

С. В. Роговая¹, Е. Ю. Елсукова², Н. Д. Ананьева¹

МИКРОБНЫЙ КОМПОНЕНТ ПОЧВ И ЕГО ДЫХАТЕЛЬНАЯ АКТИВНОСТЬ В ХВОЙНЫХ ЛЕСАХ СЕВЕРО-ЗАПАДНОГО ПРИЛАДОЖЬЯ

¹ Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН, Российская Федерация, 142290, Московская обл., Пушкино, Институтская ул., 2

² Санкт-Петербургский государственный университет, Российская Федерация, 199034, Санкт-Петербург, Университетская наб., 7–9

В растительной подстилке и минеральных слоях почв (подбур, дерново-подбур, глеезем, литозем) четырех катен северной и южной экспозиции сельгового ландшафта северо-западного Приладожья, локализованных на разном удалении (300, 500 и 2000 м) от источника аэротехногенного загрязнения (гранитный карьер), определяли углерод микробной биомассы ($C_{\text{мик}}$) методом субстрат-индуцированного дыхания, скорость базального (микробного) дыхания (БД) и рассчитывали микробный метаболический коэффициент ($q\text{CO}_2 = \text{БД} / C_{\text{мик}}$). Показаны высокая биогенность растительной подстилки и низкая — соответствующих минеральных слоев почвенного профиля хвойных лесов. Почвы аккумулятивной части изученных лесных ландшафтов характеризуются высоким $C_{\text{мик}}$ и БД по сравнению с транзитной и автономной. Изучено влияние аэротехногенного загрязнения от горнодобывающего предприятия на микробный компонент почвы, выраженное снижением $C_{\text{мик}}$ и БД преимущественно в растительной подстилке лесов. Библиогр. 13 назв. Ил. 1. Табл. 6.

Ключевые слова: почва, углерод микробной биомассы, базальное дыхание, микробный метаболический коэффициент, растительная ассоциация, аэротехногенное загрязнение, горнодобывающее предприятие.

S. V. Rogovaia¹, E. Yu. Elskova², N. D. Ananyeva¹

SOIL MICROBIAL COMPONENT AND ITS RESPIRATORY ACTIVITY IN CONIFEROUS FORESTS OF THE NORTHWEST PRILADOZHJE AREA

¹ Institute of Physicochemical and Biological Problems in Soil Science, Russian Academy of Sciences, 2, Institutskaya ul., Puchshino, Moskovskaya obl., 142290, Russian Federation

² Saint Petersburg State University, 7–9, Universitetskaya nab., St. Petersburg, 199034, Russian Federation

The microbial biomass carbon (C_{mic}) by substrate-induced respiration method (SIR), the basal (microbial) respiration rate (BR) and the metabolic quotient ($q\text{CO}_2 = \text{BR} / C_{\text{mic}}$) were calculated from samples of plant litter and mineral layers of forest soils (Podburs, Sod-podburs, Gleyzems, Litozems) of four catenas of northern and southern exposure of selgovy landscape in the Northwest Priladozhje area. Sample sites were located at different distances (300, 500 and 2000 m) from a source of aerotechnogenic pollution (a granite quarry). High levels of biogenecity were found in plant litter, low ones in corresponding mineral layers of the soil profile in the pine forests examined. Soils of accumulative parts of the landscape were characterized by higher C_{mic} and BR compared to transit and autonomic ones. The impact of aerotechnogenic pollution from the granite quarry on soil microbial component was found, it was expressed by decreased C_{mic} and BR mainly in forest plant litter. Refs 13. Fig. 1. Tables 6.

Keywords: soil, microbial biomass carbon, basal respiration, metabolic quotient, plant association, aerotechnogenic pollution, granite quarry.

Почвенная биота (микроорганизмы и животные) играет ключевую роль в функционировании наземных экосистем [1]. Важным компонентом почвы являются почвенные микроорганизмы, которые весьма «чувствительны» к изменениям окружающей среды, в том числе и разным антропогенным воздействиям [2, 3]. Для их оценки исследователи используют микробиологические показатели, среди которых отмечают не только общий пул почвенных микроорганизмов, но и их активность, в первую очередь, респирометрическую [4–6]. Дыхание почвенных микроорганизмов (продуцирование CO_2) обеспечивает основной поток парникового газа в атмосферу, а удельное дыхание почвенных микроорганизмов позволяет судить о степени нарушения функционирования микробного сообщества почвы под влиянием разных антропогенных воздействий [4].

О влиянии воздушных выбросов промышленных предприятий, содержащих тяжелые металлы, фтор, алюминий, серу и другие загрязнители, на наземные, в том числе и лесные, экосистемы имеется широкая информация [7–10]. Однако оценке влияния аэротехногенного загрязнения окружающей среды при добыче и переработке нерудных полезных ископаемых уделено недостаточное внимание. Основным компонентом выбросов таких горнодобывающих предприятий является неорганическая пыль (SiO_2). Так, добыча гранита из карьера «Кузнечное» (северо-западное Приладожье) сопровождается выбросами в атмосферу такой пыли, составляющими примерно 111 т/год [11]. При этом отмечено поступление в атмосферу сажи, оксидов углерода, азота и серы от 0,04 до 13 т/год (в Ленинградской области в настоящее время действует 20 предприятий по добыче гранита и гранито-гнейсов [12]).

Наша работа была нацелена на изучение микробиологической характеристики почв хвойных лесов северо-западного Приладожья и оценку возможного влияния аэротехногенного загрязнения от горнодобывающего предприятия на почвенный микробный компонент в зависимости от положения почвы в ландшафте, ее экспозиции, растительной ассоциации и удаленности от источника загрязнения.

Объекты и методы исследования

Локализация

На северо-востоке Ленинградской области близ горнодобывающего предприятия (ОАО «Гранит-Кузнечное») в санитарно-защитной и фоновой зонах были выбраны четыре катены (северная и южная экспозиции) сельгового ландшафта (табл. 1). Доминирующей растительностью в районе исследования (северная граница южно-таежной подзоны) являются сосновые (светлохвойные), реже — еловые (темнохвойные) леса (возраст 60–70 и 90–100 лет соответственно). В каждой точке отбора (11 локализаций) диагностировали автономную, транзитную и аккумулятивную части ландшафта (катены), почву («Классификация и диагностика почв РФ», 2004) и растительную ассоциацию (табл. 2). Для исследования (июнь 2013 г.) отбирали образцы растительной подстилки и почв (верхние 0–5 и 5–10 см, минеральные слои, преимущественно в транзитной и аккумулятивной частях) методом «конверта» (площадка 5 × 10 м), в том числе и по горизонтам (из трех точек стенки

Таблица 1. Локализация, экспозиция, протяженность и разность высот исследуемых катен

Катена, №	Координаты	Экспозиция	Расстояние, м		
			ПР	РВ	Р
1	N61°07'50" E 29°52'45"	Северная	45	10	300
2	N61°07'20" E 29°53'54"	Южная	30	10	500
3	N61°08'20" E 29°55'10"	Северная	30	20	2000
4	N61°08'12" E 29°55'15"	Южная	55	20	2000

Примечание. 1 — зона санитарно-защитная, 2 — граница санитарно-защитной зоны, 3 и 4 — фоновая зона (восточнее предприятия); ПР — протяженность; РВ — разность высот; Р — расстояние от карьера.

Таблица 2. Положение в ландшафте, растительная ассоциация и почва изученных локализаций северо-западного Приладожья

Катена	ЧЛ	Л	Растительная ассоциация	Почва
1	А	1	Подрост березы с редким разнотравьем (после пожара) (Бр)	Л _п
	Т	2	Сосняк чернично-папоротниковый (С _{чп})	Подбур
2	А	3	Сосняк зеленомошный (С _{зм})	Л _п
	Т	4	Сосняк чернично-вересковый зеленомошный (С _{чвзм})	Подбур
	АК	5	Сосняк чернично-разнотравный (С _{чр})	ДП _г
3	А	6	Сосняк мохово-лишайниковый (С _{мл})	Л _п
	АК	7	Ельник кисличный (Е _к)	Подбур
4	А	8	Сосняк сфагновый (С _{сф})	ТЛ _{пт}
	Т	9	Сосняк чернично-зеленомошный (С _{чзм})	Подбур
	АК	10	Сосняк разнотравно-злаковый (С _{рз})	ДП _г
		11	Луг (таволга вязолистная, гравилат речной, осока)	Г _{сг}

Примечание. ЧЛ — часть ландшафта: А — автономная; Т — транзитная; АК — аккумулятивная; Л — локализация; Л_п — литозем перегнойный; ДП_г — дерново-подбур глееватый; ТЛ_{пт} — торфяно-литозем перегнойно-торфяной; Г_{сг} — глеезем серогумусовый.

разреза, 5 и 10-я локализации), всего 26 образцов. В автономной части ландшафта сформированы маломощные по профилю почвы (3–4 см), торфяной и перегнойный горизонты которых лежат на монолите породы.

Микробиологические методы

Содержание микробной биомассы в почве и растительном субстрате определяли методом субстрат-индуцированного дыхания (СИД), основанном на измерении начальной максимальной скорости дыхания почвенных микроорганизмов (образование CO₂) после обогащения почвы дополнительным источником углерода и энергии (глюкоза) [13]. Навеску почвы и растительного субстрата (2 и 1 г соответственно) помещали во флакон (объем 15 мл), добавляли раствор глюкозы (0,1 мл г⁻¹), концентрация которого составляла 10 мг·г⁻¹ образца, герметично закрывали и фиксировали время. Обогащенный таким образом образец инкубировали (3–5 ч, 22 °С), а затем отбирали пробу воздуха из флакона и анализировали ее

с помощью газового хроматографа «Кристаллюкс 4000М» (детектор-катарометр). Время отбора газовой пробы также фиксировали. Углерод микробной биомассы ($C_{\text{мик}}$) почвы рассчитывали по формуле [13]

$$C_{\text{мик}} (\text{мкг С г}^{-1} \text{ почвы}) = \text{СИД} (\text{мкл CO}_2 \text{ г}^{-1} \text{ почвы ч}^{-1}) \times 40,04 + 0,37.$$

Базальное (микробное) дыхание (БД) почвы определяли так же, как СИД, только вместо раствора глюкозы добавляли воду (0,1 мл г⁻¹), продолжительность инкубации составляла 24 ч. Скорость БД выражали в мкг CO₂-С г⁻¹ почвы ч⁻¹.

Удельное дыхание микробной биомассы, или микробный метаболический коэффициент ($q\text{CO}_2$), рассчитывали как отношение:

$$\text{БД} / C_{\text{мик}} = q\text{CO}_2 (\text{мкг CO}_2\text{-С мг}^{-1}\text{C}_{\text{мик}} \text{ ч}^{-1}).$$

До начала микробиологических измерений почву просеивали через сито (ячейки 2 мм) и ее массу (≥ 150 г) увлажняли до 55 % полной влагоемкости (ПВ), что составляет примерно 25 % содержания воды в почве, и помещали в полиэтиленовый пакет с воздухообменом для предынкубации (22°C, 7 сут, в темноте). Растительную подстилку освобождали от крупных включений (ветки), измельчали ножницами и увлажняли водой (3 мл г⁻¹ субстрата, около 250 % ПВ).

$C_{\text{мик}}$ и БД измеряли в четырех повторностях, расчет выполнен на вес сухой почвы (105°C, 8 ч), результаты выражены как среднее \pm стандартное отклонение. Соответствие анализируемых данных ($C_{\text{мик}}$, БД и $q\text{CO}_2$) закону нормального распределения проверяли критерием Шапиро—Уилка, однородность их дисперсий и средних величин для нескольких независимых групп (разные растительные ассоциации и части ландшафта) — критерием Левина и однофакторным дисперсионным анализом (ANOVA) соответственно. Парное сравнение средних значений имеющихся групп осуществляли критерием Тьюки, а значимо различающиеся группы дифференцировали разными буквами. Для выполненных статистических анализов был принят уровень значимости $\alpha = 0,05$.

Результаты исследования

В хвойных лесах мощность растительной подстилки составила 1–5 см, причем в сосняках, сфагновом и мохово-лишайниковом, она мощнее (табл. 3). Наибольшие содержание $C_{\text{мик}}$ и скорость БД отмечены в подстилке ельника кисличного и сосняка разнотравно-злакового, а наименьшие — сосняков зеленомошного и мохово-лишайникового, а также — подроста березы. Различие между этими величинами составило 12–18 и 17–36 раз для $C_{\text{мик}}$ и БД соответственно. Кроме того, в автономной части ландшафта эти показатели растительной подстилки были значимо меньше, чем в транзитной и аккумулятивной. Значение $q\text{CO}_2$ растительной подстилки составило от 1,4 до 4,3 мкг CO₂-С мг⁻¹ C_{мик} ч⁻¹, причем наименьшее — в сосняке мохово-лишайниковом (автономная часть ландшафта).

Показано, что содержание $C_{\text{мик}}$ и скорость БД в пятисантиметровом слое почвы изученных сосняков в среднем в 2 раза больше, чем ельника и луга (табл. 4). Кроме того, содержание $C_{\text{мик}}$ в верхнем пятисантиметровом минеральном слое почвы было существенно меньше, чем в соответствующей растительной подстилке: в 25, 13, 8 и 7 раз для ельника и сосняков разнотравно-злакового, чернично-разнотравного

Таблица 3. Содержание углерода микробной биомассы ($C_{\text{мик}}$), базальное дыхание (БД) и микробный метаболический коэффициент ($q\text{CO}_2$) растительной подстилки светлохвойного (сосняк) и темнохвойного (ельник) лесов

Лес (подстилка, см)	ЧЛ	$C_{\text{мик}}$, мкг С г ⁻¹	БД, мкг CO ₂ -С г ⁻¹ ч ⁻¹	$q\text{CO}_2$, мкг CO ₂ -С мг ⁻¹ $C_{\text{мик}}$ ч ⁻¹
Бр (3)	А	1603 ± 72 d	5,1 ± 0,4 e	3,2 ± 0,3 ab
С _{ЗМ} (3)	А	2419 ± 73 d	6,2 ± 0,4 e	2,6 ± 0,2 b
С _{МЛ} (4)	А	2122 ± 107 d	2,9 ± 0,1 f	1,4 ± 0,1 c
С _{СФ} (5)	А	8584 ± 660 c	26,3 ± 3,4 d	3,1 ± 0,5 ab
С _{чЗМ} (2)	Т	15341 ± 1468 b	60,3 ± 5,7 c	3,9 ± 0,5 a
С _{чР} (1)	АК	14299 ± 535 b	61,3 ± 3,0 c	4,3 ± 0,3 a
Е _к (1)	АК	29026 ± 2310 a	86,0 ± 4,7 b	3,0 ± 0,3 b
С _{рЗ} (1)	АК	27797 ± 1488 a	105,5 ± 3,0 a	3,8 ± 0,2 a

Таблица 4. Содержание углерода микробной биомассы ($C_{\text{мик}}$), скорость базального дыхания (БД) и микробного метаболического коэффициента ($q\text{CO}_2$) в верхнем минеральном слое почв (5 см) хвойных лесов, лиственного подроста и разнотравного луга

ДР	РА	$C_{\text{мик}}$, мкг С г ⁻¹	БД, мкг CO ₂ -С г ⁻¹ ч ⁻¹	$q\text{CO}_2$, мкг CO ₂ -С мг ⁻¹ $C_{\text{мик}}$ ч ⁻¹
Сосна	С _{чП}	1351 ± 42	2,4 ± 0,1	1,8 ± 0,1
	С _{чВЗМ}	2347 ± 119	4,3 ± 0,2	1,8 ± 0,1
	С _{чР}	1693 ± 12	2,6 ± 0,1	1,6 ± 0,1
	С _{чЗМ}	2264 ± 207	5,0 ± 0,6	2,2 ± 0,3
	С _{рЗ}	2165 ± 128	3,3 ± 0,3	1,5 ± 0,2
Ель	Е _к	1129 ± 29	1,7 ± 0,7	1,5 ± 0,1
Травы	Луг	1269 ± 61	1,7 ± 0,0	1,3 ± 0,1

Примечание. ДР — доминирующая растительность; РА — растительная ассоциация.

и чернично-зеленомошного соответственно (см. табл. 3 и 4). Скорость БД этого почвенного слоя оказалась в 51, 32, 23 и 12 раз меньше, чем в соответствующей подстилке для ельника и указанных выше сосняков соответственно. Удельное микробное дыхание ($q\text{CO}_2$) верхнего минерального слоя почвы существенно меньше (в среднем в 2 раза), чем растительной подстилки, что может свидетельствовать о меньшей «напряженности» функционирования его микробного сообщества. При этом следует отметить, что высокая биологическая активность изученных почв (содержание и дыхание микробной биомассы) сосредоточена в растительной подстилке.

Выявлено, что величины $C_{\text{мик}}$ и БД верхнего десятисантиметрового слоя почвы сосняков и ельника на разном удалении от источника аэротехногенного загрязнения практически не различались (табл. 5). Однако почвы южной экспозиции были более обогащены микробной биомассой и имели высокую скорость микробного дыхания по сравнению с таковыми северной.

Таблица 5. Содержание углерода микробной биомассы ($C_{\text{мик}}$), скорость базального дыхания (БД) и значение микробного метаболического коэффициента ($q\text{CO}_2$) в верхнем минеральном слое почвы (среднее для 0–5 и 5–10 см) хвойных лесов разной экспозиции и удаленности от источника загрязнения

Э	Р, м	ЧЛ	Лес	$C_{\text{мик}}$, мкг С г ⁻¹	БД, мкг CO ₂ -С г ⁻¹ ч ⁻¹	$q\text{CO}_2$, мкг CO ₂ -С мг ⁻¹ С _{мик} ч ⁻¹
С	300	Т	СчП	1090 ± 43	1,8 ± 0,3	1,6 ± 0,1
	2000	АК	Ек	966 ± 39	1,3 ± 0,4	1,3 ± 0,1
Ю	500	Т	СчВЗМ	1756 ± 65	3,0 ± 0,1	1,6 ± 0,1
	500	АК	СчР	1268 ± 35	1,9 ± 0,2	1,5 ± 0,1
	2000	Т	СчЗМ	1436 ± 119	2,9 ± 0,3	1,7 ± 0,2
	2000	АК	СрЗ	1736 ± 135	2,5 ± 0,3	1,4 ± 0,2

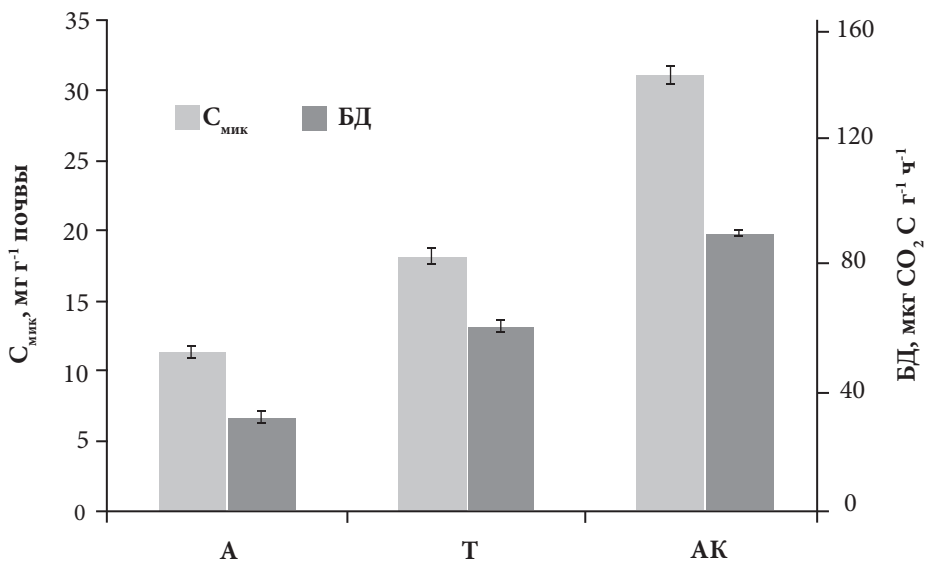
Примечание: Э — экспозиция: С — северная, Ю — южная; Р — расстояние от источника загрязнения.

Влияние аэротехногенного загрязнения на микробный компонент дерново-подбуря глееватого изучали в двух схожих растительных ассоциациях (сосняк чернично-разнотравный и разнотравно-злаковый), локализованных в аккумулятивной части катены южной экспозиции (табл. 6). Оказалось, что профильные запасы $C_{\text{мик}}$ и БД в почве близ предприятия (500 м) были почти в 1,8 и 1,7 раза меньше соответственно, чем на большем расстоянии (2 км). Причем различие между измеряемыми показателями почвы двух катен было наибольшим для растительной подстилки по сравнению с минеральными горизонтами. Поэтому можно полагать, что именно верхний горизонт почвенного профиля (растительная подстилка) будет подвергаться большему влиянию аэротехногенного загрязнения по сравнению с нижележащими.

Изменение почвенного микробного компонента и его дыхательной активности в хвойных лесах оценено вдоль градиента катены (см. рисунок). Изученные сосняки и ельник были локализованы на фоновой территории (удалены от источника загрязнения). Оказалось, что содержание микробной биомассы почвы и ее дыхательная

Таблица 6. Содержание углерода микробной биомассы ($C_{\text{мик}}$), скорость базального дыхания (БД) и значение микробного метаболического коэффициента ($q\text{CO}_2$) в дерново-подбуре глееватом (аккумулятивная часть ландшафта, южная экспозиция) при разном удалении (Р) от карьера

Сосняк	Р, м	Горизонт (мощность, см)	$C_{\text{мик}}$, мкг С г ⁻¹	БД, мкг CO ₂ -С г ⁻¹ ч ⁻¹	$q\text{CO}_2$, мкг CO ₂ -С мг ⁻¹ С _{мик} ч ⁻¹
Чернично-разнотравный	500	О (0–1)	14299 ± 535	61,3 ± 3,0	4,3 ± 0,3
		АУ (1–20)	789 ± 14	1,2 ± 0,1	1,5 ± 0,1
		ВF (20–32)	431 ± 2	0,4 ± 0,03	1,0 ± 0,1
		ВFg (32–43)	95 ± 12	0,2 ± 0,02	1,2 ± 0,3
		Сумма	15614	63,2	
Разнотравно-злаковый	2000	О (0–1)	27797 ± 1488	105,5 ± 2,9	3,8 ± 0,2
		АУ (1–25)	685 ± 23	1,0 ± 0,1	1,4 ± 0,1
		ВF (25–43)	141 ± 19	0,1 ± 0,04	0,6 ± 0,3
		ВFg (43–67)	18 ± 5	0,01 ± 0,01	0,6 ± 0,6
		Сумма	28641	106,5	



Углерод микробной биомассы ($C_{\text{мик}}$) и базальное дыхание (БД) в профиле почв (подстилка + 0–10 см) автономной (А, $C_{\text{СФ}}$), транзитной (Т, $C_{\text{ЧЗМ}}$) и аккумулятивной (АК, среднее для $E_{\text{К}}$ и $C_{\text{РЗ}}$) частях ландшафта северо-западного Приладожья

активность существенно возрастали от автономной части ландшафта (менее биогенной) к транзитной и аккумулятивной (более биогенной).

Выводы

Таким образом, оценены содержание и дыхательная активность микробного компонента почв хвойных лесов северо-западного Приладожья. Показаны высокая биогенность растительной подстилки и низкая соответствующих минеральных слоев почвенного профиля, что может свидетельствовать о высокой экологической «хрупкости» или «уязвимости» этих лесных почв. Почвы аккумулятивной части ландшафта изученных лесов по сравнению с транзитной и автономной имеют более мощный профиль и характеризуются высоким содержанием микробной биомассы и ее дыхательной активностью. Показано влияние аэротехногенного загрязнения от горнодобывающего предприятия на микробный компонент почвы изученной территории, выраженное снижением содержания микробной биомассы и ее дыхательной активности преимущественно в растительной подстилке лесов.

Литература

1. Добровольский Г.В. Экологическая роль почвы в биосфере и в жизни человека // Доклады по экологическому почвоведению. М.: Ин-т экологического почвоведения МГУ, 2007. Т. 2, № 6. С. 1–16.
2. Ананьева Н.Д. Микробиологические аспекты самоочищения и устойчивости почв. М.: Наука, 2003. 223 с.
3. Сорокин Н.Д. Микробиологический мониторинг нарушенных наземных экосистем Сибири // Известия РАН. Серия биологическая. 2009. № 6. С. 728–733.
4. Ананьева Н.Д., Благодатская Е.В., Демкина Т.С. Оценка устойчивости микробных комплексов почв к природным и антропогенным воздействиям // Почвоведение. 2002. № 5. С. 580–587.

5. 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.
6. Сорокин Н. Д., Афанасова Е. Н. Микробиологическая диагностика состояния почв и филлосферы лесных экосистем Сибири // Известия РАН. Серия биологическая. 2012. № 1. С. 100–108.
7. Евдокимова Г. А., Кислых Е. Е., Мозгова Н. П. Биологическая активность почв в условиях аэротехногенного загрязнения на Крайнем Севере. Л.: Наука, 1984. 120 с.
8. Загуральская Л. М., Зябченко С. С. Воздействие промышленных загрязнений на микробиологические процессы в почвах бореальных лесов района Костомукши // Почвоведение. 1994. № 5. С. 105–110.
9. Корнейкова М. В. Почвенные микромицеты антропогенно загрязненных сред // Сбалансированное природопользование. Охрана природы Севера, современные вызовы и решения. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2010. С. 29–33.
10. Евдокимова Г. А., Переверзев В. Н., Мозгова Н. П. Трансформация растительных остатков в почве в зоне воздействия аэротехногенных выбросов алюминиевого завода // Почвоведение. 2013. № 8. С. 1005–1015.
11. Ковиов С. В. Санитарно-гигиеническая характеристика рабочих мест карьера «Кузнечное» // 7-я Междунар. конф. по проблемам горной промышленности, строительства и энергетики: матер. конф. 2011. Тула: ТулГУ, 2011. С. 250–255.
12. Государственный реестр участков недр, предоставленных для добычи полезных ископаемых, а также в целях, не связанных с их добычей, и лицензий на пользование недрами по территории Санкт-Петербурга и Ленинградской области (по состоянию на 30.09.2013). URL: <http://sevpapnedra.pw.ru/> (дата обращения: 04.12.2013).
13. Anderson J. P. E., Domsch K. H. A physiological method for the quantitative measurement of microbial biomass in soils // Soil Biol. Biochem. 1978. Vol. 10. N 3. P. 215–221.

Для цитирования: Роговая С. В., Елсукова Е. Ю., Ананьева Н. Д. Микробный компонент почв и его дыхательная активность в хвойных лесах Северо-Западного Приладожья // Вестник СПбГУ. Серия 7. Геология. География. 2016. Вып. 3. С. 129–137. DOI: 10.21638/11701/spbu07.2016.310

References

1. Dobrovolskii G. V. *Ekologicheskaiia rol' pochvy v biosfere i v zhizni cheloveka* [Ecological role of soil in the biosphere and human life]. *Doklady po ekologicheskomu pochvovedeniiu* [Proceedings of ecological soil science]. Moscow, Institute of ecological soil science of Moscow State University Publ., 2007, vol. 2, no. 6, pp. 1–16. (In Russian)
2. Anan'eva N. D. *Mikrobiologicheskie aspekty samoochishcheniia i ustoichivosti pochv* [Microbiological aspects of soil self-purification and soil sustainability]. Moscow, Nauka Publ., 2003. 223 p. (In Russian)
3. Sorokin N. D. *Mikrobiologicheskii monitoring narushennykh nazemnykh ekosistem Sibiri* [Microbiological monitoring of disturbed ground ecosystems of Siberia]. *Izvestiia RAN. Serii biologicheskaiia* [Biology Bulletin], 2009, vol. 36, no. 6. pp. 619–623. (In Russian)
4. Anan'eva N. D., Blagodatskaia E. V., Demkina T. S. *Otsenka ustoichivosti mikrobykh kompleksov pochv k prirodnykh i antropogennym vozddeistviiam* [Estimating the resistance of soil microbial complexes to natural and anthropogenic impacts]. *Pochvovedenie* [Eurasian Soil Sci.], 2002, vol. 35, no. 5, pp. 514–521. (In Russian)
5. Stol'nikova E. V., Anan'eva N. D., Chernova O. V. *Mikrobnaiia biomassa, ee aktivnost' i struktura v pochvakh starovozrastnykh lesov Evropeiskoi territorii Rossii* [The microbial biomass and its activity and structure in the soils of old forests in the European Russia]. *Pochvovedenie* [Eurasian Soil Sci.], 2011, vol. 44, no. 4, pp. 437–452. (In Russian)
6. Sorokin N. D., Afanasova E. N. *Mikrobiologicheskaiia diagnostika sostoiianiia pochv i fillosfery lesnykh ekosistem Sibiri* [Microbiological diagnostics of soil stage in the phyllosphere of the woodland ecosystem of Siberia]. *Izvestiia RAN. Serii biologicheskaiia* [Biology Bulletin], 2012, vol. 39, no. 1, pp. 85–92. (In Russian)
7. Evdokimova G. A., Kislykh E. E., Mozgova N. P. *Biologicheskaiia aktivnost' pochv v usloviakh aerotekhnogennoho zagriazneniia na Krainem Severe* [Biological activity of soils under conditions of airborne industrial pollution in the Extreme North]. Leningrad, Nauka Publ., 1984. 121 p. (In Russian)
8. Zagural'skaia L. M., Ziabchenko S. S. *Vozdeistvie promyshlennykh zagriaznenii na mikrobiologicheskie protsessy v pochvakh boreal'nykh lesov raiona Kostomukshi* [Impact of industrial pollution on soil

microbial activity in boreal forests of the Kostomuksha region]. *Pochvovedenie [Eurasian Soil Sci.]*, 1994, vol. 26, no. 10, pp. 67–74. (In Russian)

9. Korneikova M. V. Pochvennye mikromitsety antropogenno zagriaznennykh sred [Soil fungi of anthropogenically polluted environment]. *Sbalansirovannoe prirodopol'zovanie. Okhrana prirody Severa, sovremennye vyzovy i resheniia [Balanced natural management. Nature preservation of the North, current challenges and solutions]*. Apatity, Published by Kola Science Centre RAS, 2010, pp. 29–33. (In Russian)

10. Evdokimova G. A., Pereverzev V. N., Mozgova N. P. Transformatsiia rastitel'nykh ostatkov v pochve v zone vozdeistviia aerotekhnogennykh vybrosov aliuminieвого завода [Transformation of plant residues in the soil of a zone exposed to emissions from an Aluminum smelter]. *Pochvovedenie [Eurasian Soil Sci.]*, 2013, vol. 46, no. 8, pp. 908–917. (In Russian)

11. Kovshov S. V. Sanitarno-gigienicheskaia kharakteristika rabochikh mest kar'era «Kuznechnoe» [Sanitary-hygienic characteristics of «Kuznechnoe» granite quarry workplaces]. *7-ia Mezhdunar. konfio po problemam gornoy promishlennosti, stroitel'stva i energetiki: mater. konferentsyi [The 7th International Conference on the mining industry, building and energetics problems. Materials of the conference]*. Tula, TuSU Publ., 2011, pp. 250–255. (In Russian)

12. Gosudarstvennyi reestr uchastkov nedr, predstavlennykh dlia dobychi poleznykh iskopaemykh, a takzhe v tseliakh, ne svyazannykh s ikh dobychei, i litsenzii na pol'zovanie nedrami po territorii Sankt-Peterburga i Leningradskoi oblasti (po sostoiianiiu na 30.09.2013 goda) [State Register of subsoil sites for mining operations, as well as for another purposes, and licenses of subsoil use on the territory of St. Petersburg and Leningrad region (30.09.2013)]. Available at: <http://sevzapnedra.nw.ru/> (accessed: 04.12.2013). (In Russian)

13. Anderson J. P. E., Domsch K. H. A physiological method for the quantitative measurement of microbial biomass in soils. *Soil Biol. Biochem*, 1978, vol. 10, no. 3, pp. 215–221.

For citation: Rogovaia S. V., Elsukova E. Yu., Ananyeva N. D. Soil microbial component and its respiratory activity in coniferous forests of the Northwest Priladozhje area. *Vestnik SPbSU. Series 7. Geology. Geography*, 2016, issue 3, pp. 129–137. DOI: 10.21638/11701/spbu07.2016.310

Статья поступила в редакцию 25 октября 2015 г.

Контактная информация:

Роговая Софья Владимировна — аспирант; rogovaja7@mail.ru

Елсукова Екатерина Юрьевна — кандидат географических наук, доцент; e.elsukova@spbu.ru

Ананьева Надежда Дмитриевна — доктор биологических наук, главный научный сотрудник; ananyeva@rambler.ru

Rogovaya Sofia V. — Postgraduate; rogovaja7@mail.ru

Eslukova Ekaterina Yu. — PhD, Associate Professor; e.elsukova@spbu.ru

Ananieva Nadezjda D. — Doctor of Biology; ananyeva@rambler.ru