

УДК 631.427:631.48:552.57

МИКРОБНЫЕ КОМПЛЕКСЫ В ПОЧВАХ
НА ШУНГИТАХ ОСТРОВА КИЖИ*

© 2002 г. Л. М. Загуральская, Р. М. Морозова

Институт леса Карельского научного центра РАН, Петрозаводск

Поступила в редакцию 10.04.2001 г.

Изучены химические показатели и микробиологические характеристики почв на шунгитах о-ва Киж. Установлено, что комплексы сапротрофных бактерий и мицелиальных организмов отличаются от микробиоты подзолистых почв и имеют ряд специфических особенностей: качественное разнообразие, таксономический состав, соотношение актиномицетов и микромикетов. На профильное распределение микроорганизмов решающее влияние оказывают органические вещества, связанные с динамикой элементов питания.

К настоящему времени значительно больше известно о составе микрофлоры зональных типов почв, чем о действующих в природе микробиологических механизмах почвообразования [2]. Достаточно хорошо изучена роль микроорганизмов в деструкции минералов, известны разнообразные способы извлечения химических элементов из компонентов почвообразующих пород. Среди них особое место занимают шунгиты, не встречающиеся за пределами Карелии и подзолистой зоны. Шунгитовые почвы отличаются от подзолистых совершенно иным характером почвообразования [7, 9]. Изучение морфологических, геологических и физико-химических аспектов развития темноцветных почв показало, что они имеют благоприятные агрономические показатели и характеризуются высоким плодородием. Но сведения о процессах микробиологического преобразования шунгитов и формирования высокого уровня плодородия шунгитовых почв в литературе до сих пор отсутствуют.

Исследования выполнялись в соответствии с многолетней программой изучения процессов почвообразования на углеродсодержащих породах и являются продолжением начатых ранее работ в Восточном Заонежье. В данной работе изложены материалы, характеризующие структуру микробных сообществ в шунгитовых буроземах о-ва Киж и ее связь с содержанием и составом органического вещества и некоторыми физико-химическими параметрами генетических горизонтов почв.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Фон почвенного покрова о-ва Киж составляет буроземные, темноцветные почвы, развитые

на шунгитовой морене и флювиогляциальных отложениях, обогащенных шунгитовыми сланцами [10]. Заложено и описано 5 почвенных разрезов:

разр. 1 – бурозем темноцветный легкосуглинистый на шунгитовой морене, подстилаемой силикатными песками, представлен горизонтами Ad – Al;

разр. 2 – бурозем темноцветный суглинистый на элюво-делювии шунгитов и диабазов, горизонты Ad – A – B;

разр. 3 – бурозем глубинно-глееватый на легкосуглинистой силикатной морене с обильным включением шунгитов, подстилаемой озерными песками, горизонты Ad – Al – Ab;

разр. 4 – бурозем темноцветный легкосуглинистый на шунгитовой морене, представлен горизонтами Ad – Al;

разр. 5 – бурозем темноцветный на шунгитовых флювиогляциальных супесчаных сильнозавалуненных отложениях, залегающих на супесчаной, завалуненной морене. Почва окультурена (бывшая огородная земля), образцы отобраны из гор. Al.

Почвообразующие породы отличаются сильной каменистостью, в составе генетических горизонтов большое количество включений щебня, гравия, мелких валунков шунгита, камней шунгитов и диабазов. Дерновый горизонт пронизан корнями, в напочвенном покрове преобладают густая травосмесь и злаки. Несмотря на сильную щебнистость почв, отмечается хорошая комковато-зернистая структура гумусово-аккумулятивного горизонта. Мощность почвенного профиля составляет около 1 м на вершинах гряд, на склонах уменьшается до 60 см. Почвообразующие породы очень неоднородны по гранулометрическому составу, содержание мелкозема колеблется от 10 до 60%, основная масса его состоит из песчаных частиц. Верхние горизонты также обогащены песчаными

* Работа выполнена по гранту РФФИ (99-04-48468).

частицами за счет физического выветривания. Шунгитовые почвы характеризуются черным или черно-серым цветом, слабой дифференциацией на генетические горизонты.

Трофическую и таксономическую структуру микробного сообщества определяли в свежих почвенных образцах методом посева на селективные питательные среды. Количество бактерий, ассимилирующих органические и минеральные соединения азота, учитывали на мясо-пептонном (МПА) и крахмало-аммиачном (КАА) агарах, микромитеты – на сусло-агаре (СА) с лимонной кислотой, актиномитеты на КАА, олигонитрофилы – на среде Эшби, олиготрофные микроорганизмы – на почвенном агаре (ПА), целлюлозоразрушающие – на среде Гетчинсона по методу Пушкинской [8]. Химические анализы выполнены по общепринятым методикам [1]: общий углерод – по методу Тюрина, азот – по Кьельдалю, рН водной и солевой суспензии – потенциометрически, гидrolитическая кислотность – по Каппену, сумма поглощенных оснований – по Каппену – Гильковичу, соединения фосфора и калия – по Кирсанову.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Темноцветные буроземы отличаются от всех других почв Карелии значительным природным плодородием. Для них характерно высокое содержание гумуса, количество которого в гумусово-аккумулятивном горизонте может достигать 10%, постепенно уменьшаясь вниз по профилю. Характерной особенностью органического вещества является его слабая подвижность – до 90% гумусовых соединений прочно связано с минеральной частью почвы. И только в гумусово-аккумулятивных горизонтах, особенно в пахотных, подвижность его возрастает.

Изучение фракционного и группового состава органического вещества темноцветных буроземов показало резкое отличие от такового подзолистых почв. Оно заключается в преобладании гумусовых кислот над фульвокислотами и наличии в составе гумуса гуминовых и фульвокислот, связанных с кальцием. Гумус темноцветных буроземов сходен с гумусом почв, формирующихся на карбонатных породах. В почве отмечается высокое содержание общего азота и, судя по отношению углерода к азоту (2.7–19.3), создаются благоприятные условия для трансформации растительных остатков.

Почвы характеризуются слабокислой реакцией среды (табл. 1). Повышенная кислотность бурозема, развитого на элюво-делювии, связана с сильной щелбнистостью. Небольшое количество мелкозема (11–22%) не способно закрепить подвижные органические кислоты (свежеобразованные) или нейтрализовать их основаниями. Это

подтверждается и высокой гидролитической кислотностью данной почвы. Несмотря на повышенное содержание оснований, степень насыщенности составляет 53–57%.

Буроземы темноцветные на флювиогляциальных отложениях имеют относительно высокую гидролитическую кислотность, поэтому при большом количестве обменных оснований, степень насыщенности составляет около 66%. Как и в предыдущей разновидности буроземов, здесь сохраняются низкое содержание мелкозема и высокое – подвижных органических веществ, которые не могут нейтрализоваться основаниями, высвобождающимися в процессе преобразования минеральных комплексов почвы.

Содержание доступных форм фосфорных соединений довольно стабильно по профилю почвы и имеет аккумулятивный характер, что особенно заметно в дерновых горизонтах. Количество подвижного фосфора тесно связано с гранулометрическим и химическим составом почв. Минимальная концентрация P_2O_5 зафиксирована в почвах, подстилаемых силикатными песками, максимальная – в буроземе на шунгитовой морене. Обращает внимание факт обеднения фосфором (а также калием) бывшей огородной земли, что обусловлено ежегодным скашиванием и удалением трав, поскольку эта территория находится на пути туристического маршрута и должна иметь эстетичный вид.

Распределение подвижных форм калийных соединений в профиле буроземных почв идет аналогично фосфорным, их накопление отмечается в дерновом и гумусово-аккумулятивном горизонтах. Содержание K_2O также определяется количеством шунгита в почвообразующей породе и гранулометрическим составом почв. Наибольший объем калийные соединения занимают в темно-цветном буроземе на шунгитовой морене с очень редким включением материала кислых силикатных пород.

Анализ встречаемости отдельных микробных компонентов в зависимости от “типа субстрата” выявил ее взаимосвязь с физико-химическими параметрами среды обитания и свойствами самих микроорганизмов. Буроземы на шунгитовой морене, благодаря наличию мощного гумусово-аккумулятивного горизонта, характеризуются значительно большей насыщенностью микробными комплексами, чем подзолистые почвы [5]. Шунгитовые буроземы по сравнению с подзолистыми почвами имеют удлинённый микробиологический профиль, структурные различия проявляются здесь не только в особенностях микробных сообществ дернового горизонта, но и почвы в целом. Распределение микроорганизмов по почвенному профилю обусловлено распределением органического вещества, связанного с динамикой эле-

Таблица 1. Химические свойства и содержание элементов питания в темноцветных буроземах о. Кизи

Почва	Горизонт	Глубина, см	Потеря при прокаливании	рН		С, %		P ₂ O ₅	K ₂ O	Гидролитическая кислотность	Сумма обменных оснований	Степень насыщенности, %
				водный	солевой	органический	шунгитовый					
Бурозем темноцветный, легкосуглинистый на шунгитовой морене	Ad	0-7	17.22	6.48	5.56	4.59	4.79	5.6	36.4	5.6	21.8	80
	A1'	7-15	6.41	5.84	4.48	2.30	2.51	1.9	18.7	4.7	11.5	71
	A1''	15-25	5.58	5.82	4.21	1.81	2.51	1.3	6.7	4.6	11.8	72
Бурозем темноцветный, суглинистый на элюво-делювии шунгитов и диабазов	Ad	0-7	41.71	6.16	5.24	4.53	-	23.5	20.7	14.3	50.5	78
	A1	7-27	8.73	5.25	3.84	3.43	2.93	13.1	15.9	7.0	9.4	57
	B	27-40	5.14	5.21	3.52	1.10	3.26	11.6	6.9	9.1	10.4	53
Бурозем темноцветный глубинно-глееватый на легкосуглинистой силикатной морене	Ad	0-7	25.85	6.05	4.95	5.85	-	24.0	35.8	13.6	36.2	73
	A1'	7-15	6.63	5.31	3.94	2.99	1.61	9.4	13.7	8.6	12.6	59
	A1''	15-30	6.33	5.47	4.12	2.59	1.95	10.1	8.2	9.8	14.3	59
	AB	30-40	5.50	5.57	4.16	2.13	1.40	11.1	5.5	6.5	15.3	70
Бурозем темноцветный, легкосуглинистый на шунгитовой морене	Ad	0-11	8.16	5.28	5.43	2.71	1.80	51.0	39.2	5.4	20.0	79
	A1'	11-21	8.23	5.89	4.71	2.63	1.77	28.0	75.3	4.5	15.1	77
	A1''	21-40	5.12	5.76	4.35	1.53	4.24	23.1	65.0	4.0	10.6	72
Бурозем темноцветный на шунгитовых флювиогляциальных отложениях	A1'	7-17	9.57	5.40	4.20	3.59	3.38	7.6	4.5	8.8	18.3	67

ментов питания. Для всех почвенных разностей характерна тенденция максимального сосредоточения численности микробиоты в дерновом горизонте, резкого уменьшения этого показателя в гумусово-аккумулятивном горизонте и плавного перехода между отдельными горизонтами (табл. 2). В составе бактериального блока, утилизирующего соединения азота, ведущую роль играют бактерии, усваивающие его минеральные формы. Величина коэффициента минерализации азотсодержащего органического вещества изменяется по микробиологическому профилю почвы в пределах 1.5–18.0. Отмечена высокая олиготрофность почв в отношении азота и одновременно большие потенциальные возможности пополнения азотного фонда за счет жизнедеятельности олигонитрофилов, на что указывает соотношение олигонитрофильных и аммонифицирующих микроорганизмов (от 2 до 33). В песчаных буроземах олиготрофный блок по численности заметно превосходит сапротрофный. Последний отличается обилием вегетативных форм споровых бактерий, способных разлагать природные полимеры и реутилизировать микробную биомассу [4].

Активное разрушение целлюлозы происходит преимущественно в дерновом горизонте при участии миксобактерий. Среди выявленных целлюлозо-разрушающих микроорганизмов встречаются грибы, большей частью темноцветные; актиномицеты растут на субстрате, но не образуют зон разрушения. В мицелиальном комплексе много актиномицетов, трансформирующих растительные субстраты, природные полимеры и сложные гумусовые соединения. Содержание актиномицетов в общей численности микроорганизмов, ассимилирующих минеральный азот, меняется от 2 до 36%. В основном это представители рода *Streptomyces*, секций *Albus* и *Roseus*. Актиномицеты с их выраженной аэробностью преимущественно сосредоточены в верхних органогенных горизонтах. Благоприятный тепловой режим, большая мощность гумусового горизонта и насыщенность органическим веществом привели к увеличению доли актиномицетов в микробном сообществе. Подобная закономерность уже отмечена нами для темноцветных почв Восточного Заонежья.

Относительно малочисленные микромицеты приурочены в основном к верхнему горизонту почвы, вниз по профилю количество грибного компонента существенно уменьшается. Доминирующее положение занимают кислотообразователи из рода *Penicillium*, часть грибов представлена родами *Trichoderma*, *Mucro* и неидентифицированными формами с пониженной аэробностью, растущими внутри агара.

При сравнении численности, таксономической и трофической структуры прокариот и ми-

целиальных организмов в почвах, развитых на почвообразующих породах различного состава, выделяются буроземы на шунгитовой морене и элюво-делювии. От других разновидностей они отличаются не столько численностью, сколько стабильностью формирования микробного блока. Здесь нет резких перепадов количественного состава отдельных функциональных групп микроорганизмов и их трофических индексов.

При изучении микробиоты темноцветных буроземов несколько сглаживается понятие "тип субстрата", когда имеются в виду не отдельные почвенные ярусы, а почва в целом. Условия и характер почвообразования отличают эти почвы от других. В деструкции почвообразующих пород, видимо, принимают участие разные группы микроорганизмов, а соотношение таксонов в микробном сообществе и уровень их активности определяются биотопическими различиями. Почвы обогащены органическим веществом, содержат много свободного мелкодиспергированного углерода, обладают высокой пористостью и поглощательной способностью, для них характерны аккумулятивный тип распределения элементов питания и близкая к нейтральной реакция среды (табл. 1). В процессе биологического выветривания почвы обогащаются микроэлементами, имеющимися в заметных количествах в шунгитах, благодаря темной окраске сохраняют лучший тепловой режим [3, 7, 9, 10]. От сочетания этих факторов, определяющих тип почвообразования, зависит трофическая и таксономическая структура микробного блока [4]. Здесь формируются микробные сообщества, отличные от подзолистых почв. В них сохраняется функциональное однообразие, характерное для северных почв, но значительно возрастает численность отдельных микробных компонентов, изменяется состав мицелиальных и бактериальных комплексов, заметную роль играют актиномицеты и разнообразные формы споровых бактерий.

Общим для всех изученных разновидностей буроземов является профильное распределение микроорганизмов, в котором решающее влияние оказывает содержание органического вещества. При этом изменяется не только количественный, но и таксономический состав микрофлоры.

Перечисленные особенности среды обитания микроорганизмов дополняют их физиологические потребности. При высокой аэробности и адсорбционной способности микроорганизмов большая часть закрепляется в верхних ярусах почвы, в которых создаются своеобразные экологические ниши для внутрипрофильного распределения микробиоты.

Таблица 2. Структура и трофические индексы микробного сообщества в темноцветных буроземах о. Кизи, тыс/г

Почва	Горизонт	Глубина, см	Бактерии на МПА	Микроорганизмы на КАА	КАА/МПА	Олигонитрофилы на среде Эшби	Эшби/МПА	Олиготрофные микроорганизмы	Целлюлозоразрушающие	Актиномицеты	Грибы
Бурозем темноцветный, легкосуглинистый на шунгитовой морене	Ad	0-7	8814	12882	1.5	19594	2.2	3548	3.1	2486	104
	A1'	7-15	499	8924	18.0	16328	33.0	6270	2.4	3210	77
	A1''	15-25	813	5778	7.0	10208	12.5	310	3.1	1140	18
Бурозем темноцветный, суглинистый на элюво-делювии шунгитов и диабазов	Ad	0-7	11811	16002	1.4	19380	1.6	18034	-	421	1126
	A1	7-27	5983	9720	1.6	3823	1.7	10433	2.3	503	63
	B	27-40	4796	2322	0.5	878	0.2	4148	2.6	51	5
Бурозем темноцветный глубинно-глееватый на легкосуглинистой силикатной морене	Ad	0-7	34168	290440	8.5	380038	11.1	64938	-	23728	141
	A1'	7-15	862	10147	11.8	9408	10.9	7997	5.7	1194	83
	A1''	15-30	791	4035	5.1	3192	4.0	2052	1.6	684	15
	AB	30-40	245	2325	9.5	1313	5.3	1922	3.1	91	2
Бурозем темноцветный, легкосуглинистый на шунгитовой морене	Ad	0-11	10856	12272	11.3	69148	6.4	30680	4.2	133158	543
	A1'	11-21	763	8502	11.1	3205	4.2	3205	5.0	1308	20
	A1''	21-40	179	1685	9.4	1140	6.4	2797	3.4	196	14
Бурозем темноцветный на шунгитовых флювиогляциальных отложениях	A1'	7-17	5060	3014	0.6	3740	0.7	2860	-	1025	55

Примечание. Прочерк означает 100-процентное разрушение фильтра.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные результаты позволили выявить специфику формирования микробных комплексов во взаимосвязи с содержанием органического вещества и составом почвообразующих пород, раскрывающую профилно-генетические особенности и разнообразие темноцветных буроземов о. Кижы. Доминирующие популяции микроорганизмов в изученных разновидностях буроземов различаются согласно физико-химическим параметрам почв. При переходе от темноцветных буроземов на элюво-делювии к почвам на шунгитовой морене наблюдается смена таксономической и трофической структуры микробного сообщества и его экологических стратегий. Микромицеты – сапрофиты, являющиеся основными редуцентами в экосистемах суши [6], вытесняются актиномицетами, способными трансформировать труднодоступные субстраты, в бактериальном блоке происходит сдвиг микробного равновесия в сторону преобладания сапротрофов над олиготрофами. Таким образом, трансформация органического вещества органогенных горизонтов отражается в структуре микробного сообщества, гранулометрический состав и сложение почвообразующих пород в особенностях пищевого режима почв.

В почвах подзолистой зоны, как и в ряде других, главными агентами биологического выветривания породы являются микробные метаболиты и внеклеточные полисахариды (слизи). При обильном поступлении свежего органического вещества основная роль в разложении минералов принадлежит продуктам преобразования растительных остатков – органическим кислотам, полифенолам и другим соединениям, образующим комплексы с элементами, входящими в состав породы [2]. Нельзя исключить и непосредственное участие псевдомонад, спорообразующих бактерий, целлюлозоразрушителей и грибов родов *Penicillium*, *Micro*, *Trichoderma* в деструкции шунгитов. Однако необходимо иметь в виду, что все

почвы о-ва Кижы подвергаются высокой рекреационной нагрузке, поэтому в последнее десятилетие они подкисляются и плодородие их снижается.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агрохимические методы исследования почв. М.: Наука, 1975. 656 с.
2. *Аристовская Т.В.* Микробиология процессов почвообразования. Л.: Наука, 1980. 186 с.
3. *Володин А.М., Тойкка М.А.* К вопросу классификации и инвентаризации шунгитовых почв Заонежского района Карельской АССР // Уч. зап. Петр. Гос. ун-та. Петрозаводск: Гос. изд-во Карельской АССР, 1958. Т. IX. Вып. 3. С. 205–217.
4. *Добровольская Т.Г., Лысак Л.В., Звягинцев Д.Г.* Почвы и микробное разнообразие // Почвоведение. 1996. № 6. С. 699–704.
5. *Загуральская Л.М.* Микробная трансформация органического вещества в лесных почвах Карелии. СПб.: Наука, 1993. 136 с.
6. *Звягинцев Д.Г., Бабьева И.П., Зенова Г.М., Полянская Л.М.* Разнообразие грибов и актиномицетов и их экологические функции // Почвоведение. 1996. № 6. С. 705–713.
7. *Марченко А.И.* Почвы Карелии. М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1962. 309 с.
8. *Пушкинская О.И.* Влияние сплошной вырубki леса на состав микрофлоры в темно-серой лесной почве // Сообщ. Лабор. лесовед. АН СССР. 1962. Вып. 7. С. 105–127.
9. *Тойкка М.А.* Физические и химические свойства темноцветных (шунгитовых) почв Карело-Финской ССР // Уч. зап. Карело-Финского Гос. ун-та. Петрозаводск: Гос. изд-во Карело-Финской ССР, 1955. Т. IV. Вып. 3. С. 149–181.
10. *Тойкка М.А.* К вопросу о генезисе дерновых шунгитовых почв // Уч. зап. Петр. Гос. ун-та. Петрозаводск. Гос. изд-во Карельской АССР, 1958. Т. IX. Вып. 3. С. 189–204.
11. *Федорец Н.Г., Морозова Р.М., Синькевич С.М., Загуральская Л.М.* Оценка продуктивности лесных почв Карелии. Петрозаводск: Изд-во Кар. науч. центра РАН, 2000. 194 с.

Microbial Complexes of Schungite Soils in the Kizhi Island

L. M. Zagural'skaya and R. M. Morozova

Chemical parameters and microbiological characteristics of soils developing from schungite rocks on the Kizhi Island were studied. It was found that the complexes of saprotrophic bacteria and mycelial organisms in these soils differ from the microbiota of podzolic soils with respect to the species diversity, taxonomic composition, and the ratio between actinomycetes and micromycetes. The distribution of microorganisms in the soil profile is largely dictated by the distribution of organic substances that participate in the turnover of nutrients.