

УДК 631.4:574.4

Маслов М.Н.*Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова***УГЛЕРОД, АЗОТ И ФОСФОР МИКРОБНОЙ БИОМАССЫ
В ТУНДРОВЫХ ПОЧВАХ СЕВЕРНОЙ ФЕННОСКАНДИИ**

Аннотация. Биомасса микроорганизмов в почве является важным фактором, определяющим скорость и направление биогеохимических циклов элементов. Для почв тундровых сообществ северной Фенноскандии определено содержание углерода, азота и фосфора в микробной биомассе. Установлено, что содержание углерода и азота микробной биомассы в почвах равнинной тундры выше, чем в почвах горной тундры, что отражает их взаимосвязь с общим содержанием С и N в почве. По содержанию фосфора микробной биомассы исследованные почвы практически не различаются. Оценена доля элементов микробной биомассы в общем содержании углерода, азота и фосфора в тундровых почвах. Показано, что для поверхностных органогенных горизонтов доля С в микробной биомассе составляет от 0,6 до 0,9 % от общего пула углерода почвы. Доля азота микробной биомассы составляет 1-1,2 %, фосфора – от 6 до 35 %. При этом концентрирование в микробной биомассе фосфора наиболее велико в почвах, содержащих меньшее количество фосфора.

Ключевые слова: микробная биомасса, тундра, почвы, северная Фенноскандия.

M. Maslov*M.V. Lomonosov Moscow State University***MICROBIAL BIOMASS CARBON, NITROGEN AND PHOSPHORUS
IN TUNDRA SOILS OF NORTHERN FENNOSCANDIA**

Abstract. Microbial biomass in the soil is an important factor in determining the direction and intensity of biogeochemical processes. We report quantitative estimation of microbial biomass carbon, nitrogen and phosphorus in tundra soils of northern Fennoscandia. It is found that the content of microbial biomass carbon and nitrogen in the soil of plane tundra is higher than that in the soil of mountainous tundra, which reflects their relationship with the total content of C and N in the soil. The difference in the contents of microbial biomass phosphorous in the soils studied is virtually indistinguishable. We have estimated the fraction of the microbial biomass elements in the total content of carbon, nitrogen and phosphorous in tundra soils. It is shown that for surface organic horizons the fraction of microbial biomass carbon ranged from 0.6 to 0.9% of the total pool of soil carbon. The content of microbial biomass nitrogen is 1 – 1.2% and of phosphorus – from 6 to 35%. At the same time the concentration of microbial biomass phosphorus is the greatest in soils containing a minimal amount of phosphorus.

Key words: microbial biomass, tundra soils, northern Fennoscandia.

Почвы тундровых экосистем характеризуются высоким содержанием углерода, азота и фосфора. Однако

© Маслов М.Н., 2014.

основная часть этих элементов сосредоточена в составе слабо гумифицированного органического вещества [12, с. 127], вследствие чего выведена

из активного биологического круговорота. Микроорганизмы являются первичными деструкторами органического вещества и способны аккумулировать в своей биомассе значительные количества питательных элементов [8, с. 147], что определяет важную роль микроорганизмов в определении направления и скорости биогеохимических процессов в почве. В связи с этим целью данной работы была оценка содержания углерода, азота и фосфора микробной биомассы в тундровых почвах северной Фенноскандии.

Исследования проводили в районе научной станции Абиско (северная Швеция, 68°21' N, 18°49' E) в 200 км севернее Полярного круга. Исследовались почвы 8 наиболее распространенных тундровых сообществ, приуроченных к горной и равнинной территории. В горно-тундровом поясе были представлены почвы флавоцетрариево-вороничного (ФВ), зеленомошно-кустарничкового (ЗК), ивково-мелкотравного вблизи рано тающего (ИМР) и поздно тающего снежника (ИМП) и душисто-колосково-разнотравного (ДКР) биогеоценозов, расположенных на высоте 700-800 м н.у.м. в пределах биогеохимической катены. Почвы горной тундры сформированы на элюво-делювии сланцев. В биогеоценозе ФВ формируется сухоторфяно-подбур иллювиально-гумусовый [1, с. 193-198], в ЗК – литозем перегнойный типичный, в ИМР, ИМП и ДКР – литоземы перегнойно-темногумусовые потечно-гумусовые.

На равнинном участке на высоте около 350 м н.у.м. изучены почвы трех биогеоценозов: верхового болота (ВБ), кустарничково-лишайникового (КЛ) и ерникового (ЕР). Почвы равнинной тундры сформированы на отложени-

ях озерной гальки. В биогеоценозе ВБ формируется торфяная олиготрофная остаточно-эутрофная почва, в КЛ – литозем перегнойный типичный, в ЕР – сухоторфяно-литозем перегнойно-торфяный.

Все почвы характеризуются кислой или слабокислой реакцией среды (рН 3,9-5,7). Поверхностные органогенные и органо-минеральные горизонты почв содержат большое количество органического углерода. Максимальная концентрация С характерна для почв равнинной части тундры (41-48%) и для горизонта Т₁ сухоторфяно-подбур в горной части (32%). Содержание С в литоземах перегнойно-темногумусовых не превышает 13-17%. Различия в содержании N в целом повторяют ту же закономерность, но менее выражены. Максимальное содержание N в органогенных горизонтах характерно для почв равнинной тундры (1,3-1,4%), а в горных почвах его концентрация составляет 0,9-1,2%. Общее содержание фосфора в почвах горной тундры составляет около 0,1-0,2% в горной тундре и 0,03-0,05% – в равнинной. При этом от 77 до 99% фосфора в тундровых почвах сосредоточено в составе органического вещества.

Углерод и азот микробной биомассы ($C_{\text{микр}}$ и $N_{\text{микр}}$) определяли методом фумигации почвы в парах хлороформа с последующей экстракцией элементов 0,05 М K_2SO_4 [3, с. 837-842; 13, с. 703-707]. $C_{\text{микр}}$ рассчитывали как разницу между экстрагируемым углеродом в фумигированных и нефумигированных образцах, а $N_{\text{микр}}$ – как соответствующую разницу экстрагируемого N. Фосфор микробной биомассы ($P_{\text{микр}}$) определяли методом фумигации с последующей экстракцией 0,5 М

NaHCO_3 . $P_{\text{микро}}$ рассчитывали как разницу между $P_{\text{экстр}}$ в фумигированных и нефумигированных образцах с учетом сорбции P почвой. Коэффициент сорбции определяли для каждой почвы.

Углерод, азот и фосфор микробной биомассы сосредоточены преимущественно в поверхностных горизонтах тундровых почв. В подповерхностных горизонтах содержание элементов снижается от 2-3 (ДКР, ВБ) до 10 (ФВ, ИМР, ИМП) раз (табл. 1).

Содержание $C_{\text{микро}}$ и $N_{\text{микро}}$ в почвах равнинной тундры выше, чем в почвах горной тундры, что отражает их взаимосвязь с общим содержанием C и N в почве. По содержанию $P_{\text{микро}}$ исследованные почвы практически не различаются.

В горной тундре содержание $C_{\text{микро}}$ максимально в почвах элювиальных позиций катены (ФВ) и постепенно

снижается к аккумулятивным (ДКР). При этом содержание $C_{\text{микро}}$ в тундровых арктических почвах Гренландии [5, с. 26], а также альпийских почв северо-западного Кавказа [2, с. 971-975], показало обратную закономерность – максимальное содержание характерно для более влажных почв, чем для более сухих.

Для равнинной тундры не выявлено статистически значимых различий в содержании $C_{\text{микро}}$ в поверхностных горизонтах почв разных бегоценозов. Несколько больше $C_{\text{микро}}$ содержится в горизонте ТО торфяной олиготрофной почвы (ВБ). Это может быть связано с развитием здесь эпифитной микробиоты, сосредоточенной на остатках сфагнового мха.

Содержание $N_{\text{микро}}$ также максимально в почвах элювиальных местообитаний (ФВ) и постепенно снижается

Таблица 1

Углерод, азот и фосфор микробной биомассы тундровых почв, мг/кг

Сообщество	Горизонт	C	N	P
Горная тундра				
ФВ	TJ	1763±486	145±44	84±20
	BH	142±50	11±4	7±4
ЗК	H	802±222	77±21	58±21
ИМР	АН	1447±336	147±37	82±23
	C_{hi}	121±34	13±4	8±4
ИМП	АН	947±282	97±30	78±25
	C_{hi}	132±21	19±5	11±5
ДКР	АН	1037±162	115±20	87±25
	C_{hi}	788±450	90±55	48±15
Равнинная тундра				
ЕР	TJ	2847±345	276±27	92±27
КЛ	H	2888±453	239±32	89±25
ВБ	ТО	3578±543	280±42	16±5
	TE	1186±388	141±25	43±17

к почвам аккумулятивных положений (ДКР). Содержание $N_{\text{микро}}$ в почвах равнинной тундры выше, чем в почвах горной тундры (табл. 1). По нашим данным, запасы $N_{\text{микро}}$ в тундровых почвах северной Швеции варьируют от 1,2 до 1,6 г/м². По данным других авторов [8, с. 152-158; 9, с. 95-102], запасы $N_{\text{микро}}$ в почвах окрестностей биостанции Абиско составляют от 2,3 до 5,4 г/м². В альпийских почвах Скалистых гор Колорадо запасы $N_{\text{микро}}$ могут достигать 5,9 г/м² [4, с. 2184]. По данным S. Jonnasson et al. (2002, 2006) содержание $N_{\text{микро}}$ в тундровых почвах окрестностей Абиско достигает 700-1400 мг/кг почвы. В работе I.K. Schmidt et al. (2002) приводится еще более широкий диапазон – от 340 до 2000 мг/кг почвы. Для тундровых почв Аляски приводятся данные о концентрации $N_{\text{микро}}$ от 115 до 500 мг/кг почвы [10, с. 2740-2741; 11, с. 74-76].

Содержание $P_{\text{микро}}$ в поверхностных горизонтах тундровых почв не проявляет зависимости от положения почвы в мезорельефе (элювиальное или аккумулятивное положение) и макрорельефе (горная или равнинная тундра). Ранее для тундровых почв Швеции было показано широкое варьирование содержания $P_{\text{микро}}$ – от 50 до 400 мг/кг почвы [6, с. 509-512]. В более поздней работе S. Jonnasson et al. (2006), приводится значение 220 мг/кг почвы. По данным I.K. Schmidt et al. (2002), в почвах 4 разнотипных тундровых сообществ содержание $P_{\text{микро}}$ изменяется в пределах от 25 до 280 мг/кг почвы. В тундровых почвах Аляски содержится значительно меньше $P_{\text{микро}}$ – от 30 до 70 мг/кг почвы [10, с. 2740-2741; 11, с. 74-76], что более близко к полученным нами данным.

Доля $C_{\text{микро}}$ в общем пуле углерода в почвах составляет, как правило, менее 1% (табл. 2). В почвах горной тундры она увеличивается в почвах транзитных (ИМР, ИМП) и аккумулятивных (ДКР) позиций по сравнению с почвами, занимающими элювиальные позиции (ФВ, ЗК). Подобная закономерность может быть связана с характером органического вещества почв. В почвах с большей степенью гумификации (ИМР, ИМП, ДКР) доля $C_{\text{микро}}$ в общем углеродном пуле максимальна (от 0,7 до 0,9%), тогда как в почвах со слабогумифицированным органическим веществом (ФВ, ЗК) она не превышает 0,6%. В подповерхностных минеральных горизонтах почв горной тундры доля углерода, ассоциированного с биомассой микроорганизмов, в общем пуле элемента значительно ниже, чем в поверхностных органогенных горизонтах. Это связано с распределением микробной биомассы в почвенном профиле, при котором основная часть микроорганизмов сосредоточена в верхних 5-10 см почвы, наиболее обеспеченных теплом, кислородом и влагой. Исключение составляет потечно-гумусовый горизонт $C_{\text{ни}}$ литозема перегнойно-темногумусового биогеоценоза ДКР, для которого характерен максимум содержания лабильного органического вещества. Занимая аккумулятивное положение, данная почва наиболее обеспечена теплом, влагой и элементами минерального питания.

Для почв равнинной тундры характерна также невысокая доля $C_{\text{микро}}$ в общем углеродном пуле (0,6-0,9%).

Доля $N_{\text{микро}}$ в общем пуле азота в поверхностных горизонтах почв горной тундры составляет от 1 до 1,2% (табл. 2). В подповерхностных мине-

Таблица 2

**Доля углерода, азота и фосфора микробной биомассы
от общего содержания элементов в почве, %**

Сообщество	Горизонт	C	N	P
Горная тундра				
ФВ	ТJ	0,6±0,05	1,2±0,21	8,4±0,94
	ВН	0,3±0,03	0,6±0,10	1,7±0,33
ЗК	Н	0,6±0,06	1,0±0,11	6,4±0,60
ИМР	АН	0,9±0,09	1,2±0,22	8,2±0,72
	C _{hi}	0,5±0,05	0,7±0,11	1,0±0,22
ИМП	АН	0,8±0,08	1,1±0,24	6,5±0,62
	C _{hi}	0,5±0,05	0,6±0,12	1,8±0,31
ДКР	АН	0,7±0,07	1,0±0,23	6,7±0,72
	C _{hi}	2,0±0,21	2,3±0,42	2,5±0,63
Равнинная тундра				
ЕР	ТJ	0,7±0,05	2,0±0,33	22,8±3,52
КЛ	Н	0,6±0,05	1,8±0,33	27,2±2,61
ВБ	ТО	0,9±0,09	7,0±0,42	34,6±4,25
	ТЕ	0,3±0,04	1,1±0,25	22,2±3,01

ральных горизонтах почв она, подобно углероду, снижается. Максимальная относительная аккумуляция азота в микробной биомассе наблюдается в горизонте C_{hi} литозема перегнойно-темногумусового биогеоценоза ДКР. Возможные причины такого повышения указаны выше. В почвах равнинной тундры доля микробного азота в общем почвенном пуле элемента значительно выше и составляет 1,8-2%. Максимальное участие микробного азота в общем пуле характерно для горизонта ТО торфяной олиготрофной почвы верхового болота. Увеличение доли «метаболически активного» азота в почвах равнинного приозерного участка свидетельствует о низкой обеспеченности их азотом. В условиях лимитированности живые организмы вынуждены максимально полно использовать азот для обеспечения своей жизнедеятельности.

Участие P_{микр} в фосфоре органических соединений почв горной тундры постепенно снижается от элювиальных к аккумулятивным позициям (табл. 2). Максимальная доля P_{микр} (8,4%) характерна для горизонта ТJ сухоторфяно-подбура. В минеральных горизонтах почв горной тундры участие P_{микр} в пуле органического фосфора значительно ниже и составляет от 1 до 2,5%, что свидетельствует об относительной насыщенности этих горизонтов фосфором. Таким образом, увеличение содержания в почве фосфора, а также углерода и азота, приводят к уменьшению доли элементов, ассоциированных с микробной биомассой.

Почвы равнинной тундры содержат меньше фосфора органических соединений (в среднем около 0,5 г/кг), поэтому доля P_{микр} в них составляет от 22 до 35% (табл. 2). Максимальное участие P_{микр} в общем почвенном пуле

фосфора органических соединений наблюдается в торфяной олиготрофной почве ВБ, что связано с малой обеспеченностью данной почвы фосфором за счет атмосферного типа минерального питания сфагнового мха.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Классификация и диагностика почв России / под ред. Г.В. Добровольского. – Смоленск: Ойкумена. – 2004. – 342 с.
2. Макаров М.И. Сезонная динамика минеральных форм азота в горно-луговых альпийских почвах / М.И. Макаров, Н.А. Леошкина, А.А. Ермак и др. // Почвоведение. – 2010. – № 8. – С. 969–978.
3. Brookes P. C. Chloroform fumigation and the release of soil nitrogen: a rapid direct extraction method to measure microbial biomass nitrogen in soil / P.C. Brookes, A. Landman, G. Pruden et al. // *Soil Biol. Biochem.* – 1985. – V. 17 (№ 60). – P. 837–842.
4. Brooks P.D., Williams M.W. Snowpack controls on nitrogen cycling and export in seasonally snowcovered catchments // *Hydrological Processes.* – 1999. – V. 13. – P. 2177–2190.
5. Illeris L., Michelsen A., Jonasson S. Soil plus root respiration and microbial biomass following water, nitrogen, and phosphorus application at a high arctic semi desert // *Biogeochemistry.* – 2003. – V. 65. – P. 15–29.
6. Jonasson S. Microbial biomass C, N and P in two arctic soils and responses to addition of NPK fertilizer and sugar: implications for plant nutrient uptake / S. Jonasson, A. Michelsen, I.K. Schmidt et al. // *Oecologia.* – 1996. – V. 106. – P. 507–515.
7. Jonasson S., Castro J., Michelsen A. Interactions between plants, litter and microbes in cycling of nitrogen and phosphorus in the arctic // *Soil Biol. Biochem.* – 2006. – V. 38. – P. 526–532.
8. Schmidt I.K., Jonasson S., Michelsen A. Mineralization and microbial immobilization of N and P in arctic soils in relation to season, temperature and nutrient amendment // *Applied Soil Ecology.* – 1999. – V. 11. – P. 147–160.
9. Schmidt I.K. Mineralization and distribution of nutrients in plants and microbes in four arctic ecosystems: responses to warming / I.K. Schmidt, S. Jonasson, G.R. Shaver, A. Michelsen et al. // *Plant and Soil.* – 2002. – V. 242. – P. 93–106.
10. Stark S., Grellmann D. Soil microbial responses to herbivory in an arctic tundra heath at two levels of nutrient availability // *Ecology.* – 2002. – V. 83. – P. 2736–2744.
11. Stark S., Strommer R., Tuomi J. Reindeer grazing and soil microbial processes in two suboceanic and two subcontinental tundra heaths // *Oikos.* – 2002. – V. 97. – P. 69–78.
12. Stottlemeyer R., Rhoades C., Steltzer H. Soil temperature, moisture, and carbon and nitrogen mineralization at a taiga-tundra ecotone, Noatak National Preserve, Northwestern Alaska // *Studies by the U.S. Geological Survey in Alaska.* – 2001. – P. 127–137.
13. Vance E.D., Brookes P.C., Jenkinson D.S. An extraction method for measuring soil microbial biomass C // *Soil Biol. Biochem.* – 1987. – V. 19. – P. 703–707.