

БИОЛОГИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ ПОЧВ СОСНОВЫХ БИОГЕОЦЕНОЗОВ ЗАОНЕЖЬЯ

Медведева М.В.¹, Зачиняева А.В.², Раевский Б.В.¹

¹ *Институт леса Карельского научного центра РАН, Россия, 185910, г. Петрозаводск, ул. Пушкинская, д.11, e-mail: mariamed@mail.ru*

² *Военно-медицинская академия имени С.М.Кирова, Россия, 194044, г. Санкт - Петербург, ул. Академика Лебедева, 6, e-mail: anvzanna@aol.com*

Основные физико-химические (морфологическое строение почв, pH, объемный вес, содержание макро- и микроэлементов) и микробиологические (определение численности бактерий, утилизирующих органические и минеральные формы азота, олиготрофов, олигонитрофилов; актиномицетов; микроскопических грибов; структуру комплекса целлюлолитиков) свойства почв определяли методом сравнительно - аналитического анализа вещественного состава и свойств почв. Результаты показали, что вследствие сильной каменности почв разделение на отдельные горизонты затруднено, по всему профилю почв имеется большое количество прослоек гумуса, аккумулирующих элементы минерального питания. Микробиологические процессы имеют различную интенсивность: наиболее активным в микробиологическом отношении является верхний горизонт почв. В микробном сообществе преобладают по численности олигонитрофильные бактерии, что указывает на олиготрофность микробиоценоза в отношении азота. Численность целлюлозоразрушающих микроорганизмов не высокая, активность их низкая. Тем не менее богатство почвообразующих пород и развитие почв буроземного типа почвообразования обуславливает присутствие всех наиболее значимых эколого-трофических групп в микробном сообществе, элиминирования отдельных групп не отмечали. Полученные данные комплексных исследований можно будет использовать при долгосрочном мониторинге лесных экосистем Заонежья, а также основой при организации особо охраняемых природных территорий (ООПТ) в Карелии.

Ключевые слова: Карелия, среднетаежная подзона, сосняк черничный, биологическая активность почв, микробиоценоз

BIOLOGICAL ACTIVITY IN SOILS UNDER PINE BIOGEOCENOSIS IN ZAONEZHYYE

Medvedeva M.V.¹, Zachinyaeva A.V.², Raevskiy B.V.¹

¹ *Forest Research Institute, Karelian Research Centre, Russian Academy of Sciences, 11 Pushkinskaya St., Petrozavodsk, Russia; e-mail: mariamed@mail.ru*

² *Military Medical Academy, 6 Acad. Lebedev St., 194044 St. Petersburg, Russia anvzanna@aol.com*

The studies were carried out in the middle taiga subzone of Karelia. The sample plot lies within a bilberry pine stand with soils and vegetation typical of selka ridge landscapes in Western Zaonezhyye. The main physical-chemical (soil morphological structure, pH, bulk density, content of macro and micro elements) and microbiological (abundances of bacteria fixing organic and mineral nitrogen, oligotrophic and oligonitrophilic bacteria, actinomycetes, microscopic fungi, structure of the cellulolytic complex) soil properties were determined by the comparative analysis of soil composition and properties. Differentiation between horizons is problematic because the soils are very stony; multiple humus layers, which accumulate mineral nutrients, are found all across the soil profile. The rates of microbiological processes vary: topsoil proved to be the most microbiologically active horizon. The group numerically prevailing in the microbial community is oligonitrophilic bacteria, indicating that the microbial coenosis is oligotrophic with respect to nitrogen. Cellulolytic microorganisms are not abundant, and their activity is low. Yet, owing to the richness of the parent rock and the brown-earth type of soil formation all major ecological-trophic groups are present in the microbial community, no individual groups found missing. The data obtained from the integrated studies can be used in long-term monitoring of Zaonezhyye forest ecosystems, as well as for substantiating the designation of protected areas in Karelia.

Keywords: Karelia, middle taiga, bilberry pine forest, soil biological activity, microbial coenosis

Биологическая активность почв — это интегральный показатель состояния всей микробиоты. Микроорганизмы являются активными агентами разложения органического вещества, участвуют в процессах гумусообразования. Их метаболиты прямо или

опосредованно способны оказывать влияние на весь ход почвообразовательного процесса [7]. Исследованию биологической активности почв Заонежья посвящено небольшое количество работ. Следует отметить работы Л.М. Загуральской, которые посвящены изучению микробных сообществ шунгитовых почв Восточной части Заонежья [4; 5]. При этом исследовали темноцветные почвы, расположенные на Заонежском полуострове восточного берега Онежского озера и острове Кижы. Применительно к данным почвам было установлено, что профилное распределение микроорганизмов зависит от морфологических особенностей почв, их физико-химических свойств, а также содержанием органического вещества. В целом для почв буроземного типа почвообразования характерным является высокая численность олигонитрофильных и сапротрофных бактерий, высокая целлюлолитическая активность микробиоты на фоне низкой численности микромицетов. Присутствие в микробном блоке псевдоманад, спорообразующих бактерий, микромицетов родов *Penicillium*, *Mucor*, *Trichoderma* свидетельствует о возможном пороодообразующем участии микроорганизмов по отношению к шунгитам.

Почвы Западного Заонежья в микробиологическом отношении остаются малоизучены. Известно, что почвы данной территории формируются в условиях высокой каменистости, поэтому велико влияние физических процессов выветривания на общий процесс почвообразования. Цель настоящей работы являлось исследование эколого-трофической структуры микробного сообщества почв Западного Заонежья. В связи с тем, что трофическое и таксономическое разнообразие микроорганизмов зависит от целого ряда факторов, были поставлены следующие основные задачи: 1) исследовать морфологические свойства почв; 2) изучить химические показатели почв; 3) установить эколого-трофическую структуру микробного сообщества.

Исследования выполнялись в рамках проекта «Состояние генофонда сосны обыкновенной *Pinus silvestris* L. в Карелии» Подпрограммы "Динамика и сохранение генофондов" Программы фундаментальных исследований Президиума РАН «Живая природа: современное состояние и проблемы развития». В данной работе представлены материалы исследований почв ненарушенных биогеоценозов Карелии.

Объекты и методы

Исследования проводились в среднетаежной подзоне Карелии. Постоянная пробная площадь была заложена в 151 квартале Великогубского участкового лесничества (Медвежьегорское центральное лесничество), размер пробной площади составлял 50*50м². Данная пробная площадь расположена в пределах сосняка черничного, на которой сформированы типичные почвы и растительность сельгового ландшафта Западного

Заонежья Карелии [11]. Сосняк черничный имеет состав $5C_{150}5C_{90}+B_{90}$, 8 класс возраста (141-160 лет), IV класс бонитета. Исследуемый древостой имеет полноту 0,7, запас $183 \text{ м}^3/\text{га}$.

Участок расположен в верхней части крупной гряды, которая простирается в СВ-ЮЗ направлении. В верхней своей части гряда сложена супесчано-суглинистой сильнозавалуненной сланцевой мореной Валдайского возраста с включением пород углеродсодержащего туфоалеврита, глинистых и кремнекислотных сланцев. Таксономическая принадлежность исследуемых почв устанавливалась в соответствии с региональной классификацией [9]. Основные физико-химические свойства почв определяли методом сравнительно - аналитического анализа вещественного состава и свойств почв. Для определения химических свойств почв отбирали образцы из почвенных разрезов по генетическим горизонтам согласно общепринятым методам [8]. В отобранных образцах определяли рНвод, рН сол. — потенциометрически, содержание элементов минерального питания (N, P, S) спектрометрическим методом (СФ-2000, Россия), К — атомно-эмиссионным спектрофотометрическим (спектрофотометр АА-7000, Shimadzu, Япония). Содержание общего углерода определяли по общепринятой методике [1]. Данные были получены с использованием оборудования центра коллективного пользования «Аналитическая лаборатория» ИЛ КарНЦ РАН.

При исследовании микробного сообщества анализировались смешанные образцы почв, отобранные на участках с привязанностью к доминирующим парцеллам. Отбор почв для микробиально-биохимических анализов был произведен по генетическим горизонтам на стенке разреза из пяти точек на всю глубину профиля. Численность почвенных гетеротрофных микроорганизмов, которые принимают участие в трансформации азот- и углеродсодержащих соединений, определяли методом посева на плотные селективные питательные среды [8]. При этом количество бактерий, использующих органические формы азота, учитывали на мясопептонном агаре (МПА), ассимилирующие минеральный азот – на крахмало-аммиачном агаре (КАА), олигонитрофилы – на среде Эшби, олиготрофные микроорганизмы – на почвенном агаре (ПА). Численность актиномицетов определяли на КАА. Комплекс целлюлозоразрушающих микроорганизмов (КЦМ) изучался на среде Гетчинсона. Микроскопические грибы подсчитывали на среде Чапека со стрептомицином в качестве ингибитора роста бактерий.

Результаты и обсуждение

Морфологические свойства почв. Разрез почвы заложен в центральной части участка в черничной парцелле. Изучаемые почвы имеют следующее морфологическое строение: A_0 - A_1V_{fm} - B_{fm} - C (рис.1).

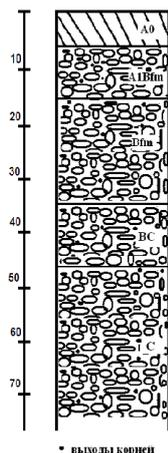


Рис. 1. Морфологическое строение почв исследуемого биогеоценоза

Особенностью данных почв является хорошо стратифицированная лесная подстилка, сильная каменистость, содержание скелета составляет до 90%. Верхняя часть сильнокаменистых моренных отложений вовлечена в процессы почвообразования. Вследствие перманентно идущих почвообразовательных процессов верхний слой завалуненной морены обогащается органическим веществом, особенно за счет интенсивного распространения корней. По мере продвижения в глубь почвенной толщи, количество корней уменьшается. Вследствие сильной каменистости и щебнистости участка почвы слабо дифференцированы на отдельные горизонты. Почва — подбур типичный грубогумусный неполноразвитый на сильнозавалуненной супесчано-суглинистой сланцевой морене, имеет следующее морфологическое строение:

A_0 0-4(6)см. Лесная подстилка, темно коричневая, состоит из опада сосны, шишек, веток, листьев черники, брусники, отмерших остатков зеленых мхов, сухая, густо пронизана корнями кустарничков, рыхлая, хорошо дифференцируется на подгоризонты, переход по цвету в нижележащий горизонт не ясный.

A_1V_{fm} 4(6)-14(16)см. Гумусово-аккумулятивный, образуется под подстилкой между камней разной степени окатанности, сухой, серовато-коричневый, комковатая структура, выходы корней, переход в нижележащий горизонт постепенный.

V_{fm} 14(16)-30(35)см. Переходный метаморфический горизонт, образован среди камней разной степени окатанности, сухой, темно-коричневый, супесчаный, рыхлый, переход по цвету и структуре постепенный.

BC 30(35)см-45(55) см. Переходный горизонт к почвообразующей породе, темно-бурый, неоднородный по окраске, окраска светлее вышележащего горизонта, свежий, есть живые или сдавленные камнями корни растений, которые становятся «центром» формирования органического вещества, супесчаный, переход в нижележащий горизонт постепенный.

С 45(55) и далее. Почвообразующая порода, сильнокаменистая морена, окраска от желтого до желто-коричневого цвета, свежий, на глубине до 70 см корни встречаются редко, на глубине более 1 метра корней нет.

Представленное выше описание свидетельствует, что морфологическое строение почв сложное, вследствие сильной каменистости почв разделение на отдельные горизонты затруднено, по всему профилю почв имеется большое количество прослоек гумуса, аккумулирующих элементы минерального питания.

Химические свойства почв. Подбуры грубогумусные характеризуются сильно кислой реакцией среды (рН вод 3,8-5,34), в нижней части профиля кислотность постепенно уменьшается (Табл.1). Для изучаемых почв характерным является постепенное уменьшение элементов минерального питания по профилю почв. Содержание общего углерода в подстилке составляет >30%, что характерно для почв соснового древостоя. Исследуемые почвы в корнеобитаемой зоне обеспечены общим азотом на достаточном уровне. При этом наиболее высоким содержанием общего азота отличаются лесные подстилки, где его содержание составляет до 1,5%.

Таблица 1

Химические показатели подбуров грубогумусных неполноразвитых, сформировавшихся в сосновых древостоях

Горизонт почв, глубина, см		ППП*	С	N	рН	рН	К, мг/кг	Р	S
					вод.	сол.		%	
A ₀	0-4(6)	93,84	34,09	1,51	3,83	2,77	340,2	0,10	0,15
A ₁ B _{fm}	4(6)-14(16)	35,45	не опр.	0,95	5,08	4,47	438,6	0,15	0,16
B _{fm}	14(16)-30(35)	28,41	не опр.	0,38	4,10	3,33	495,3	0,14	0,11
BC	30(35)-45(55)	19,67	не опр.	0,33	5,34	4,05	468,9	0,24	0,10
C	45(55) -60	16,64	не опр.	0,21	5,23	4,23	448,9	0,15	0,09

ППП* — потеря при прокаливании

Важным показателем направленности трансформации органического вещества в почве, как известно, является отношение C/N. Результаты показывают, что в органогенном горизонте изучаемых почвах складываются оптимальные условия для развития подстилочных деструкторов [10]. Общее содержание Р, К в исследуемых почвах является характерным для почв буроземного типа почвообразования. При этом отмечали аккумуляцию указанных элементов-биогенов в средней части профиля почв. Распределение серы по профилю почв аналогично распределению общего азота: в лесной подстилке и гумусово-аккумулятивном горизонтах оно максимально (0,15%), далее по профилю почв — уменьшается и в нижнем горизонте составляет до 0,09%.

Микробиологические свойства почв. Вследствие высокой каменности данного участка формирование почв происходит при значительном влиянии физических процессов выветривания, так постоянная миграция валунного материала приводит к осыпанию камней и других компонентов почвы, создает гетерогенность условий формирования почв. Изменению внутреннего пространства способствуют также процессы «оттаивания-замерзания», которые приводят к сдавливанию корней. При этом частицы неразложившегося органического вещества в толще почвы, являясь запасом накопленной энергии почвы, могут становиться потенциальным источником процессов микробной деятельности почв [2; 9; 10].

Численность микроорганизмов изучаемых эколого-трофических групп изменяется с глубиной залегания почвенных горизонтов (табл.2). При этом в градиенте глубины почвы изменяется не только численность микроорганизмов, но и структура и разнообразие слагающих микробное сообщество компонентов. Это связано с тем, что поступление органического вещества растительного происхождения уменьшается вниз по профилю почв, при этом изменяется также его качество.

Таблица 2

Численность микроорганизмов основных эколого-трофических групп в изучаемых почвах

Горизонт почв	Бактерии, использующие				Олигонитрофилы	Олиготрофы	Микроскопические грибы	КЦМ	Коэффициент минерализации	Индекс педотрофности
	N-NH ₄		N-NH ₂							
	общее	споровые, %	общее	актиномицеты						
	тыс./г почвы		тыс./г почвы	тыс./г почвы						
A ₀	2282	48,2	2960	200	6882	1522	410	6	2,69	0,51
A ₁ B _{fm}	600	86,7	810	51	14322	1100	320	4	1,56	1,36
B _{fm}	200	50,5	305	25	620	410	28	4	3,02	1,34
BC	25	80,0	38	14	140	28	16	2	1,90	0,74

В исследуемых почвах численность бактерий, усваивающих органические формы азота, была наибольшей в верхнем органогенном горизонте почв, вниз по профилю почв она уменьшалась. В комплексе бактерий, утилизирующих минеральные соединения азота, присутствовали актиномицеты. Последние, как известно, участвуют на более поздних этапах

превращения органического вещества и предпочитают сухие местообитания, поэтому их присутствие косвенно свидетельствует о благоприятном трофическом режиме почв для развития. Численность олигонитрофильных бактерий была максимальной в подподстилочном горизонте (>14000 тыс./г почвы). Это указывает на более интенсивно идущие процессы трансформации азот- и углеродсодержащих соединений в данном горизонте почв по сравнению с нижележащими. Коэффициент минерализации, рассчитанный как отношение численности микроорганизмов, использующих минеральные соединения азота, к числу микроорганизмов, ассимилирующих органические формы азота, больше 1. Это подтверждает глубину минерализационных процессов, происходящих в данных горизонтах почв.

Наиболее благоприятные условия для развития микромицетов складываются в 0-16см слое почвы. Грибы из родов *Penicillium*, *Mucor*, *Aspergillus*, *Trichoderma* были доминирующими в микоценозе. При этом необходимо отметить, что в градиенте глубины почвы изменяется не только численность микроскопических грибов, но и его структура: доминантом микоценоза становятся представители рода пенициллиум. Последнее связано с изменением педоусловий для их развития.

Как отмечено выше, скорость минерализации органических соединений в почве находится в прямой зависимости от интенсивности биологических процессов, активности целлюлозолитических процессов [6; 7]. В этой связи провели более подробное изучение состава комплекса целлюлозоразрушающих микроорганизмов верхнего горизонта почв. Результаты показали, что комплекс целлюлолитиков представлен как бактериями, так и микромицетами. Бактерии были немногочисленными, однако выделяли хорошо заметные зоны разрушения клетчаткового фильтра. В ходе исследования были выделены грибы-целлюлозодеструкторы *Chaetomium globosum* Kunze: Fr., *Aspergillus fumigatus* Fresen, *Chaetomium murorum* Corda, *Trichoderma* sp. Несмотря на то, что они не проводят быстрой деструкции целлюлозы, их экзаметаболиты опосредовано могут оказывать стимулирующее влияние на различные группы микроорганизмов, тем самым ускорять процессы почвообразования [3].

Как отмечено выше, микробиологический профиль почв изменяется в зависимости от глубины залегания горизонтов почв, при этом насыщенность отдельно взятого горизонта почв микроорганизмами может быть различная. В этой связи делали пересчет численности микроорганизмов исследуемых эколого-трофических групп на мощность и объемный вес горизонта. Полученные данные подтвердили вышесказанное об изменении структуры микробного сообщества в градиенте глубины, а также продемонстрировали, что микроорганизмы минеральных горизонтов почв активно участвуют в почвообразовательном

процессе, тем самым определяют темп и направленность трансформации органического вещества в данном сосновом биогеоценозе [2].

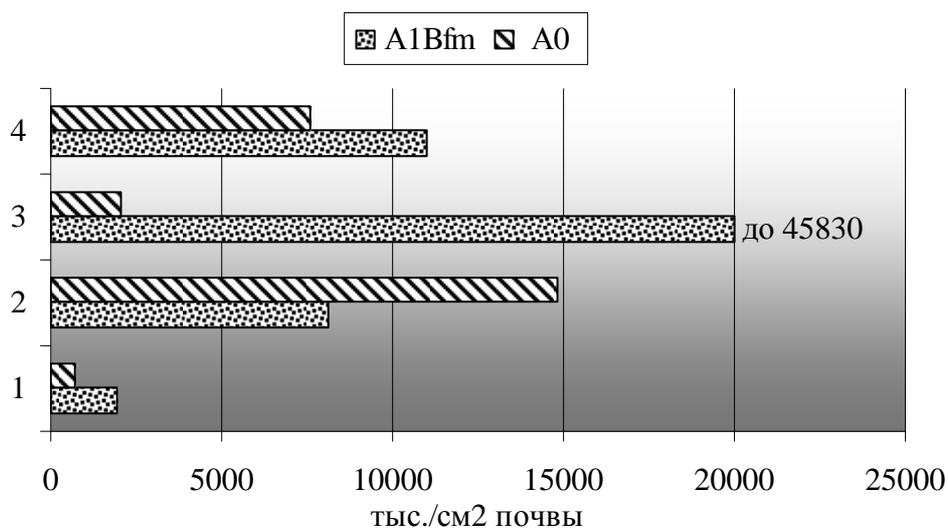


Рис.2. Трофическая структура микробного сообщества исследуемых почв: 1 - бактерии, использующие органические соединения азота; 2- бактерии, утилизирующие минеральные формы азота; 3 - олиготрофы; 4- олигонитрофилы

Заключение. Результаты исследований продемонстрировали невысокую биологическую активность изучаемых почв. Она связана с их генетическими особенностями: сильной каменистостью, достаточно высокой кислотностью, невысоким содержанием гумуса, а также со средообразующим влиянием главной породы. Вследствие разных условий, которые формируются для развития микробиоты в изучаемых горизонтах почв, микробиологические процессы имеют различную интенсивность. Наиболее активным в микробиологическом отношении является верхний горизонт почв (A_0). В микробном сообществе преобладают по численности олигонитрофильные бактерии, что указывает на олиготрофность микробоценоза в отношении азота. Численность целлюлозоразрушающих микроорганизмов не высокая, активность их низкая. Тем не менее богатство почвообразующих пород и развитие почв буроземного типа почвообразования обуславливает присутствие всех наиболее значимых эколого-трофических групп в микробном сообществе, элиминирования отдельных групп не отмечали. Это свидетельствует о сбалансированном составе микробоценоза, которое способно выполнять одну из важнейших функций в почве — синтез органического вещества.

Полученные данные комплексных исследований можно будет использовать при долгосрочном мониторинге лесных экосистем Заонежья, а также основой при организации особо охраняемых природных территорий (ООПТ) в Карелии.

Список литературы

1. Аринушкина Е.В. Руководство по химическому анализу почв. М.: МГУ, 1970.— 486с.
2. Аристовская Т.В. Микробиология процессов почвообразования. Л.: Наука, 1980. — 186с.
3. Бабьева И.П., Зенова Г.М. Биология почв. М.: Изд-во МГУ. 2005.— 336с.
4. Загуральская Л.М. Микробные комплексы в почвах на шунгитах острова Кижы // Почвоведение. —2002. — №9. — С. 1060-1065.
5. Загуральская Л.М., Морозова Р.М. Биологическая активность почв на шунгитовых породах //Почвоведение. — 2003. — №1. — С. 90-96.
6. Зачиняев Я.В., Медведева М.В., Зачиняева А.В., Ковалева Л.И. Таксономическое разнообразие микромицетов-целлюлозодеструкторов в почвах ненарушенных лесных экосистем республики Карелия // НоваИнфо. 2014. №19. URL: <http://novainfo.ru/archive/19/taksonomicheskoe-raznoobrazie-mikromicetov-cellyulozodestruktoro> (дата обращения 12.05.14).
7. Звягинцев Д.Г., Бабьева И.П., Зенова Г.М., Полянская Л.М. Разнообразие грибов и актиномицетов и их экологические функции //Почвоведение. 1— 996. — №6. — С. 705-713.
8. Методы почвенной микробиологии и биохимии (под ред. Д.Г. Звягинцева) М.: МГУ, 1991. — 304с.
9. Морозова Р.М. Лесные почвы Карелии. Л.: Наука, 1991. — 184с.
10. Fierer N., Schemel J.P., Holden P.A. Variation in microbial community composition through two soil depth profiles //Soil Biol. Biochem. —2003.— V.35.— №1. —P.171-181.
11. Selka landscapes of the Zaonezhskii Peninsula: Natural Characteristics, Land Use, Conservation. Petrozavodsk: Karelian Research Centre of RAS, — 2013. 180 p.

Рецензенты:

Сбойчаков В.Б., д.б.н., профессор, зав.кафедрой микробиологии Военной медицинской академии им. С.М. Кирова, г. С.-Петербург;

Алиева А.К., д.б.н., доцент, доцент кафедры Управления цепями поставок и товароведения экономического университета, г. С.-Петербург.