	0.999	< 0.001*	-	0.038*
Березняк средневозрастный Middle-aged birch forest	< 0.001*	0.024*	0.057	0.704	0.038*	-

* статистически значимая разница

* statistically significant difference

наблюдалась только у березняков.

Каталаза участвует в расщеплении перекиси водорода, появляющейся в почвах в результате процесса дыхания (Казеев и др., 2012). Ее активность в гумусовых горизонтах почв лесных биоценозов Раифы тесно связана с активностью инвертазы ($r=0.79$), а также показателями содержания общего ($r=0.73$) и микробного углерода ($r=0.60$), что согласуется с литературными данными (Завалишин и др., 2018; Мищенко и др., 2021; Магда и др., 2022).

В почвах лиственных лесов активность каталазы оказалась установлена на уровне, примерно в 2 раза выше, чем в почвах сосновых лесов (рис. 2). Для перестойных лесов наименьшие показатели активности характерны для почв сосняков, их различия с березовыми и липовыми лесами были статистически значимы (табл. 4). Последние по активности каталазы не имели друг с другом статистически значимых различий. В ряде исследований (Перминова и др., 2018; Cheng et al., 2013) также была отмечена более высокая активность

каталазы в минеральных горизонтах почв лиственных лесов по сравнению с хвойными.

В почвах, развивающихся под средневозрастными лесами, максимальная активность каталазы отмечается под липняками (рис. 2); отличия с показателями каталазной активности почв средневозрастных березовых и сосновых лесов были статистически значимы (табл. 4). Что касается активности каталазы в почвах лесов различных возрастных групп, но одного породного состава, то различия между ними были обнаружены только для почв сосняков.

Заключение

Содержание углерода микробной биомассы в гумусовых горизонтах дерново-подзолистых почв Раифского участка Волжско-Камского заповедника колеблется от 0.44 до 1.24 мгС/г. Его запасы в слое 0–30 см варьируют от 1.33 до 2.62 тС/га, что для данного типа почв можно оценивать как значительные.

Доля микробного углерода в гумусовых гори-

зонтах почв изменяется в пределах от 2.5 до 4.4%; в иллювиальных горизонтах она возрастает до 13.8–69.6%, что может быть связано с накоплением в средней части профиля лабильного гумуса, хорошо поддающегося микробному разложению.

Активность инвертазы, каталазы и содержание углерода микробной биомассы в почвах под сосняками ниже, чем под березняками и липняками, что может быть связано, как с породным составом леса, так и с более легким гранулометрическим составом почв под сосняками.

Активность инвертазы проявляет более тесную корреляционную зависимость с микробной биомассой почв, чем с содержанием в них гумуса ($r=0.87$ и 0.48 , соответственно), что указывает на ее преимущественно микробное происхождение. Активность каталазы, наоборот, коррелирует с содержанием гумуса, чем с углеродом микробной биомассы (коэффициент корреляции соответственно 0.73 и 0.60). Средняя, а не высокая, корреляционная зависимость с углеродом микробной биомассы, вероятно, связана с тем, что источником значительной доли каталазы в почве являются выделения корней растений.

Список литературы

1. Завалишин С.И., Карелина В.С. Зависимость активности почвенных ферментов от физико-химических свойств дерново-подзолистых почв трансформированных лесных угодий // Вестник Алтайского государственного аграрного ун-та. 2018. №6. С. 47–52.
2. Звягинцев Д.Г. Биологическая активность почв и шкалы для оценки некоторых ее показателей // Почвоведение. 1978. №6. С. 48–54.
3. Гродницкая И.Д., Кузнецова Г.В., Антонов Г.И., Кондакова О.Э. Влияние географических культур кедр сибирского и кедр корейского на биологические свойства почвы юга Красноярского края // Лесоведение. 2016. №2. С. 135–147.
4. Дубровина И.А., Мошкина Е.В., Сидорова В.А., Туюнен А.В., Карпечко А.Ю., Геникова Н.В., Медведева М.В., Мамай А.В., Толстогузов О.В., Кулакова Л.М. Влияние типа землепользования на свойства почв и структуру экосистемных запасов углерода в среднетаежной подзоне Карелии // Почвоведение. 2021. №11. С. 1392–1406. doi: 10.31857/S0032180X21110058.
5. Казеев К.Ш., Колесников С.И. Биодиагностика почв: методология и методы исследований. Ростов-на-Дону: Изд-во Южного федерального ун-та, 2012. 260 с.
6. Курганова И.Н., Лопес де Гереню В.О., Ипп С.Л., Каганов В.В., Хорошаев Д.А., Рухович Д.И., Сумин Ю.В., Дурманов Н.Д., Кузяков Я.В. Пилотный карбоновый полигон в России: анализ запасов углерода в почвах и растительности // Почвы и окружающая среда. 2022. Т. 5, № 2. С. 1–16. doi: 10.31251/pos.v5i2.169.
7. Магда Е.В., Мазиров М.А., Зинченко М.К. Активность каталазы и инвертазы при различной интенсивности механической обработки почвы // Владимирский земледелец. 2022. №2. С. 24–30. doi:10.24412/2225-2584-2022-2-24-30
8. Мищенко Н.В., Курочкин И.Н., Чугай Н.В., Кулагина Е.Ю. Оценка состояния почв необрабатываемых сельскохозяйственных угодий по показателям ферментативной актив-

ности, гумуса и тяжелых металлов // Вестник НВГУ. 2021. №2. С. 106–111. <https://doi.org/10.36906/2311-4444/21-2/14>.

9. Мостовая А.С., Курганова И.Н., Лопес де Гереню В.О., Хохлова О.С., Русаков А.В., Шаповалов А.С. Изменение микробиологической активности серых лесных почв в процессе естественного лесовосстановления // Вестник ВГУ. Сер.: Химия. Биология. Фармация. 2015. №2. С. 64–72.

10. Паринкина О.М., Ключева Н.В. Микробиологические аспекты уменьшения естественного плодородия почв при их сельскохозяйственном использовании // Почвоведение. 1995. №5. С. 573–581.

11. Перминова Е.М., Лаптева Е.М. Каталазная активность подзолистых почв коренного ельника черничного и разновозрастных лиственно-хвойных сообществ // Аграрный вестник Урала. 2018. №5. С. 44–53.

12. Полянская Л.М., Суханова Н.И., Чакмазян К.В., Звягинцев Д.Г. Особенности изменения структуры микробной биомассы почв в условиях залежи // Почвоведение. 2012. №7. С. 792–798.

13. Стольникова Е.В., Ананьева Н.Д., Чернова О.В. Микробная биомасса, ее активность и структура в почвах старовозрастных лесов европейской территории России // Почвоведение. 2011. №4. С. 479–494.

14. Фомичева О.А., Полянская Л.М., Никонов В.В., Лукина Н.В., Орлова М.А., Исаева Л.Г., Звягинцев Д.Г. Численность и биомасса почвенных микроорганизмов в коренных старовозрастных среднетаежных еловых лесах // Почвоведение. 2006. №12. С. 1469–1478.

15. Хазиев Ф.Х. Экологические связи ферментативной активности почв // Экобиотех. 2018. Т. 1, №2. С. 80–92. doi: 10.31163/2618-964X-2018-1-2-80-92.

16. Lin Q., Brookes P.C. Comparison of substrate induced respiration, selective inhibition and biovolume measurements of microbial biomass and its community structure in unamended, ryegrass-amended, fumigated and pesticide-treated soils // Soil biology and biochemistry. 1999. Vol. 31, No 14. P. 1999–2014.

17. Cheng F., Peng X., Zhao P., Yuan J., Zhong C., Cheng Y., Cui C., Zhang Sh. Soil microbial biomass, basal respiration and enzyme activity of main forest types in the Qinling mountains // PLoS ONE. 2013. №8(6). e67353. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0067353>.

References

1. Zavalishin S.I., Karelina V.S. Zavisimost' aktivnosti pochvennykh fermentov ot fiziko-khimicheskikh svoystv der-novo-podzolistykh pochv transformirovannykh lesnykh ugodiy [Dependence of soil enzymes activity on physical and chemical properties of soddy-podzolic soils of transformed forest lands] // Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta [Bulletin of the Altai State Agrarian University]. 2018. No 6. P. 47–52.
2. Zvyaginцев D.G. Biologicheskaya aktivnost' pochv i shkaly dlya ocenki nekotorykh ee pokazatelej [Biological activity of soils and scales for assessing some of its indicators] // Pochvovedenie [Soil science]. 1978. No 6. P. 48–54.
3. Grodnitskaya I.D., Kuznetsova G.V., Antonov G.I., Kondakova O.E. Vliyaniye geograficheskikh kul'tur kedra sibirskogo i kedra koreyskogo na biologicheskiye svoystva pochvy yuga Krasnoyarskogo kraia [The effect of provenance trial plantations of Siberian pine and Korean pine on biological properties of soils in the south of the Krasnoyarsk Krai] // Lesovedeniye [Forestry]. 2016. No 2. P. 135–147.
4. Dubrovina I.A., Sidorova V.A., Moshkina E.V., Tuyunen A.V., Karpechko A.Y., Genikova N.V., Medvedeva M.V., Mamai A.V., Tolstoguzov O.V., Kulakova L.M. Vliyaniye tipa zemlepol'zovaniya na svoystva pochv i strukturu ekosistemnykh za-

pasov ugleroda v srednetayezhnoy podzone Karelii [The impact of land use on soil properties and the structure of ecosystem carbon stocks in the middle taiga subzone of Karelia] // *Pochvovedeniye* [Soil science]. 2021. Vol. 54. No 11. P. 1756–1769. doi: 10.1134/S1064229321110053.

5. Kazeev K.Sh., Kolesnikov S.I. Biodiagnostika pochv: metodologiya i metody issledovaniy [Soil biondiagnostics: methodology and research methods]. Rostov-na-Donu: Yuzhniy federal'niy universitet, 2012. 260 p.

6. Kurganova I.N., Lopes de Gerenyu V.O., Ipp S.L., Kaganov V.V., Khoroshaev D.A., Rukhovich D.I., Sumin Yu.V., Durmanov N.D., Kuzyakov Ya.V. Pilotnyy karbonovyy poligon v Rossii: analiz zapasov ugleroda v pochvakh i rastitel'nosti [Pilot carbon polygon in Russia: analysis of carbon stocks in soils and vegetation] // *Pochvy i okruzhayushchaya sreda* [The Journal of Soils and Environment]. 2022. No 2. P. 1–16. doi: 10.31251/pos.v5i2.169/

7. Magda E.V., Mazirov M.A., Zinchenko M.K. Aktivnost' katalazy i invertazy pri razlichnoy intensivnosti mekhanicheskoy obrabotki pochvy [Activity of catalase and invertase by different tillage intensity soil] // *Vladimirskiy zemledelets* [Vladimir agronomist]. 2022. No 2. P. 24–30. doi: 10.24412/2225-2584-2022-2-24-30.

8. Mischenko N.V., Kurochkin I.N., Chugay N.V., Kulagina E.Yu. Otsenka sostoyaniya pochv neobrabatyvayemykh sel'skokhozyaystvennykh ugodiy po pokazatelyam fermentativnoy aktivnosti, gumusa i tyazhelykh metallov [Assessment of the State of Soils of Uncultivated Agricultural Lands by Indicators of Enzymatic Activity, Humus, and Heavy Metals] // *Vestnik Nizhnevolzhskogo gosudarstvennogo universiteta* [Bulletin of Nizhnevolzhsk State University]. 2021. No 2. P. 106–111. https://doi.org/10.36906/2311-4444/21-2/14/

9. Mostovaya A.S., Kurganova I.N., Lopes De Gerenyu V.O., Khokhlova O.S., Rusakov A.V., Shapovalov A.S. Izmeneniye mikrobiologicheskoy aktivnosti serykh lesnykh pochv v protsesse yestestvennogo lesovosstanovleniya [Changes in the microbiological activity of gray forest soils during the natural reforestation] // *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Khimiya. Biologiya. Farmatsiya* [Bulletin of the Voronezh State University. Series: Chemistry. Biology. Pharmacy]. 2015. No 2. P. 64–72.

10. Parinkina O.M., Klyueva N.V. Mikrobiologicheskiye aspekty umen'sheniya yestestvennogo plodorodiya pochv pri ikh sel'skokhozyaystvennom ispol'zovanii [Microbiological aspects of reducing the natural fertility of soils during their agricultural use] // *Pochvovedeniye* [Soil science]. 1995. No 5. P. 573–581.

11. Perminova E.M., Lapteva E.M. Katalaznaya aktivnost' podzolistykh pochv korennoy yel'nika chernichnogo i raznovozrastnykh listvenno-khvoynykh soobshchestv [Catalase activity of podzolic soils of indigenous blueberry spruce forest and different age deciduous-coniferous communities] // *Agrarnyy vestnik Urals* [Agrarian bulletin of the Urals]. 2018. No 5. P. 44–53.

12. Polyanskaya L.M., Sukhanova N.I., Chakmazyan K.V., Zvyagintsev D.G. Osobennosti izmeneniya struktury mikrobnoy biomassy pochv v usloviyakh zalezhi [Peculiarities of changes in the structure of soil microbial biomass under fallow conditions] // *Pochvovedeniye* [Soil science]. 2012. No 7. P. 792–798.

13. Stolnikova E.V., Ananyeva N.D., Chernova O.V. Mikrobная biomassa, yeye aktivnost' i struktura v pochvakh starovozrastnykh lesov yevropeyskoy territorii Rossii [Microbial biomass, its activity and structure in soils of old-growth forests in European Russia] // *Pochvovedeniye* [Soil science]. 2011. No 4. P. 479–494.

14. Fomicheva O.A., Polyanskaya L.M., Nikonov V.V., Lukina N.V., Orlova M.A., Isaeva L.G., Zvyagintsev D.G. Chislennost' i biomassa pochvennykh mikroorganizmov v korennykh starovozrastnykh srednetayezhnykh yelovykh lesakh [Number

and biomass of soil microorganisms in primary old-growth middle-taiga spruce forests] // *Pochvovedeniye* [Soil science]. 2006. No 12. P. 1469–1478.

15. Khaziev F.Kh. Ekologicheskiye svyazi fermentativnoy aktivnosti pochv [Ecological relations of the enzymatic activity of soils] // *Ekobiotekh* [Ecobiotech journal]. 2018. Vol. 1, No 2. P. 80–92. doi: 10.31163/2618-964X-2018-1-2-80-92

16. Lin Q., Brookes P.C. Comparison of substrate induced respiration, selective inhibition and biovolume measurements of microbial biomass and its community structure in unamended, ryegrass-amended, fumigated and pesticide-treated soils // *Soil biology and biochemistry*. 1999. Vol. 31, No 14. P. 1999–2014.

17. Cheng F., Peng X., Zhao P., Yuan J., Zhong C., Cheng Y., Cui C., Zhang Sh. Soil microbial biomass, basal respiration and enzyme activity of main forest types in the Qinling mountains // *PLoS ONE*. 2013. No 8(6). e67353. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0067353.

Kulagina V.I., Sungatullina L.M., Ryazanov S.S., Shagidullin R.R., Alexandrova A.B., Rupova E.H. **Microbial biomass and enzymatic activity of forest soils in the Raifa area of the Volzhsko-Kamsky reserve.**

The article presents the results of determining the reserves of microbial carbon, the share of microbial carbon in the total soil carbon, the activity of catalase and invertase enzymes in forest soils of different ages and species composition. The objects of study were soddy-podzolic soils of six sample plots established in 2022 on the territory of the Raifa area of the Volzhsko-Kamsky state natural biosphere reserve. The soils under pine forests, birch forests, linden forests belonging to two age groups were studied: “middle-aged” and “overmature”. It has been established that the average content of microbial carbon in the humic soil horizons ranges from 0.44 to 1.24 mgC/g, decreasing with depth. The share of microbial carbon in the total soil organic carbon, on the contrary, increases with depth. In the humus horizons, it was 2.5–4.4%; in the illuvial horizons it reaches 14–70%. The reserves of microbial carbon in the 0–30 cm layer range from 1.33 to 2.69 tC/ha. The lowest values of carbon content of microbial biomass, invertase and catalase activity were observed in soils under pine forests. In soils under deciduous forests, these figures are higher. A high correlation was shown between the amount of microbial biomass in soils and invertase enzyme activity (r 0.87), catalase activity and humus content (0.73), catalase and invertase activity (0.79). An average correlation was noted between the content of microbial carbon and humus in the upper soil horizons (r 0.53), invertase activity and humus content (0.48), catalase activity and microbial carbon content (0.60).

Keywords: the soil; microbial biomass; invertase; catalase; microbial carbon reserves.

Раскрытие информации о конфликте интересов: Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов / Disclosure of conflict of interest information: The author claims no conflict of interest

Информация о статье / Information about the article

Поступила в редакцию / Entered the editorial office: 05.04.2023

Одобрено рецензентами / Approved by reviewers: 26.04.2023

Принята к публикации / Accepted for publication: 31.04.2023

Информация об авторах

Кулагина Валентина Ивановна, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, Институт проблем экологии и недропользования АН РТ, 420087, Россия, г. Казань, ул. Даурская, 28, E-mail: viksoil@mail.ru.

Сунгатуллина Люция Мансуровна, старший научный сотрудник, Институт проблем экологии и недропользования АН РТ, 420087, Россия, г. Казань, ул. Даурская, 28, E-mail: sunlyc@yandex.ru.

Рязанов Станислав Сергеевич, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, Институт проблем экологии и недропользования АН РТ, 420087, Россия, г. Казань, ул. Даурская, 28, E-mail: RStanislav.soil@yandex.ru.

Шагидуллин Рифгат Роальдович, член-корреспондент АН РТ, доктор химических наук, директор, Институт проблем экологии и недропользования АН РТ, 420087, Россия, г. Казань, ул. Даурская, 28, E-mail: shagidullin_@mail.ru.

Александрова Асель Биляловна, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, Институт проблем экологии и недропользования АН РТ, Россия, 420087, г. Казань, ул. Даурская, 28, E-mail: adabl@mail.ru.

Рупова Эльмира Ханисовна, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, Институт проблем экологии и недропользования АН РТ, 420087, Россия, г. Казань, ул. Даурская, 28, E-mail: elmira.rupova@mail.ru.

Information about the authors

Valentina I. Kulagina, Ph.D. in Biology, Leading Researcher, Research Institute for Problems of Ecology and Mineral Wealth Use of Tatarstan Academy of Sciences, 28, Daur'skaya st., Kazan, 420087, Russia, E-mail: viksoil@mail.ru.

Lutsia M. Sungatullina, Senior Researcher, Research Institute for Problems of Ecology and Mineral Wealth Use of Tatarstan Academy of Sciences, 28, Daur'skaya st., Kazan, 420087, Russia, E-mail: sunlyc@yandex.ru.

Stanislav S. Ryazanov, Ph.D. in Biology, Senior Researcher, Research Institute for Problems of Ecology and Mineral Wealth Use of Tatarstan Academy of Sciences, 28, Daur'skaya st., Kazan, 420087, Russia, E-mail: RStanislav.soil@yandex.ru.

Rifgat R. Shagidullin, D.Sci. in Chemistry, Corresponding Member of Tatarstan Academy of Sciences, Director, Research Institute for Problems of Ecology and Mineral Wealth Use of Tatarstan Academy of Sciences, 28, Daur'skaya st., Kazan, 420087, Russia, E-mail: shagidullin_@mail.ru.

Asel B. Alexandrova, Ph.D. in Biology, Senior Researcher, Research Institute for Problems of Ecology and Mineral Wealth Use of Tatarstan Academy of Sciences, 28, Daur'skaya st., Kazan, 420087, Russia, E-mail: adabl@mail.ru.

Elmira H. Rupova, Ph.D. in Agriculture, Senior Researcher, Research Institute for Problems of Ecology and Mineral Wealth Use of Tatarstan Academy of Sciences, 28, Daur'skaya st., Kazan, 420087, Russia, E-mail: elmira.rupova@mail.ru.

